



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

**DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL
OBRAJUELO HACIA EL CASERIO RÍO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA**

Herbert José Arguijo Juárez

Asesorado por la Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto

Guatemala, junio de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL
OBRAJUELO HACIA EL CASERÍO RÍO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HERBERT JOSÉ ARGUIJO JUÁREZ
ASESORADO POR LA INGA. CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON DE PINTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
EXAMINADORA	Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERÍO RÍO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 13 de mayo de 2019.

Herbert José Arguijo Juárez

Guatemala, 17 de julio de 2020
Ref.EPS.DOC.254.07.2020

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández:


Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Herbert José Arguijo Juárez, Registro Académico 201314207 y CUI 2437 79216 0101** de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERÍO RÍO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA.**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


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



c.c. Archivo
CCdP/ra



ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 20 de noviembre de 2020

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Aguilar:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación “**DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERIO RÍO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA**” desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Herbert José Arguijo Juárez con registro académico 201314207 y CUI 2437 79216 0101, quien contó con la asesoría de la Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA
DE TOPOGRAFÍA
Y TRANSPORTES
COORDINACIÓN



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 18 de enero de 2021
REF.EPS.D.11.01.2021

Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Fuentes Roca:

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 DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERÍO RÍO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Herbert José Arguijo Juárez, CUI 2437 79216 0101 y Registro Académico 201314207**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Christa Classon de Pinto.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Angueta Hernández
Director Unidad de EPS

OAH/ra





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto y del Coordinador de E.P.S. Ing. Oscar Argueta Hernández, al trabajo de graduación del estudiante Herbert José Arguijo Juárez titulado **DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERIO RÍO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Fuentes Roca



Director Escuela Ingeniería Civil

Guatemala, junio 2021

/mrrm.







Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102

DTG. 244.2021.

La Decana 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 DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERIO RÍO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Herbert José Arguijo Juárez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, junio de 2021

AAE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el centro y brújula de mi vida.
- Mis padres** Herbert Arguijo y Regina Juárez de Arguijo, por ser mi ejemplo a seguir y por sacrificarse diariamente para lograr este triunfo, al mismo tiempo de brindarme su amor incondicional. Con todo mi amor.
- Mis hermanas** Flor y Regina Arguijo, por creer en mí, siempre apoyarme en las decisiones de mi vida y ser una influencia para convertirme en la mejor persona posible.
- Mis abuelos** Carlos Juárez, Leticia Aroche, Leonardo Arguijo y Erika Macz, por su cariño en todo momento y compartir su sabiduría conmigo.
- Mi sobrino** Juan David Ponce Arguijo, (q. e. p. d.), por ser mi motivación y alegría para permitirme alcanzar este triunfo.

Familia en general

Por el cariño que me brindan y siempre expresarme sus palabras de aliento.

Mis amigos

De la infancia, así como los de estudio, por su apoyo y compañía, en los buenos y malos momentos, a lo largo de estos años de estudio.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos
de Guatemala**

Por ser mi *alma máter* y haberme acogido estos años de preparación académica.

**Facultad de
Ingeniería**

Por brindarme los conocimientos técnicos y teóricos para desempeñarme profesionalmente como Ingeniero Civil.

Mi asesora

Inga. Christa Classon de Pinto, por su valiosa colaboración en la elaboración del presente trabajo de graduación y el tiempo dedicado a mi persona.

**Municipalidad de
Villa Canales**

Por permitirme llevar a cabo mi Ejercicio Profesional Supervisado en su localidad, y por su colaboración para facilitarme la información necesaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Monografía del municipio de Villa Canales.....	1
1.1.1. Antecedentes históricos.....	1
1.1.2. Aspectos físicos.....	2
1.1.2.1. Ubicación.....	2
1.1.2.2. Localización	3
1.1.2.3. Características geográficas	3
1.1.2.4. División política.....	3
1.1.2.5. Clima	5
1.1.2.6. Hidrografía.....	5
1.1.3. Aspectos económicos	5
1.1.3.1. Población.....	5
1.1.3.2. Educación	6
1.1.3.3. Salud	6
1.1.4. Aspectos de infraestructura	6
1.1.4.1. Vías de acceso	6
1.1.4.2. Servicios públicos	7
1.1.4.3. Organización comunitaria.....	7

1.2.	Diagnóstico de las necesidades de servicios públicos e infraestructura de Villa Canales, Guatemala	8
1.2.1.	Descripción de necesidades.....	8
1.2.2.	Análisis y priorización de las necesidades	9
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	11
2.1.	Diseño geométrico del tramo carretero que conduce hacia caserío Río Negro, Villa Canales	11
2.1.1.	Descripción del proyecto	11
2.1.2.	Especificaciones y criterios de diseño	12
2.1.3.	Clasificación de la carretera	12
2.1.4.	Levantamiento topográfico	13
2.1.4.1.	Planimetría	14
2.1.4.2.	Altimetría	15
2.1.5.	Estudio de suelos	15
2.1.5.1.	Análisis granulométrico	15
2.1.5.2.	Límites de Atterberg	17
2.1.5.3.	Ensayo de compactación (proctor modificado).....	18
2.1.5.4.	Ensayo de razón soporte California (C.B.R.)	19
2.1.5.5.	Análisis de resultado de ensayos de laboratorio	20
2.1.6.	Diseño geométrico	22
2.1.6.1.	Alineamiento horizontal	24
2.1.6.1.1.	Diseño de línea de localización.....	25
2.1.6.1.2.	Corrimientos.....	25

	2.1.6.1.3.	Diseño de curvas horizontales	27
	2.1.6.1.4.	Curvas de transición.....	32
	2.1.6.1.5.	Peralte (e%).....	33
	2.1.6.1.6.	Sobreancho (SA)	34
2.1.6.2.		Alineamiento vertical.....	40
	2.1.6.2.1.	Diseño de línea sub- rasante	40
	2.1.6.2.2.	Pendientes.....	41
	2.1.6.2.3.	Diseño de curvas verticales	42
	2.1.6.2.4.	Correcciones	48
2.1.6.3.		Movimientos de tierra	51
	2.1.6.3.1.	Secciones transversales	51
	2.1.6.3.2.	Cálculo de áreas de secciones	54
	2.1.6.3.3.	Cálculo de volúmenes de secciones transversales	56
	2.1.6.3.4.	Coefficiente de contracción e hinchamiento	59
	2.1.6.3.5.	Línea de balance	60
2.1.6.4.		Diseño de pavimento rígido	61
	2.1.6.4.1.	Elementos de la estructura del pavimento.....	61

2.1.6.4.2.	Diseño de rasante por método simplificado de la PCA.....	63
2.1.6.4.3.	Diseño de juntas	71
2.1.6.4.4.	Diseño de mezcla.....	72
2.1.6.4.5.	Drenaje transversal	78
2.1.6.4.6.	Drenaje longitudinal	85
2.1.7.	Elaboración de planos.....	90
2.1.8.	Presupuesto	90
2.1.9.	Cronograma de ejecución física y financiera.....	92
2.1.10.	Evaluación ambiental inicial (EAI)	93
CONCLUSIONES.....		107
RECOMENDACIONES		109
BIBLIOGRAFÍA.....		111
APÉNDICES.....		113
ANEXOS.....		133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del municipio de Villa Canales	2
2.	Corrimiento de línea	26
3.	Elementos de curva horizontal	28
4.	Relación de peralte y sobreebanco con longitud de espiral	35
5.	Curva cóncava (columpio)	43
6.	Curva convexa (cresta)	44
7.	Curva vertical número 1 del tramo carretero	49
8.	Elementos de una sección transversal típica	52
9.	Secciones transversales típicas	53
10.	Área de sección transversal por método analítico	55
11.	Volumen de corte / relleno en secciones transversales uniformes	57
12.	Volumen de corte / relleno en secciones transversales no uniformes	58
13.	Sección transversal de pavimento rígido	71
14.	Juntas de expansión	72
15.	Área de influencia de la cuenca	77
16.	Detalle drenaje transversal	85
17.	Detalle de cuneta trapezoidal	89
18.	Cronograma de ejecución física y financiera	92

TABLAS

I.	División administrativa del municipio de Villa Canales	3
II.	Clasificación por T.P.D. (Tráfico Promedio Diario)	12

III.	Clasificación por transitabilidad.....	13
IV.	Clasificación de la calidad del suelo en función de su CBR.....	20
V.	Porcentaje de partículas de suelo en muestra	21
VI.	Límites de Atterberg de muestra de suelo	21
VII.	Compactación con proctor modificado a muestra de suelo.....	22
VIII.	Compactación e índice de CBR a muestra de suelo.....	22
IX.	Características geométricas de las carreteras en estado final	24
X.	Peralte máximo en función del tipo de terreno	33
XI.	Distribución de sobreebanco en calzada	34
XII.	Peralte, sobreebanco y longitud de espiral de curvas de transición.....	36
XIII.	Peralte, sobreebanco sobre la longitud espiral de la curva horizontal número 3.....	38
XIV.	Resumen de elementos de curvas horizontales.....	39
XV.	Clasificación de las pendientes	41
XVI.	Tipos de terreno en función de las pendientes naturales.....	42
XVII.	Constante de variación por unidad de pendiente (K)	45
XVIII.	Correcciones a la subrasante de la curva vertical número 1.....	51
XIX.	Relación de inclinación en función de la altura del talud.....	54
XX.	Períodos de diseño en función del tipo de carretera	65
XXI.	Categoría de la carretera según uso y TPD	66
XXII.	Módulo de reacción de la subrasante (k)	67
XXIII.	Módulo de reacción de la base (k)	68
XXIV.	Clasificación de la subrasante por el soporte al pavimento	69
XXV.	Espesor de carpeta de rodadura.....	70
XXVI.	Parámetros iniciales de la mezcla.....	73
XXVII.	Asentamiento para mezcla de concreto fresco	73
XXVIII.	Diseño de mezclas (para 1 m ³ de concreto)	74
XXIX.	Coeficiente de escorrentía	80
XXX.	Parámetros de ajuste (A, B y n) para intensidad de lluvia.....	81

XXXI.	Relación de inclinación de los taludes para cunetas	86
XXXII.	Resumen de presupuesto	91
XXXIII.	Formulario de instrumentos ambientales categoría C	93

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ah	Área hidráulica
At	Área tributaria a drenar
Q	Caudal máximo
n	Coefficiente de rugosidad
K	Constante de variación por unidad de pendiente
CM	Cuerda máxima
Δ	Deflexión en el alineamiento horizontal
D	Diámetro de la tubería
E	External
G	Grado de curvatura
i	Intensidad de precipitación
Lc	Longitud de curva horizontal
LCV	Longitud de curva vertical
OM	Ordenada media
S	Pendiente
Pe	Pendiente de entrada
Ps	Pendiente de salida
e%	Peralte
P_M	Perímetro mojado
PC	Punto de comienzo de curvatura horizontal
PCV	Punto de comienzo de curvatura vertical
PI	Punto de intersección horizontal
PIV	Punto de intersección vertical

PT	Punto de terminación de curvatura horizontal
PTV	Punto de terminación de curvatura vertical
R	Radio de curva horizontal
SA	Sobreechancho
St	Subtangente de curva horizontal
TPD	Tráfico promedio diario
TPDC	Tráfico promedio diario de camiones
$V_{C/R}$	Volumen de corte o relleno

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Official.
Azimut	Ángulo horizontal cuya referencia se hace respecto al norte magnético y medido en el sentido de las manecillas del reloj.
Bombeo	Pendiente transversal de la corona, que tiene por objetivo facilitar el escurrimiento de agua superficial del eje hacia los bordes del pavimento.
Cabzal	Muro de alcantarillas que protege los costados del terraplén de la erosión, así como sirve para evitar la separación de los drenajes transversales y retener el relleno.
Compactación	Proceso que consiste en aplicar energía al suelo suelto con el fin de reducir el vacío entre las partículas del mismo, para aumentar sus propiedades mecánicas y resistencia al corte.
Cuneta	Canales laterales que son paralelos al eje de la carretera cuyo objetivo es drenar longitudinalmente el agua superficial. Su geometría puede variar según las condiciones que presente la obra vial.

Curva horizontal	Arco de circunferencia de un solo radio que une dos tangentes horizontales consecutivas y permiten realizar un cambio de dirección.
Curva vertical	Arco de circunferencia o parábola que une dos tangentes verticales consecutivas, permiten realizar un cambio suave entre pendientes.
DGC	Dirección General de Caminos.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
Levantamiento topográfico	Conjunto de operaciones que determinan la posición relativa de uno o más puntos sobre un terreno utilizando equipo adecuado.
Línea central	Es el eje, que se define mediante la topografía, trazado y medido a lo largo de donde se espera pase una carretera.
PCA	Portland Cement Association.
Pendiente media	Promedio de las inclinaciones existentes en el terreno al trasladarse una distancia horizontal de un punto a otro.

Perfil	Representación de los niveles del terreno natural respecto a un plano horizontal, obtenido del corte transversal de las curvas de nivel.
Rasante	Nivel superior del pavimento, brinda la superficie de rodadura al tráfico y los transmite hacia las capas posteriores.
Sección transversal	Corte perpendicular a la línea central, permite dimensionar e identificar los elementos que forman la carretera en una distancia determinada.
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
Subrasante	Capa de fundación de la estructura del pavimento, conformada por el terreno natural de las secciones en corte o de materiales considerados como adecuados.
Suelo	Capa superficial de la corteza terrestre en la que viven numerosos organismos y crece la vegetación.
Talud	Superficie inclinada respecto al plano horizontal de la carretera y que son resultado del movimiento de tierra.

RESUMEN

En términos de infraestructura vial, en Guatemala existe un bajo porcentaje de planificación / ejecución de carreteras y calles que interconecten cada uno de los municipios entre sí, y las vías existentes, en su mayoría, se encuentran en mal estado. Debido a esta problemática, el siguiente trabajo de graduación presenta el diseño del tramo carretero que comunica los caseríos El Obrajuelo y Río Negro, en el municipio de Villa Canales, Guatemala.

En el capítulo uno o fase de investigación, se presenta la información monográfica del municipio de Villa Canales, donde se describen características físicas como la ubicación geográfica, clima, entre otras. Así también, se presenta la investigación preliminar realizada, que sirvió para identificar la problemática primordial y necesidades básicas de la población a beneficiar.

En el capítulo dos o fase de servicio técnico profesional, se presenta el diseño geométrico y transversal del tramo carretero, que consta de una longitud de cinco kilómetros con trescientos metros (5,3 kms), además, atiende a los parámetros y especificaciones técnicas establecidas por los códigos emitidos por la Dirección General de Caminos, Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) y AASHTO.

También, se presenta la estructura del pavimento y sistema de drenaje (longitudinal y transversal), para ambos casos, con sus respectivos planos constructivos. Para posteriormente presentar un presupuesto desglosado y cronogramas de avance del proyecto.

OBJETIVOS

General

Diseñar el tramo carretero de 5,3 kms comprendido de la aldea El Obrajuelo hacia el caserío Río Negro, Villa Canales, Guatemala.

Específicos

1. Elaborar la investigación monográfica de los poblados cercanos, así como un diagnóstico de las necesidades de los mismos.
2. Realizar el diseño geométrico y transversal del tramo carretero cumpliendo con los parámetros contenidos en las especificaciones generales de construcción de carreteras y puentes y el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales.
3. Diseñar el pavimento rígido de la carretera, empleando el método simplificado de la Portland Cement Association (PCA) para espesores de losas de concreto.
4. Elaborar planos constructivos, presupuesto, cronograma de actividades y evaluación ambiental inicial del tramo carretero.

INTRODUCCIÓN

La correcta aplicación de criterios y conocimientos adquiridos a lo largo de la formación académica, se materializan, mediante la realización del ejercicio profesional supervisado (EPS), porque el fin de dicha actividad es proponer soluciones a los problemas y/o necesidades que aquejan a las comunidades del país desde hace ya un período extenso.

Mediante un diagnóstico previo, se identificaron las problemáticas de mayor urgencia en la aldea El Obrajuelo, sobresaliendo la necesidad de una carretera que permitiera una movilidad adecuada hacia el caserío Río Negro y así mejorar la relación económica, social y cultural entre ambas comunidades.

En coordinación con la municipalidad de Villa Canales, Guatemala, se llevó a cabo la planificación del proyecto de un tramo carretero que se compone de una investigación monográfica y diagnóstica de la comunidad, como el diseño geométrico, transversal y de drenajes con sus respectivos planos constructivos además del presupuesto estimado de la carretera con pavimento rígido.

El proyecto de obra vial cumple con las especificaciones técnicas que dictan los diferentes códigos de diseño, de modo que la ruta pueda ser de beneficio, también, para población de departamentos de la zona sur del país que ven el tramo como una vía alterna para llegar a su destino de forma segura, cómoda y veloz.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Monografía del municipio de Villa Canales

A continuación, se describe la historia del municipio de Villa Canales.

1.1.1. Antecedentes históricos

“Villa Canales llamado Pueblo Viejo, durante la época colonial, fue una comunidad formada por Santa Inés Petapa y San Miguel Petapa, asentada en la comunidad prehispánica de lengua pocomán”.¹

Posteriormente, en el año de 1839, la asamblea constituyente del estado de Guatemala decreta formar el distrito de Amatitlán, formado por la ciudad de Amatitlán, San Cristóbal, Palín, Villa Nueva, San Miguel y Santa Inés Petapa. Por lo tanto, Pueblo Viejo también se encontraba adscrito al distrito de Amatitlán. No es sino hasta el 3 de junio de 1912 que se forma el nuevo municipio de Pueblo Viejo. Por último, el 21 de agosto de 1915 la corporación municipal se reúne con el presidente Manuel Estrada Cabrera, para cambiar el nombre del lugar por el de San Joaquín Villa Canales conmemorando el natalicio de la madre del presidente, Sra. Joaquina Cabrera de Estrada.

“Por acuerdo gubernativo del 3 de mayo de 1927 modificado el 10 de septiembre del mismo año”², queda asentado como Villa Canales.

¹ Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Villa Canales. *Historia*. <http://mvc.gob.gt/municipio-de-villa-canales/>.

² *Ibíd.*

1.1.2. Aspectos físicos

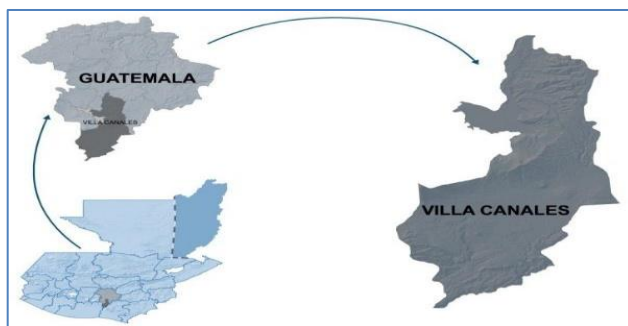
A continuación, se describen los aspectos físicos del proyecto.

1.1.2.1. Ubicación

Villa Canales uno de los 17 municipios del departamento de Guatemala, se ubica a 22 kilómetros al sur de la ciudad capital, su cabecera municipal se encuentra a 1 215 metros sobre el nivel del mar, con una extensión territorial de 353 kilómetros cuadrados. La elevación municipio va desde los 900 a 1 760 msnm. Asimismo, limita al norte con el municipio de Santa Catarina Pinula, en dirección sur con los departamentos de Santa Rosa y Escuintla, al oeste con los municipios de Amatitlán y San Miguel Petapa, en dirección este con el municipio de Fraijanes.

Respecto a la ubicación del tramo carretero puede mencionarse que conecta los poblados de Río Negro y El Obrajuelo a 57 kilómetros al sur de la ciudad capital, limitando al sureste con la aldea Los Dolores.

Figura 1. **Ubicación del municipio de Villa Canales**



Fuente: Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Villa Canales. *Ubicación del municipio de Villa Canales*. <http://mvc.gob.gt/municipio-de-villa-canales/>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

1.1.2.2. Localización

El proyecto de interés se encuentra ubicado entre la aldea El Obrajuelo y el caserío Río Negro, Villa Canales. Cuenta con las siguientes coordenadas: latitud 14° 16' 48" N y longitud 90° 34' 21,97" O y la elevación es de 647 msnm.

1.1.2.3. Características geográficas

La situación geográfica del municipio de Villa Canales al tratarse de un área extensa, hace que su territorio se componga de una cantidad considerable de accidentes geográficos dentro de los que se puede mencionar la sierra de Canales, 10 montañas y 19 cerros, casi todos cultivables.

1.1.2.4. División política

El municipio se divide administrativamente en una villa, 13 aldeas y 43 caseríos, y se mencionan a continuación:

Tabla I. **División administrativa del municipio de Villa Canales**

Aldea	Caserío
	La Virgen
	Pampumay
Villa: Villa Canales (casco urbano)	Punta de Ayala
	San Eusebio
	San José Orantes
Boca del Monte	
Colmenas	
Cumbre de San Nicolás	
Chichimecas	Rustrián
	Colmenitas
El Durazno	Parga

Continuación de la tabla I.

	El Limón
	La Cabaña
	La Lagunilla
El Jocotillo	La Manzana
	Las Mercedes
	San Francisco las Minas
	San Rafael
El Obrajuelo	Meléndrez
	Río Negro
El Porvenir	La Tambora
	Las Manzanillas
	El Pericón
	El Sitio
Los Dolores	Las Escobas
	Santa Isabel
	Santa Leonarda
Los Pocitos	Las Parásitas
	Rincón de Pacaya
	Candelaria
San José el Tablón	Las Victorias
	Tapacún
	El Capulín
	El Chipilinar
	Estanzuela
	La Esperanza
	La Unión
Santa Elena Barillas	Las Delicias
	Las Pozas
	Los Llanos
	Poza del Zope
	Rincón
	San Antonio
	San Ignacio
Santa Rosita	El Rosario
	San Cristóbal Buena Vista

Fuente: Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Villa Canales.

División administrativa del municipio.

<https://www.google.com/search?q=Divisi%C3%B3n+administrativa+de+la+municipalidad+de+vill+a+vanales&rlz>. Consulta 10 de diciembre de 2020.

1.1.2.5. Clima

Predominantemente en el municipio se percibe un clima templado con un alto grado de humedad contenido en el aire, así también se caracteriza en la época de invierno por las intensas lluvias de corta duración.

1.1.2.6. Hidrografía

En la aldea El Obrajuelo tienen paso tres ríos el río Chicuilote, Obrajuelo y Negro, este último siendo el que le da nombre al caserío más cercano.

1.1.3. Aspectos económicos

La principal actividad económica de la aldea El Obrajuelo radica en el cultivo de piña, como resultado de dicha actividad, un alto porcentaje se comercian en modo de exportación. Así también la ganadería, aunque en menor porcentaje que el cultivo, es un ingreso económico en dicha aldea.

1.1.3.1. Población

Como municipio, Villa Canales, ha tenido un crecimiento demográfico significativo debido a la centralización de la industria en la capital, junto con otros municipios de la región sur del departamento de Guatemala son considerados municipios dormitorio.

Según información recolectada por la Dirección Municipal de Planificación, Departamento que forma parte de la Municipalidad de Villa Canales, la aldea El Obrajuelo cuenta con una población aproximada de 3 110 habitantes.

1.1.3.2. Educación

En cuanto a índices de escolaridad, el porcentaje de personas que no tuvieron ningún grado de escolaridad en el municipio es de un 20 %. En cuanto al índice de alfabetismo, el porcentaje de personas capaces de leer y escribir en el municipio es de un 80 %. Debido al aumento en la población se vuelve indispensable el aumento en la inversión en infraestructura educativa y personal docente.

1.1.3.3. Salud

En cuanto a servicios de salud, en los poblados en cuestión, existe un centro de salud en cada comunidad, dichas instituciones públicas se encargan de velar por la salud de los habitantes.

1.1.4. Aspectos de infraestructura

Los aspectos de infraestructura del proyecto se describen a continuación.

1.1.4.1. Vías de acceso

La aldea tiene su conexión con la cabecera departamental recorriendo 53 kms en dirección suroeste, y que para su acceso se utilizan la ruta RD GUA-1 que es la carretera que atraviesa la aldea Boca del Monte, luego atravesando la RD GUA-27 conocida por atravesar la urbanización Ribera del Río, posteriormente se transita la RD GUA-10 tramo que dirige hacia la aldea Santa Elena Barillas.

Una vez se llega a la aldea Los Dolores se utiliza la RD GUA-23 y al llegar a la intersección para la aldea El Obrajuelo, se cruza para tomar la RD GUA-9 que conduce al destino de la aldea mencionada.

1.1.4.2. Servicios públicos

La disposición que tienen los pobladores de la aldea El Obrajuelo respecto a servicios públicos es de infraestructura básica, en cuanto a escuelas, cuentan con una escuela de nivel primario, y en cuanto a centros de salud, se cuenta con uno en cada caserío de la aldea.

Respecto al transporte, a la aldea arriba una línea de transporte extraurbano y también existe una línea informal compuesta por conductores de microbuses.

1.1.4.3. Organización comunitaria

En el municipio debido a la extensión territorial hace que se dificulte, en especial a pobladores de comunidades alejadas del casco urbano, la comunicación de las necesidades a las autoridades, por lo tanto, los pobladores del municipio se reúnen en una entidad con representantes de los sectores de la población con el fin de promover el desarrollo socioeconómico del municipio, a esta organización se le llama Consejo Comunitario de Desarrollo COCODE.

Así también, en colaboración con la municipalidad de Villa Canales se organizan en los llamados Consejo Municipal de Desarrollo COMUDE este funciona como un espacio de consulta, asesoría y concertación en el municipio, para formular proyectos o propuestas de solución a partir de las propuestas hechas por el COCODE.

1.2. Diagnóstico de las necesidades de servicios públicos e infraestructura de Villa Canales, Guatemala

Es indispensable realizar este tipo de diagnóstico a la población de El Obrajuelo como en la del caserío Río Negro para determinar la situación actual en función de las necesidades que, ya sea en el pasado o actualmente, estén afectando a la población de las aldeas.

1.2.1. Descripción de necesidades

Dentro de las necesidades existentes en Villa Canales se pueden mencionar las siguientes:

- Sistema ineficiente de alcantarillado sanitario y pluvial en la mayor parte de aldeas del municipio, un gran porcentaje de la red de alcantarillado del municipio se considera obsoleta debido al rápido crecimiento poblacional. Lo que ocasiona que las tuberías fallen y contaminen las calles.
- Tramos de carretera en mal estado en la ruta hacia el caserío Río Negro, aldea El Obrajuelo.
- Escasez de agua potable en el municipio, problemática que se da, específicamente, en las aldeas ubicadas al sur colindante con el departamento de Escuintla.
- Aldeas que no cuentan con la infraestructura adecuada para educación y salud, en algunas locaciones del municipio no se cuenta con una infraestructura formal para utilizarla como escuela o centro de salud, y las

personas deben movilizarse a aldeas próximas para obtener estos servicios.

1.2.2. Análisis y priorización de las necesidades

Tomando en consideración las necesidades planteadas por los pobladores de Villa Canales por medio de los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODE), es posible enlistar dichas necesidades y ordenarlas por orden de importancia. Se determina así, que la necesidad a priorizar es la de las vías de comunicación entre aldeas, por lo que se realizará el diseño geométrico de un tramo de carretera junto con el de las obras complementarias de la misma (cunetas, drenaje transversal, entre otros) así también se realizará el diseño del pavimento a emplear en dicho tramo.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Diseño geométrico del tramo carretero que conduce hacia caserío Río Negro, Villa Canales

Para el diseño geométrico del tramo carretero que conduce hacia caserío Río Negro, Villa Canales, se realiza la siguiente descripción.

2.1.1. Descripción del proyecto

En el presente documento se desarrollará el diseño del pavimento rígido del tramo de carretera que comprende la aldea El Obrajuelo y el caserío Río Negro, municipio de Villa Canales. Para llevarlo a cabo, es necesario, identificar las especificaciones de diseño que exigen las diversas organizaciones nacionales, regionales e internacionales para asegurar un diseño adecuado del tramo carretero, adicionalmente, los parámetros deben utilizarse con base a un criterio profesional, adecuado a las situaciones que el proyecto demande.

El diseño de un pavimento conlleva la aplicación de diversas áreas de la ingeniería, y se desarrollarán de igual forma los conceptos de mecánica de suelos, hidráulica, hidrología, topografía, diseño de mezcla, costos y el método simplificado de PCA para espesores de losa. Aplicando conjuntamente los tópicos mencionados, la población de ambas comunidades se verán beneficiados con una vía de acceso adecuada para las necesidades que viven actualmente.

2.1.2. Especificaciones y criterios de diseño

Para el diseño del tramo de carretera se tomó como base los códigos: Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos, Normas AASHTO, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras regionales de SIECA.

- Criterios de diseño: el diseño geométrico es una de las partes primordiales de un proyecto de carretera y a partir de diferentes elementos y factores, internos y externos, se configura su forma definitiva de modo que satisfaga de la mejor manera aspectos como: seguridad, comodidad, funcionalidad, economía, entorno, estética y elasticidad.

2.1.3. Clasificación de la carretera

Las carreteras en Guatemala pueden clasificarse a partir de diferentes criterios y parámetros como:

Tabla II. **Clasificación por T.P.D. (Tráfico Promedio Diario)**

Tipo	T.P.D	Ancho calzada (m)
A	3 000 – 5 000	2 x 7,20
B	1 500 – 3 000	X 7,20
C	900 – 1 500	X 6,50
D	500 – 900	X 6,00
E	100 – 500	X 5,50
F	10 – 100	X 5,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Clasificación por transitabilidad**

Tipo	Observación
Terracería	Se transita sobre la subrasante
Revestida	Se transita sobre capa colocada sobre subrasante
Pavimentada	Se transita sobre carpeta de rodadura

Fuente: elaboración propia.

- Administrativamente se pueden clasificar como
 - Rutas centroamericanas (CA)
 - Rutas nacionales (RN)
 - Rutas departamentales (RD)
 - Caminos rurales (CR)
 - Rutas CITO

La clasificación de la carretera en función del TPD (96 vehículos/día), entra en el rango de máximo 100 vehículos al día, según la tabla II, la clasificación que se le da a la carretera es de tipo F con un ancho de calzada de 5,50 m, tratándose de una vía de una sola calzada y doble sentido de circulación, un sentido por carril.

2.1.4. Levantamiento topográfico

En un proyecto vial, el levantamiento topográfico se establece por medio de una etapa previa de selección de ruta y trazado preliminar, donde se analizan las posibles rutas, que fueron consideradas debido a las visitas

preliminares de campo para conocer las características y condiciones del terreno y que posteriormente la línea preliminar puede pasar.

El levantamiento preliminar se realizó siguiendo la ruta existente de la carretera, siguiendo la línea central para posteriormente ser corregida en gabinete. En primera instancia se estableció una poligonal abierta cuyos vértices serán puntos base, para que, mediante radiaciones, se tomen distintos puntos de la topografía, así también se estableció la nivelación de los puntos fijos en la poligonal y la toma de secciones transversales.

2.1.4.1. Planimetría

Es la parte de la topografía que comprende los métodos y procedimientos para determinar las coordenadas planas de puntos específicos en el espacio, para posteriormente representarlos en una superficie bidimensional.

Para el levantamiento topográfico se utilizó, como equipo, una estación total marca *South N7 Series* con precisión de 2", 2 prismas de precisión y sus respectivos cadeneros, cinta métrica, pintura, materiales de oficina (papel, lapiceros, tablilla), equipo de jardinería para chapear áreas con vegetación (machete).

La metodología empleada en este levantamiento fue la de conservación del azimut con radiaciones, este método fue seleccionado para su realización en campo debido a que, al existir una ruta existente, la línea central sufrirá pocas modificaciones, y se pudo enfocar el tiempo en la toma de radiaciones que complementaron la información de la superficie a crear.

2.1.4.2. Altimetría

Es la parte de la topografía que se encarga de la medición de los gradientes de nivel o elevación entre diferentes puntos fijados por el levantamiento topográfico, las cuales representan las distancias verticales medidas a partir de un plano horizontal de referencia.

En el caso del levantamiento del proyecto, la estación total utilizada en la planimetría realiza la medición tanto de ángulos y distancias, como de niveles de los puntos delimitados por las estaciones, es por eso que en la realización de la planimetría se obtuvieron los valores de altimetría paralelamente.

2.1.5. Estudio de suelos

En cualquier obra de ingeniería que se gestione para ser empleada como obra de infraestructura, es necesario realizar estudios al suelo donde se va a fundar la estructura, con el fin de obtener información sobre las características fisicoquímicas de las partículas que lo componen, y obtener las propiedades mecánicas donde, se espera el suelo, se encuentre en su condición óptima para soportar la estructura del pavimento. De igual forma la realización de ensayos de laboratorio en el suelo, ayudan a determinar si se trata de un material adecuado para ser utilizado como fundación del pavimento.

2.1.5.1. Análisis granulométrico

Se trata de un ensayo básico para determinar el rango de tamaño de partículas presentes en una muestra de suelo, siendo estos representados por medio de un porcentaje en peso de los diversos tamaños de partículas que componen el suelo en estudio. Con dicha información granulométrica es posible

identificar el suelo mediante sistemas de clasificación, dentro de los cuales se pueden mencionar:

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S o Sistema ASTM)
- Sistema de Clasificación AASHTO (Sistema AASHTO)

La composición del material permite trazar la curva granulométrica, que representa gráficamente la distribución de los tamaños de las partículas. A partir de esta gráfica se obtienen dos importantes indicadores que caracterizan a un suelo, se mencionan a continuación:

- Coeficiente de Uniformidad (Cu): Indica que mayor extensión de la curva, también será mayor la variedad de tamaños de las partículas del suelo.

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

Donde:

Cu = coeficiente de uniformidad

D₆₀ = diámetro por el cual pasa el 60 % de la muestra

D₁₀ = diámetro por el cual pasa el 10 % de la muestra

- Coeficiente de curvatura (Cc): indica el grado de curvatura de la granulometría.

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

Donde:

C_c = coeficiente de curvatura

D_{30} = diámetro por el cual pasa el 30 % de la muestra

D_{10} = diámetro por el cual pasa el 10 % de la muestra

D_{60} = diámetro por el cual pasa el 60 % de la muestra

2.1.5.2. Límites de Atterberg

También llamados límites de consistencia, es un ensayo que se realiza para caracterizar el comportamiento de los suelos finos (arcillosos/ limosos) mediante la determinación de los límites o fronteras de rango de humedad dentro del cual el suelo permanece en estado plástico.

Los suelos finos pueden pasar de un estado de consistencia (estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido o viscoso) a otro en función del contenido de humedad, es decir, cambian de estado al traspasar los límites establecidos para cada uno. Dentro de los límites entre estados del suelo se puede mencionar:

- Límite líquido (LL): sucede cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico, y se considera importante porque es una medida de la resistencia al corte del suelo a determinado contenido de humedad

El procedimiento técnico y analítico para determinar el límite líquido se establece detalladamente en la norma AASHTO T-89.

- Límite plástico (LP): sucede cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y tiende a romperse. Para su realización,

generalmente se hace uso del material que no se utilizó en la determinación del límite líquido.

El procedimiento técnico y analítico para determinar el límite plástico se establece detalladamente en la Norma AASHTO T-90.

- Índice de plasticidad (IP): definidos los límites líquido y plástico puede determinarse el índice de plasticidad, y el mismo se trata de la diferencia algebraica entre ambos límites, $IP = LL - LP$.

Cuando un suelo un índice de plasticidad (IP) igual a cero se le considera como suelo no plástico; cuando el índice de plasticidad se encuentra entre 0 y 7 se considera como un suelo de baja plasticidad; cuando el índice de plasticidad se encuentra entre 7 y 17 se considera como un suelo medianamente plástico; finalmente si el suelo presenta un IP mayor a 17 se considera como altamente plástico.

2.1.5.3. Ensayo de compactación (proctor modificado)

Dicho ensayo se realiza para mejorar las propiedades mecánicas de un suelo de forma controlada y así obtener un incremento en su resistencia y disminución en su compresibilidad. Este ensayo es frecuentemente realizado en el estudio de secciones de relleno (terraplenes) de carreteras, líneas de ferrocarril o para embalses de agua.

El objetivo principal del ensayo es determinar la curva de compactación con base a los valores de peso y densidad de cilindros proctor, compactados a

diferentes porcentajes de humedad. Y de dicha curva determinar la densidad máxima seca, y la humedad óptima necesaria para obtener dicha densidad.

El procedimiento técnico y analítico para desarrollar el ensayo de compactación proctor modificado se establece en la Norma AASHTO T – 180.

2.1.5.4. Ensayo de razón soporte California (C.B.R.)

Traducción de sus siglas California Bearing Ratio, se trata de un ensayo que simula las condiciones críticas que pueden afectar el suelo en obra, donde la muestra de suelo se encuentra a su densidad máxima y humedad óptima, que mide la resistencia al esfuerzo cortante del suelo en estudio y así evaluar la capacidad de soporte de los suelos a utilizar en el pavimento.

Dicha resistencia se expresa como un porcentaje (índice CBR) del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón en la muestra de suelo compactada, comparándolo con el esfuerzo patrón requerido para penetrar, con el mismo pistón, una muestra patrón de piedra triturada con índice CBR igual a 100 %. El índice CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón, y se puede expresar como:

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

El procedimiento técnico y analítico para desarrollar el ensayo de CBR se establece en la Norma AASHTO T – 193.

Tabla IV. **Clasificación de la calidad del suelo en función de su CBR**

Índice C.B.R	Clasificación
0 – 5	Sub-rasante muy mala
5 – 10	Sub-rasante mala
10 – 20	Sub-rasante regular a buena
20 – 30	Sub-rasante muy buena
30 – 50	Sub-base buena
50 – 80	Base buena
80 – 100	Base muy buena

Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. p. 113.

2.1.5.5. Análisis de resultado de ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio fueron realizados a una muestra representativa del suelo en su estado natural, en la ubicación del proyecto. Los resultados obtenidos de la muestra de suelo se encuentran en la sección de anexos, específicamente los anexos #1, 2, 3 y 4, de los cuales se elaboraron las tablas V, VI, VII y VIII.

- Análisis granulométrico: Por medio de tamizado con lavado previo, se obtuvo una distribución de tamaños de partículas de la siguiente forma: 25,90 % de grava, 67,23 % de arena y 6,87 % de finos (limo). Empleando los sistemas de clasificación de suelo mencionados anteriormente, se clasificó como SW-SM (arena bien graduada con presencia de limo) según el sistema S.U.C.S y se clasificó en el grupo A-2, subgrupo A-2-4 (gravas y arenas, limosas o arcillosas) según el sistema AASHTO; además el suelo se describe como arena con grava color café.

Tabla V. **Porcentaje de partículas de suelo en muestra**

Tipo de partícula	Porcentaje presente en la muestra (%)
Grava	25,90
Arena	67,23
Finos	6,87

Fuente: elaboración propia.

- Límites de Atterberg: al tratarse de un suelo arenoso con bajo porcentaje de finos, se puede afirmar que sus límites son cercanos a cero, por lo tanto, la muestra no presenta límites (NP), y se puede clasificar según la carta de plasticidad como arena con presencia de finos no plásticos (ML).

Tabla VI. **Límites de Atterberg de muestra de suelo**

No. muestra	L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación *	Descripción del suelo
1	N.P.	N.P.	ML	Arena con grava color café

(*) CLASIFICACIÓN SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de compactación (Proctor): realizado por medio del método Proctor modificado, se describió el suelo como una arena con grava color café; además se obtuvo que para una humedad óptima del 18,75 % agregada al suelo, se logra una densidad máxima seca de 1 212,71 kg/m³ (75,70 lb/pie³), dicho valor, se buscara obtener durante los trabajos en campo.

Tabla VII. **Compactación con proctor modificado a muestra de suelo**

ENSAYO DE COMPACTACIÓN		
Norma de proctor modificado	AASHTO T – 180	
Descripción del suelo	Arena con grava color café	
Humedad óptima	18,75 %	
Densidad seca máxima	1 212,71 kg/m ³	75,70 lb/pie ³

Fuente: elaboración propia

- Razón Soporte California (C.B.R.): Mediante el ensayo de laboratorio se obtuvo que, para una compactación del 97,1 % el índice de CBR es de 43,63 %, a lo que corresponde un índice de CBR de 32,25 % para una compactación del 95 %.

Tabla VIII. **Compactación e índice de CBR a muestra de suelo**

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C	EXPANSION	C.B.R
No.	No.	H (%)	yd (Lb/pie3)	(%)	(%)	(%)
1	10	18,32	67,57	89,3	0,13	8,36
2	25	18,32	68,81	90,9	0,02	10,02
3	56	18,32	73,53	97,1	0,11	43,63

Fuente: elaboración propia.

2.1.6. Diseño geométrico

Comprende el dimensionamiento geométrico de los elementos de una carretera, tanto en sentido horizontal como vertical, secciones transversales, entre otros, a partir de factores como el tránsito, topografía, velocidades, de modo que se pueda circular de una manera cómoda y segura.

El diseño geométrico de una vía está compuesto por tres elementos bidimensionales que se ejecutan de manera individual, pero al estar en función unos de otros, al unirlos finalmente se obtiene un elemento tridimensional que corresponde a la vía propiamente. Estos elementos pueden mencionarse:

- Alineamiento horizontal
- Alineamiento vertical
- Diseño transversal
- Velocidad de diseño

También conocida como velocidad directriz, es uno de los factores importantes dentro del diseño de una vía, y la misma depende de cuatro condicionantes generales: de las características físicas de la carretera y sus zonas aledañas, del clima, de la presencia de otros vehículos y de las limitaciones a la velocidad (por motivos legales o por ser zona de control de velocidad).

La velocidad de diseño se establece en función de la clasificación de la carretera y el tipo de terreno, se conoce de las curvas de nivel, que la pendiente media es de 6,30 % y se puede determinar que la vía se encuentra en una zona ondulada. Se clasificó según su TPD como una carretera tipo F o también conocida como terciaria.

Tabla IX. **Características geométricas de las carreteras en estado final**

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

Fuente: Departamento de Carreteras. Dirección General de Caminos. *Características geométricas de las carreteras en estado final*. p. 25.

La velocidad de diseño, considerada adecuada y segura para transitar en la vía será de 30 KPH, y es aplicable debido los cambios de pendientes en cortas distancias y por el ancho de calzada.

2.1.6.1. Alineamiento horizontal

Es una proyección sobre un plano horizontal en el cual la carretera está representada por el eje central y por los bordes izquierdo y derecho (ancho de calzada). El eje central es la línea imaginaria que va por el centro del ancho de calzada y se dibuja con la convención general de los ejes. Los bordes izquierdo

y derecho son las líneas que demarcan la zona transitable por los vehículos. Al hacer el trazado, se requiere colocar puntos a cada cierta distancia (dependiendo de la topografía) llamados estaciones.

2.1.6.1.1. Diseño de línea de localización

En esta etapa del proyecto se establecerá la línea final o definitiva de la vía, para lo cual, se utilizará toda la información recabada en campo cuando se realizó el levantamiento topográfico. En este momento se diseña considerando los parámetros de diseño de los códigos mencionados en la sección de especificaciones y criterios de diseño, y en este proceso para el proyecto se consideró:

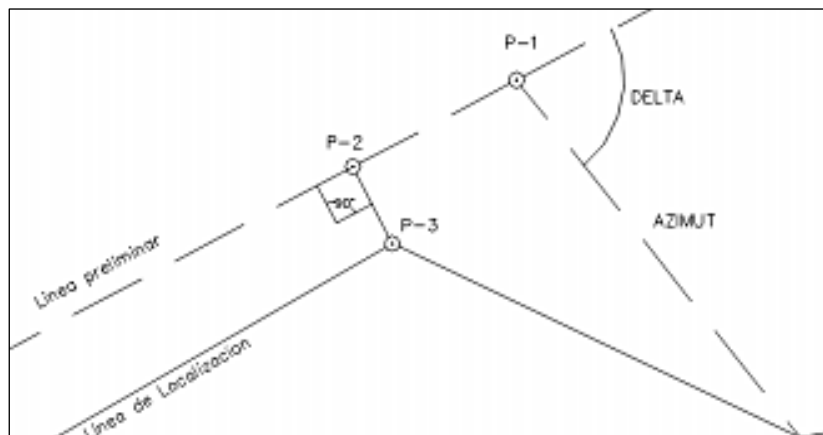
- El tipo de carretera (tipo F), y la topografía del terreno, hace que en puntos específicos las curvas horizontales no puedan cumplir con los parámetros que permite la velocidad de diseño establecida.
- En cada intersección debe verificarse la longitud de las tangentes, porque estas no pueden tener valor negativo por ninguna circunstancia, ya que esto indicaría que dos curvas horizontales se están traslapando.

2.1.6.1.2. Corrimientos

En la situación específica del proyecto, la línea de localización coincidió con la línea preliminar, es decir que, el levantamiento topográfico siguió el alineamiento existente en la mayoría del tramo. Debido a que existieron tramos específicos donde las tangentes excedían la distancia máxima, fue necesario introducir puntos de intersección horizontal, y se presentó el caso contrario, que

las tangentes no cumplieran con la distancia mínima, y se realizaron corrimientos de la línea, a la línea de localización.

Figura 2. **Corrimiento de línea**



Fuente: SANTOS MORALES, Antonio. *Diseño de una carretera hacia la aldea San Cristóbal El Alto y un alcantarillado sanitario para la aldea San Bartolomé Becerra, Antigua Guatemala, Sacatepéquez.* p. 24.

El procedimiento para realizar el corrimiento de la línea de localización empieza por obtener las coordenadas totales de los puntos de intersección (PI), en el caso del proyecto se obtuvieron por medio de la estación total con la que se realizó el levantamiento topográfico, para posteriormente con las coordenadas:

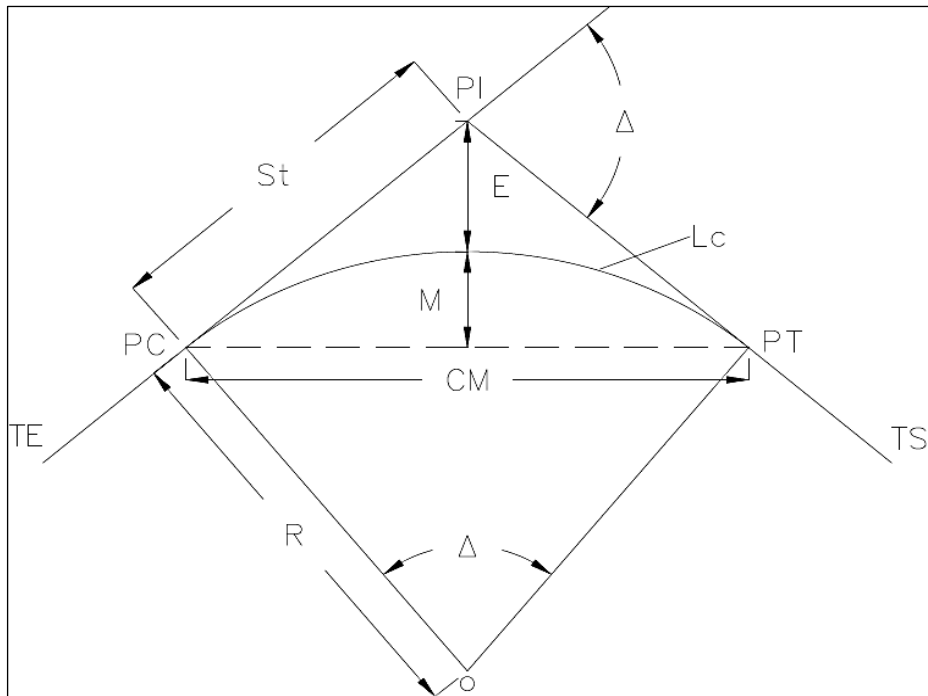
- Dibujar una línea perpendicular a la línea preliminar en el punto P2 hasta interceptar con el PI de la línea de localización (punto P3), medir la distancia entre los puntos P2 y P3 y la del P1 (punto de intersección) y el punto P2.

- Teniendo las coordenadas del PI (punto P1) de la línea preliminar, el azimut invertido y la distancia de P1 a P2, se calculan las coordenadas del punto P2, posterior se ubica el P2 y con el azimut invertido se le resta 90° para obtener el nuevo azimut de la línea formada entre P2 y P3, dicha distancia servirá para calcular las coordenadas del punto P3 y P1 de la línea de localización.
- Se le denominarán como puntos de control a las distancias entre P1-P2 y P2-P3, porque estas concatenan las líneas de localización y preliminar.

2.1.6.1.3. Diseño de curvas horizontales

Forman parte del alineamiento horizontal y se determinan trazando una serie de tramos rectos (tangentes), que convergen en un punto de intersección (PI), en el cambio de dirección entre tangentes, lugar en donde físicamente se colocará una curva horizontal o de transición si es necesario. Las curvas horizontales a su vez se componen de distintos elementos, cuyas características deben regirse acorde a las especificaciones técnicas y económicas del proyecto.

Figura 3. **Elementos de curva horizontal**



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

Donde:

TE = tangente de entrada

TS = tangente de salida

PC = punto de comienzo de curvatura horizontal

PT = punto de Terminación de curvatura horizontal

PI = punto de Intersección horizontal

R = radio de la curva horizontal

St = subtangente de curva horizontal

E = external

M = ordenada media o punto medio

CM = cuerda máxima

Δ = delta, ángulo central de la curva horizontal

Lc = longitud de curva horizontal

Y donde para obtener el valor de cada elemento, se utilizan las siguientes expresiones:

Radio: está en función del grado de curvatura (G).

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

Longitud de curva: longitud del arco comprendido entre el PC y PT, cuyo ángulo central es Δ .

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

Subtangente: distancia de extensión de la línea que va desde PC hasta PI o del PI hasta el PT.

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

Cuerda máxima: distancia lineal entre el PC y el PT.

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

External: distancia entre el PI y el punto más alto de la curva o la mitad de la Lc.

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

Ordenada media: distancia entre el punto más alto de la curva y el punto medio de la Lc.

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

Resolviendo para la curva horizontal No 1, se tiene que:

- Estacionamiento PI = 0 + 061,96
- R = 50 m
- Delta (Δ) = 23° 01' 39" (Obtenido de la diferencia del azimut de la tangente de salida y entrada).

Radio:

$$R = \frac{1\,145,9156}{G} \rightarrow G = \frac{1\,145,9156}{R} = \frac{1\,145,9156}{50}$$

$$G = 22^\circ 55' 5,92''$$

Longitud de curva:

$$Lc = \frac{20 * \Delta}{G} = \frac{20 * 23^\circ 01' 39''}{22^\circ 55' 92''}$$

$$Lc = 20,10 \text{ m}$$

Subtangente:

$$St = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 50 * \tan\frac{23^\circ 01'39''}{2}$$

$$St = 10,19 \text{ m}$$

Cuerda máxima:

$$CM = 2R * \text{sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 2(50) * \text{sen}\left(\frac{23^\circ 01'39''}{2}\right)$$

$$CM = 19,96 \text{ m}$$

External:

$$E = R * \left(\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1\right) = 50 * \left(\sec\left(\frac{23^\circ 01'39''}{2}\right) - 1\right)$$

$$E = 1,03 \text{ m}$$

Ordenada media:

$$M = R * \left(1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)\right) = 50 * \left(1 - \cos\left(\frac{23^\circ 01'39''}{2}\right)\right)$$

$$M = 1,01 \text{ m}$$

Los estacionamientos se obtienen con base en las distancias horizontales (tangentes) y las longitudes de curva (Lc) existentes entre cada PC y PT del alineamiento horizontal. Para determinar dichos elementos del alineamiento se emplea la siguiente deducción general:

$$PC_1 = POT_{\text{inicial}} + TG_1$$

$$PT_1 = PC_1 + Lc_1$$

$$PC_2 = PT_1 + TG_2$$

$$PT_2 = PC_2 + LC_2 \dots$$

$$PT_n = PC_n + LC_n$$

$$POT_{final} = PT_n + TG_{n+1}$$

Donde:

$POT_{inicial / final}$ = punto obligado de tangencia horizontal

TG = tangente de entrada al PC

De la curva horizontal núm. 1, se tiene que:

$$PC_1 = POT_{inicial} (0 + 000) + TG_1 = (0 + 000) + 51,78 = 0 + 051,78$$

$$PT_1 = PC_1 (0 + 051,78) + LC_1 = (0 + 051,78) + 20,10 = 0 + 071,88$$

En la tabla XIV se encuentran los elementos de las curvas horizontales que se encuentran a lo largo del tramo, se consideró que al ser una carretera tipo F, el radio mínimo a utilizar según tablas de diseño deberá ser de 30 m; teniendo que adaptar dicho radio a las curvas horizontales que la topografía lo permita.

2.1.6.1.4. Curvas de transición

Las curvas circulares en su enlazado con las tangentes presentan un cambio brusco y puntual de curvatura, ocasionando a su vez un cambio inmediato en la fuerza centrífuga. Situaciones como la mencionada hacen que los conductores al transitar bajo esas circunstancias desarrollen una trayectoria errónea al entrar y salir de las curvas.

Razón por la que se hace necesario implementar una curva de transición que permita hacer un cambio gradual de curvatura entre una recta y una curva circular, mejorando de manera significativa la comodidad, seguridad y estética de la vía.

2.1.6.1.5. Peralte (e%)

También llamado sobreelevación, es necesario cuando un vehículo viaja a través de una curva determinada (mayormente cerradas) y el movimiento circular genera una fuerza centrífuga que hace que el vehículo tenga un movimiento hacia fuera de la curva. Esta sobreelevación contrarresta la fuerza centrífuga y el efecto adverso de la fricción que se produce entre la llanta y el pavimento. En curvas con radio de gran amplitud este efecto puede ser desestimado.

Para el tipo de terreno del proyecto (ondulado), y al tratarse de una vía rural o no principal, acorde a la tabla X, se establece que el peralte máximo a implementar en las curvas horizontales que lo requieran será del 10 %.

Tabla X. **Peralte máximo en función del tipo de terreno**

Tasa de Sobreelevación, "e" en (%)	Tipo de Area
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: SIECA. *Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales.* p. 36.

2.1.6.1.6. Sobreancho (SA)

Se trata de un ancho adicional al carril(es), necesario para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado para compensar la dificultad que tiene el conductor de tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. El sobre-ancho se diseña en curvas horizontales de radios pequeños, combinado con carriles angostos, esto se hace para facilitar las maniobras durante la conducción del vehículo.

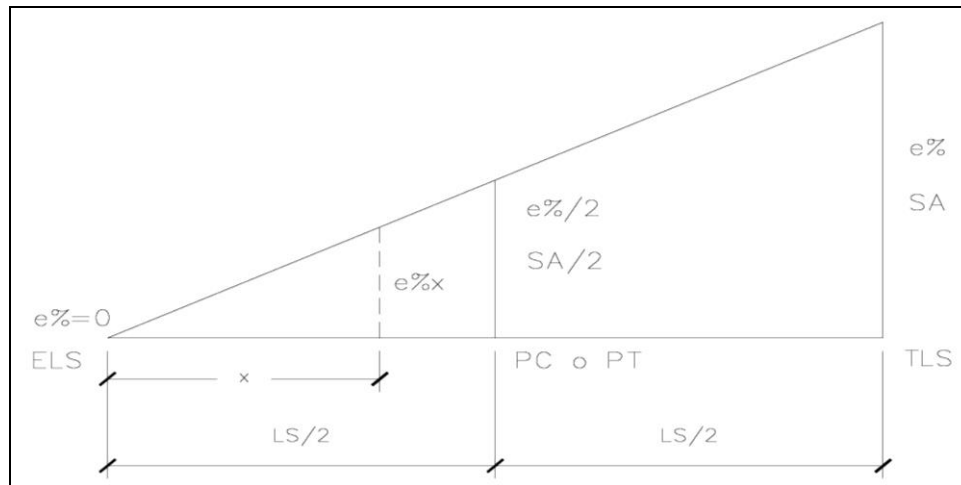
Tabla XI. **Distribución de sobreancho en calzada**

Curva horizontal con curva de transición	El sobre-ancho se reparte tanto en el lado interno como externo de la calzada.
Curva horizontal sin curva de transición	El sobre-ancho se reparte únicamente en el lado interno de la calzada.
Nota: Si el valor de sobre-ancho es menor a 30 cm, se acepta no implementarlo en la calzada	

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de diseño geométrico de vías*. p. 101.

Para obtener los diferentes valores del peralte y sobre-ancho a lo largo de la longitud de espiral (en las curvas que sean necesarios), se pueden encontrar por medio de una relación de triángulos que involucra la longitud de espiral de la curva de transición, como se muestra a continuación:

Figura 4. Relación de peralte y sobrancho con longitud de espiral



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

También se puede utilizar la tabla XII, para practicidad de diseño, mediante el radio, grado de curvatura de la curva y velocidad de diseño de la curva horizontal, que servirán para obtener un valor de Longitud de espiral (Ls), y los anteriores elementos mencionados.

Tabla XII. Peralte, sobre-ancho y longitud de espiral de curvas de transición

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

Fuente: Departamento de Carreteras. Dirección General de Caminos. *Manual de peralte, sobre-ancho y longitud de espiral de curvas de transición*. p. 25.

De la tabla XII para la curva horizontal núm. 3, se obtuvo el peralte, sobre-ancho y longitud de espiral (Ls) máximo, la cual cuenta con un radio de 40 m lo que representa un G = 28° con la velocidad de diseño de 30 KPH. Obteniendo

un peralte ($e\%$) de 8,70 %, una longitud de espiral (L_s) de 31 m y un sobre-ancho (SA) de 1,38 m. Con dichos valores se determinará el peralte y sobre-ancho para cualquier punto a lo largo de la longitud de espiral, tomando como referencia la figura 4, de la siguiente manera:

Estacionamientos para curva núm. 3: $PC = 0 + 138,73$

$ELS = PC - L_s/2 = 0 + (138,73 - 31/2) = 0 + 123,23$

$TLS = PC + L_s/2 = 0 + (138,73 + 31/2) = 0 + 154,23$

Peralte y sobre-ancho a cada 10 m:

Peralte en estación 0+130,00:

$$e\% = \frac{(130 - 123,23) * 8,70}{31}$$

$$e\% = 1,90 \%$$

Peralte en estación 0+140,00:

$$e\% = \frac{(140 - 123,23) * 8,70}{31}$$

$$e\% = 4,71 \%$$

Sobrancho en estación 0+130,00:

$$SA = \frac{(130 - 123,23) * 1,38}{31}$$

$$SA = 0,30 \text{ m}$$

Sobrancho en estación 0+140,00:

$$SA = \frac{(140 - 123,23) * 1,38}{31}$$

$$SA = 0,75 \text{ m}$$

Tabla XIII. **Peralte, sobrancho sobre la longitud espiral de la curva horizontal número 3**

Estación		Línea	e%	SA (m)
ELS	0+123,23	V = 30 KPH G = 28 °	0	0
	0+130,00		1,90 %	0,30
PC	0+138,73		4,35 %	0,69
	0+140,00		4,71 %	0,75
	0+150,00		7,51 %	1,19
TLS	0+154,23		8,70 %	1,38

Fuente: elaboración propia.

2.1.6.2. Alineamiento vertical

Está compuesto por dos elementos principales: subrasante y perfil, además el alineamiento vertical es la proyección vertical del eje de la vía sobre una superficie horizontal paralelos entre sí. Longitudinalmente en este tipo de alineamiento se comparte el plano vertical entre la línea sub-rasante y el perfil (terreno natural).

Gráficamente se observan dos líneas paralelas entre sí, donde el eje horizontal corresponde a las abscisas o el estacionamiento y en el eje vertical corresponden las cotas (niveles), dibujadas de izquierda a derecha.

2.1.6.2.1. Diseño de línea sub-rasante

Esta línea subrasante corresponde al eje donde se asentará la vía. La línea central del tramo carretero, durante la topografía, debe ser nivelado con el fin de obtener el perfil natural correspondiente y sobre este proyectar la sub-rasante más adecuada basándose en criterios de diseño. Es la que define el volumen a trabajar en el movimiento de tierra.

Una vez que se cuenta con el perfil del terreno, se deben identificar las pendientes presentes en el terreno, esto se realiza conociendo la clasificación de las mismas, porque estas se utilizarán en procedimientos posteriores del diseño.

2.1.6.2.2. Pendientes

Definida como el cociente de la diferencia de niveles (elevaciones) entre la diferencia de distancias horizontales (estaciones) de una vía, es decir, la inclinación que tiene el terreno para pasar de una estación a otra.

Tabla XV. **Clasificación de las pendientes**

Tipo	Definición
Pendiente máxima	Es la mayor pendiente que es recomendable usar en el proyecto por criterios de seguridad. Se puede emplear cuando las necesidades ameriten.
Pendiente mínima	Esta se fija para permitir un drenaje adecuado. En los terraplenes puede ser nula y en los cortes se recomienda al menos un 0,5 % para garantizar un buen funcionamiento de cunetas.
Pendiente Gobernadora	Es la pendiente media del terreno. Sirve de norma reguladora a la serie de pendientes que se deba proyectar para ajustarse en lo posible al terreno.

Fuente: elaboración propia.

- Tipos de terreno: el alineamiento vertical de una vía está relacionado con la configuración topográfica del terreno donde se localizará la obra. En el terreno se distinguen pendientes como: las subidas o pendientes ascendentes se identifican con signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo (-).

Tabla XVI. **Tipos de terreno en función de las pendientes naturales**

Tipo de Terreno	Rangos de Pendientes (%)
Llano o plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 15$
Montañoso	$15 > G \geq 30$

G= Pendiente

Fuente: SIECA. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales.* p. 63.

El tipo de terreno del proyecto se trata de un de tipo ondulado, según tabla XVI, y se diseñará para una velocidad de diseño de 30 KPH y una pendiente media de 6,30 %.

2.1.6.2.3. Diseño de curvas verticales

De igual forma que en las curvas horizontales, los tramos se componen de tramos rectos (tangente), enlazados entre sí por curvas, en este caso, verticales. Las tangentes tienen su respectiva longitud, la cual, es tomada sobre la proyección horizontal (ΔX) y una pendiente (S), normalmente expresada en porcentaje.

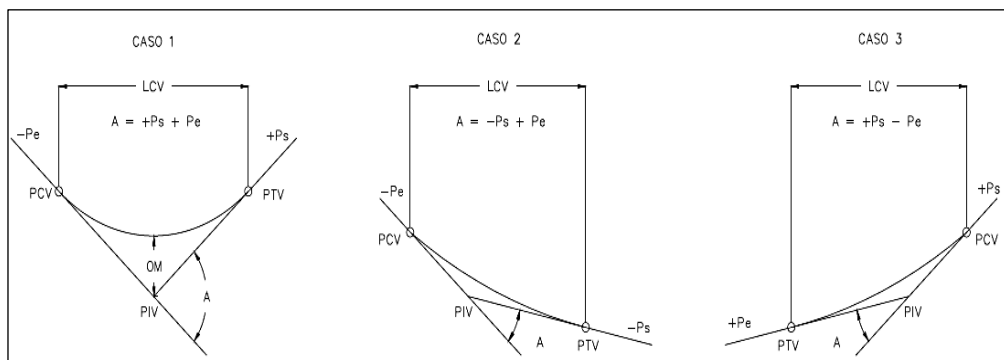
Por su parte una curva vertical hace posible enlazar dos tangentes verticales consecutivas, y permite hacer un cambio gradual de pendiente desde la tangente de entrada a la transición de la tangente de salida. Cumpliendo correctamente la definición se obtienen resultados como:

- Circulación de vehículos de una manera cómoda, segura y fluida
- Apariencia agradable hacia la vista del espectador
- Drenaje adecuado del agua que fluye sobre la estructura
- Tipos de curvas verticales

En términos generales existen curvas circulares y parabólicas, siendo las de tipo parabólico más empleadas en el diseño de alineamiento vertical debido a su adaptabilidad a las condiciones que presente la topografía. En Guatemala la Dirección General de Caminos, utiliza las de tipo parábola simple y las especificaciones están dictadas en función de este tipo de curva.

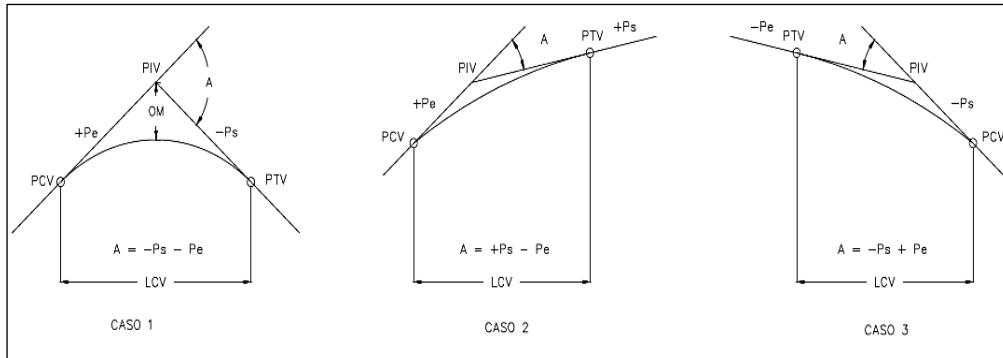
Asimismo, debido a la dirección de su pendiente, las curvas verticales pueden ser cóncavas (columpio) o convexas (crestas), siendo las curvas cóncavas diseñadas conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo (visibilidad de paso) de diseño, y las curvas convexas diseñadas de acuerdo a la mayor distancia de visibilidad de parada para determinada velocidad de diseño.

Figura 5. **Curva cóncava (columpio)**



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

Figura 6. **Curva convexa (cresta)**



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

Donde:

- Pe = pendiente de entrada
- Ps = pendiente de salida
- PCV = punto de comienzo de curvatura vertical
- PTV = punto de terminación de curvatura vertical
- PIV = punto de intersección vertical
- A = diferencia algebraica de pendientes ($P_s - P_e$)
- LCV = longitud de curva vertical
- OM = ordenada media

Las longitudes mínimas para diseñar curvas verticales, se encuentran principalmente, en función de la diferencia algebraica de pendientes (A), la velocidad de diseño y del parámetro de la variación por unidad de pendiente (K).

Respecto a la constante de la variación por unidad de pendiente (K) se encuentra en función de la velocidad de diseño y del tipo de curva vertical que se diseñe, dichos valores se pueden encontrar en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Constante de variación por unidad de pendiente (K)**

Velocidad de diseño (KPH)	Valores de k según tipo de curva	
	Cóncava	Convexa
10	1	0
20	2	1
30	4	2
40	5	4
50	9	7
60	12	12
70	17	19
80	23	29
90	29	43
100	36	60

Fuente: SANTOS MORALES, Antonio. *Diseño de una carretera hacia la aldea San Cristóbal El Alto y un alcantarillado sanitario para la aldea San Bartolomé Becerra, Antigua Guatemala, Sacatepéquez.* p. 39.

Dadas también las características geométricas de la carretera tipo F en un terreno ondulado, se sabe que la distancia de visibilidad de parada mínima es de 30 m y la recomendada de 35 m por lo que se usará la segunda propuesta, por lo tanto, para la velocidad de diseño de 30 KPH propuesta para la carretera, los valores de K correspondientes para cada tipo de curva vertical son:

- Cóncava: 4
- Convexa: 2
- Criterios para determinar la longitud de curva vertical

Se consideran cuatro criterios para determinar la longitud de curva vertical, dentro de los que se pueden mencionar:

- Criterio de seguridad

Puede ser aplicado tanto en curvas cóncavas como convexas, y se basa en que la longitud de curva vertical debe ser igual o mayor a la distancia de visibilidad de parada.

- Distancia de visibilidad de parada: se entiende como la distancia mínima requerida para que un vehículo, que viaja a la velocidad de diseño, se logre detener por completo antes de alcanzar un objeto u obstáculo inmóvil que se encuentra en su trayectoria. Para el caso del proyecto se mencionó que dicha distancia es de 35 metros.

$$LCV = K * A$$

Donde:

LCV = longitud de curva vertical (m)

K = constante de variación por unidad de pendiente (m / %)

A = diferencia algebraica de pendientes (%)

- Criterio de apariencia

Aplicable a curvas verticales con visibilidad completa (cóncavas), establece la longitud mínima en la LCV para evitarle al usuario tener la impresión de un cambio súbito de pendiente.

$$K = \frac{LCV}{A} \geq 30$$

- Criterio de comodidad

Verificable en curvas verticales del tipo columpio (cóncavas) donde debido a la fuerza centrífuga que afecta el vehículo, al cambiar este de dirección, se suma al peso propio del vehículo.

$$K = \frac{LCV}{A} \geq \frac{V^2}{395}$$

Donde

LCV = longitud de curva vertical (m)

K = constante de variación por unidad de pendiente (m/%)

A = diferencia algebraica de pendientes (%)

V = velocidad de diseño (KPH)

- Criterio de drenaje

Aplicable a curvas cóncavas o convexas, establece la longitud máxima que debe tener la LCV para que la pendiente en cualquier punto de la curva, sea adecuada para que el agua pueda drenar de buena manera.

$$K = \frac{LCV}{A} \leq 43$$

2.1.6.2.4. Correcciones

Las elevaciones obtenidas de la sub-rasante, deben ser corregidas puesto que se busca realizar una transición suave entre pendiente de entrada y la de salida. Para corregir la elevación entre el PIV y la curva vertical se emplea la siguiente expresión:

$$OM = \frac{A}{800} * LCV$$

Donde:

LCV = longitud de curva vertical (m)

OM = ordenada media de la curva vertical

A = diferencia algebraica de pendientes (%)

Y para corregir la elevación en cualquier punto sobre la curva vertical se utiliza la siguiente expresión:

$$Y = \frac{A}{200 * LCV} * D^2$$

Donde:

Y = corrección de la sub-rasante en cualquier punto de la curva (m)

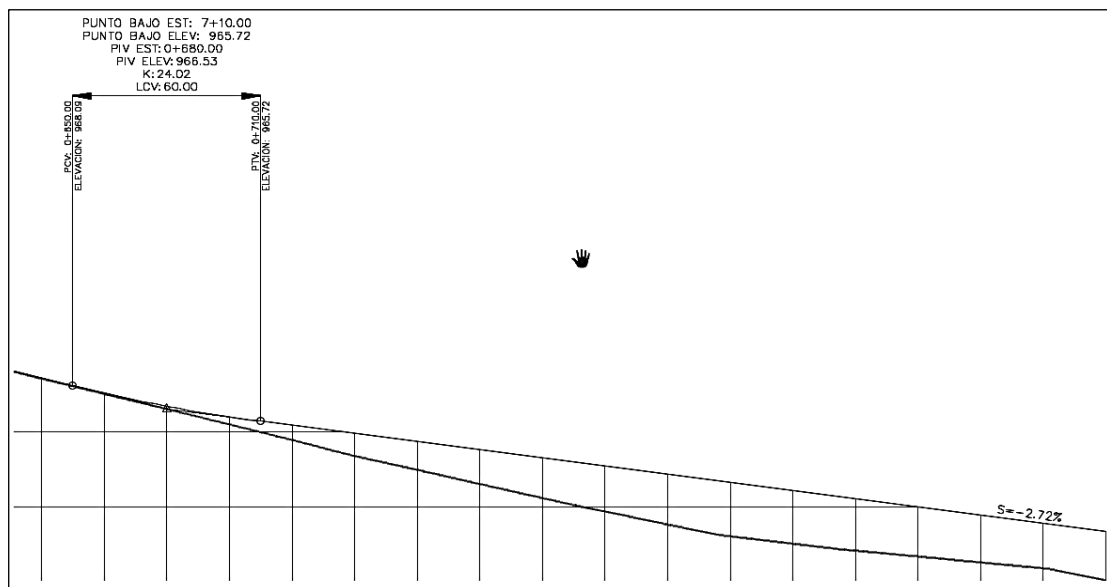
D = distancia de la estación del PCV o PTV a la estación en estudio (m)

LCV = longitud de curva vertical (m)

Resolviendo para la curva vertical No 1, se tiene que:

- Elevación PIV: 966,53
- Estación PIV: 0+680
- Ps: -2,72 %
- Pe: -5,21 %
- LCV: 60 m (Cónca)

Figura 7. Curva vertical número 1 del tramo carretero



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

Diferencia de pendientes:

$$A = P_s - P_e = -2,72 - (-5,21)$$

$$A = 2,49 \%$$

Ordenada media:

$$OM = \frac{A}{800} * LCV = \frac{2,49}{800} * 60,00$$

$$OM = 0,1868 \text{ m}$$

Corrección a cada 10 metros:

Estación 0+660,00:

$$Y = \frac{2,49}{200 * 60} * (660 - 650)^2$$

$$Y = 0,021 \text{ m}$$

Estación 0+670,00:

$$Y = \frac{2,49}{200 * 60} * (670 - 650)^2$$

$$Y = 0,083 \text{ m}$$

Estación 0+690,00:

$$Y = \frac{2,49}{200 * 60} * (710 - 690)^2$$

$$Y = 0,083 \text{ m}$$

Estación 0+700,00:

$$Y = \frac{2,49}{200 * 60} * (710 - 700)^2$$

$$Y = 0,021 \text{ m}$$

Tabla XVIII. **Correcciones a la subrasante de la curva vertical número 1**

Velocidad de Diseño: 30 KPH					
ESTACION		LINEA	ELEV. SUB-RASANTE	CORRECCION	SUB-RASANTE CORREGIDA
PCV	0 + 650,00	-5,21 %	968,08	0	968,080
	0 + 660,00		967,57	0,021	967,591
	0 + 670,00		967,05	0,083	967,133
PIV	0 + 680,00	 	966,53	0,1868	966,717
	0 + 690,00	-2,72 %	966,26	0,083	966,343
	0 + 700,00		965,99	0,021	966,011
PTV	0 + 710,00		965,72	0	965,720

Fuente: elaboración propia.

2.1.6.3. Movimientos de tierra

Consiste en trasladar volúmenes de material de un punto a otro específico, para modificar la superficie del terreno (subrasante) y llegar a las cotas de diseño. En la medida que el material permita reutilizarse, se utiliza en trabajos de subrasante, de lo contrario se traslada material de préstamo de un banco de materiales seleccionados (no ideal para el proyecto). En una obra vial es indispensable el movimiento de tierras, porque esta es una de las actividades de mayor incidencia económica en el proyecto.

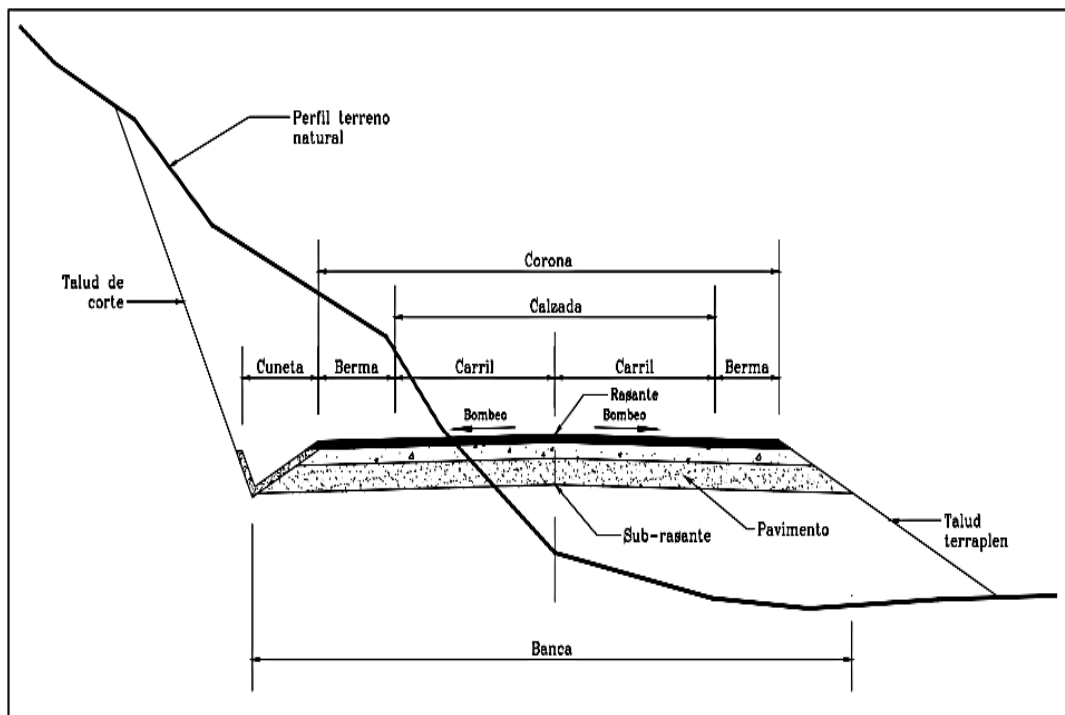
2.1.6.3.1. Secciones transversales

La sección transversal de una carretera corresponde a un corte vertical normal (perpendicular) al eje del alineamiento horizontal, definiendo la ubicación y dimensiones de cada uno de los elementos que conforman dicha carretera en un punto cualquiera y su relación con el terreno natural.

Su estructuración debe hacerse de manera que los esfuerzos que sufran los materiales constituyentes de las secciones transversales sean menores que los esfuerzos permisibles, para prevenir fallos o deformaciones plásticas.

La sección transversal típica a implementar influye en la capacidad de la carretera, en los costos de adquisición del derecho de vía, construcción, mejoramiento, mantenimiento, entre otros. Quiere decir, que la misma puede cambiar su configuración en los tramos que sean necesarios, y una sección transversal típica cuenta con los siguientes elementos:

Figura 8. **Elementos de una sección transversal típica**



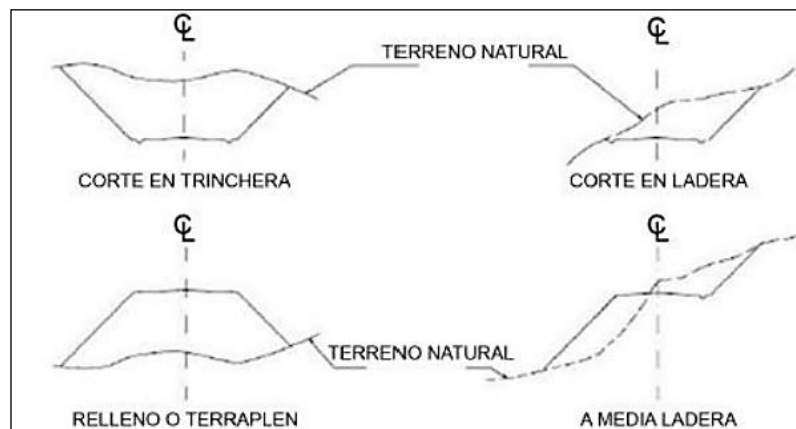
Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de diseño geométrico de vías*. p. 150.

Un elemento a resaltar es el bombeo, ya que se trata de la pendiente transversal de la corona en los tramos rectos del alineamiento horizontal hacia un lado del eje para drenar la corriente de agua de una forma apropiada. Para el proyecto se empleó un bombeo máximo en recta de 3 %.

- Tipos de secciones típicas

Básicamente existen dos tipos, sección de corte o trinchera y sección de relleno o terraplén, pero cuando exista el caso que se presentan ambos casos (corte y relleno) en la misma sección transversal, se le llama sección a media ladera. El último caso es una variación del corte, ya que esta sección se encuentra toda en corte con el borde exterior de la banca, coincidiendo con el terreno. A este caso se le conoce como corte en ladera o balcón.

Figura 9. **Secciones transversales típicas**



Fuente: SANTOS MORALES, Antonio. *Diseño de una carretera hacia la aldea San Cristóbal El Alto y un alcantarillado sanitario para la aldea San Bartolomé Becerra, Antigua Guatemala, Sacatepéquez.* p. 45.

- Taludes

Se trata de una superficie inclinada respecto al plano horizontal, la inclinación y altura de los taludes es un parámetro importante en el diseño de la misma, porque se encuentra en función de las características de los materiales que los forman, y es necesario diseñar los taludes a fin de fijar un procedimiento de construcción de los mismos.

Tabla XIX. **Relación de inclinación en función de la altura del talud**

CORTE			RELLENO	
ALTURA (m)	H – V		ALTURA (m)	H – V
0 – 3	1 – 1		0 – 3	2 – 1
3 – 7	1 – 2		> 3	3 – 2
> 7	1 – 3			

Fuente: Departamento de Carreteras. Dirección General de Caminos. *Relación de inclinación en función de la altura del talud*. p. 50.

2.1.6.3.2. Cálculo de áreas de secciones transversales

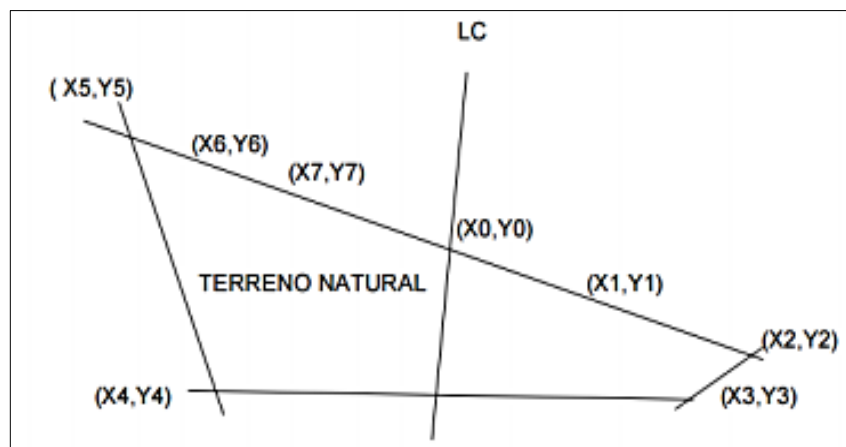
Las áreas a utilizarse posteriormente para el cálculo de volumen en cada sección transversal, pueden ser obtenidas con métodos gráficos y analíticos.

El método gráfico permite medir las áreas por medio de un planímetro graduado para la realización de medidas de las secciones, que deben estar dibujadas en papel milimétrico. El procedimiento consiste en marcar las áreas para delinearlas con el planímetro, partiendo de un punto y llegando a ese

mismo siguiendo una dirección a favor de las agujas del reloj; se obtiene un área en metros cuadrados.

El método analítico se emplea el método matricial con base matemática en los determinantes, pero antes requiere que las secciones transversales sean dibujadas en papel milimetrado, determinando las coordenadas de cada punto en estudio, referidas a la línea central de la misma. Posteriormente se realiza una diferencia entre el acumulado de las multiplicaciones cruzadas entre coordenadas ($\Sigma XY - \Sigma YX$) y a dicho resultado se le saca un promedio ($(\Sigma XY - \Sigma YX) / 2$); obteniendo un área en metros cuadrados.

Figura 10. **Área de sección transversal por método analítico**



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

En el caso del proyecto, las áreas de las secciones transversales se obtuvieron por medio del programa CivilCAD 3D 2 016.

2.1.6.3.3. Cálculo de volúmenes de secciones transversales

Los volúmenes de trabajo se encuentran en función de las áreas de las secciones y el estacionamiento entre ellas (comúnmente trabajadas a cada 20 m en tramos tangentes y a cada 10 m en curva), según su ubicación en relación con el terreno original. Para su cálculo se constituye un prisma de volumen irregular, en el cual sus bases son conformadas por las áreas de corte o relleno y la altura del prisma es igual a la diferencia de estacionamiento.

El método comúnmente utilizado para el cálculo de volúmenes de secciones transversales de tramos uniformes sea en corte o relleno, se trata del método de las áreas medias en donde el volumen entre dos secciones consecutivas del mismo tipo se expresa como:

$$V_{C/R} = \frac{(A_1 + A_2)}{2} * D$$

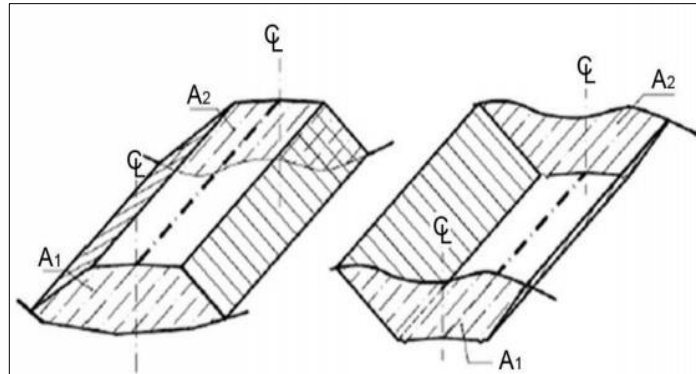
Donde:

$V_{C/R}$ = volumen de corte o relleno (m^3)

A_1, A_2 = áreas de corte o relleno (m^2)

D = distancia entre áreas de la sección (m)

Figura 11. **Volumen de corte / relleno en secciones transversales uniformes**



Fuente: SANTOS MORALES, Antonio. *Diseño de una carretera hacia la aldea San Cristóbal El Alto y un alcantarillado sanitario para la aldea San Bartolomé Becerra, Antigua Guatemala, Sacatepéquez.* p. 46.

Cuando existan dos secciones transversales consecutivas que no son uniformes en su tipo, se calcularán siguiendo el concepto de las áreas medias con la diferencia que se generará una línea de paso a lo largo de la sección, la cual coincide con la cota de la superficie de subrasante. En este caso, se genera un volumen de corte y un volumen de relleno. Se puede expresar como:

$$V_{C/R} = \frac{(A_{C/R} + A_O)}{2} * d_{C/R}$$

Donde:

$V_{C/R}$ = volumen de corte o relleno (m³)

A_C, A_R = áreas de corte o relleno (m²)

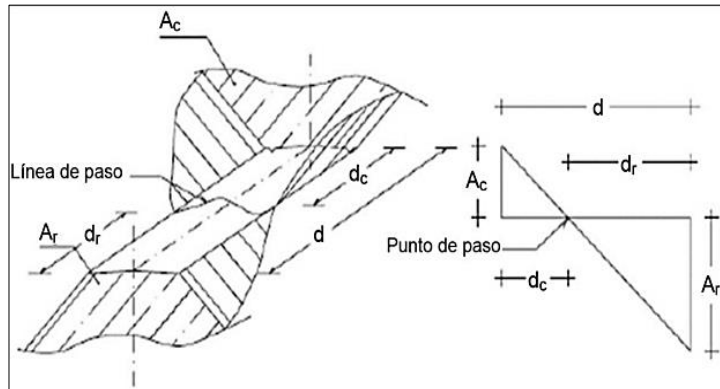
A_O = área de la sección en la línea de paso = 0

$d_{C/R}$ = distancia de la sección de corte o relleno (m)

Este cambio gradual de un tipo de sección transversal a otro puede expresarse como una relación de triángulos, y determinar las distancias $d_{C/R}$, con la siguiente expresión:

$$d_C = \frac{A_C}{A_C + A_R} * d \qquad d_R = \frac{A_R}{A_R + A_C} * d$$

Figura 12. **Volumen de corte / relleno en secciones transversales no uniformes**



Fuente: SANTOS MORALES, Antonio. *Diseño de una carretera hacia la aldea San Cristóbal El Alto y un alcantarillado sanitario para la aldea San Bartolomé Becerra, Antigua Guatemala, Sacatepéquez*. p. 47.

Resolviendo el volumen de la sección transversal comprendida entre las estaciones 0 + 040 y 0 + 060, se tiene que:

- $A_{C1} = 7,82 \text{ m}^2$
- $A_{C2} = 12,38 \text{ m}^2$
- $D = 20 \text{ m}$

Volumen de corte:

$$V_C = \frac{(A_{c1} + A_{c2})}{2} * D = \frac{(7,82 + 12,38)}{2} * 20$$

$$V_C = 202 \text{ m}^3$$

Las tablas resumen de áreas y volúmenes de las secciones transversales del proyecto, se encuentran en la sección de apéndices, específicamente referirse la sección Apéndices, planos constructivos No 8, No 9, No 10 y No 11.

2.1.6.3.4. Coeficiente de contracción e hinchamiento

El suelo experimenta, como cualquier material de construcción, cambios en su volumen al encontrarse a la intemperie o verse manipulado. Este incremento de volumen (expresado en porcentaje del volumen), se llama hinchamiento. Si el material se emplea como relleno puede, en general, recuperar su volumen e incluso puede reducirse (contracción).

Esta característica sucede debido a que, al realizar la excavación, se provoca que las partículas del suelo pierdan cohesión haciendo que exista un mayor porcentaje de vacío entre ellas, de tal forma que el material extraído de la excavación normalmente ocupará un mayor volumen al dejado dimensionalmente por la zona excavada.

Este coeficiente varía de acuerdo a diversos factores como: el tipo de suelo, la humedad que contiene, formas de excavación, el transporte utilizado y el tipo de compactación. Para el caso del proyecto, se utilizó un factor de

contracción del 15 %, dicho valor se emplea en el cálculo del volumen de excavación no clasificada.

2.1.6.3.5. Línea de balance

Este proceso se ubica posterior a haber calculado los volúmenes de corte y relleno de la vía, primero se debe establecer un balance entre los mismos, haciendo una diferencia algebraica entre los volúmenes de corte y de relleno (los últimos, previamente siendo afectados por el coeficiente de hinchamiento del proyecto).

Con la línea de balance es posible establecer una cantidad de material a movilizar, que se resume en obtener los costos de dicha actividad. Dicha línea atraviesa la totalidad de la curva de *Bruckner* y debe considerar una compensación entre los cortes y los rellenos, esto se logra con distancias que sean cortadas por la línea de balance (los puntos en donde la línea de balance corta la curva se les llama puntos de balance).

- Diagrama de masas

También llamada curva de *Bruckner*, es la representación gráfica del volumen acumulado de corte y el volumen acumulado de relleno versus estacionamiento. Busca el equilibrio para la calidad y economía de dicha actividad, además de indicar la localización de cada excavación e identificar los volúmenes que serán transportados como acarreo libre y acarreo.

Los diagramas de masa del proyecto se encuentran en la sección de apéndices.

2.1.6.4. Diseño de pavimento rígido

Un pavimento es un tipo de estructura utilizado en las vías de comunicación terrestre, compuesto por una o más capas de materiales específicos, superpuestos sobre el terreno acondicionado y compactadas adecuadamente para permitir el tránsito de vehículos de forma segura, cómoda y veloz.

El pavimento seleccionado para implementarse se trata de un pavimento rígido, debido a que, al no tener una aplicación de esfuerzos constante, se espera que la rasante distribuya de forma óptima los esfuerzos intermitentes, pero variables en magnitud, a los que se verá sometida, y se utilizará concreto hidráulico con resistencia a la compresión a los 28 días de curado de 4 000 PSI o 280 kg/cm² para la rasante.

2.1.6.4.1. Elementos de la estructura del pavimento

Los pavimentos se pueden clasificar por tipo como: flexibles (subrasante, subbase, base, carpeta de rodadura de concreto asfáltico), rígidos (subrasante, subbase opcional, base, carpeta de rodadura de concreto hidráulico), y semiflexibles (subrasante, subbase, base, carpeta de rodadura de unidades de mampostería); Diferenciándose unos de otros, principalmente, en los materiales de los que son construidas las carpetas de rodadura. Y las capas que los componen se describen como:

- Subrasante: también se conoce como terreno natural, y es la franja de terreno que recibe las cargas de tránsito distribuidas a través de la estructura del pavimento, cuyo estado de refuerzo original resulta afectado

por la construcción de la obra vial, por lo que en ocasiones necesita ser estabilizado.

El espesor de la subrasante estará en función de la calidad del suelo existente, debe encontrarse libre de material orgánico, basura, entre otros. Debe considerarse si el material de la subrasante es adecuado para la estructura del pavimento, de no serlo debe ser sustituido, si resulta adecuado debe ser estabilizado y compactado.

Al realizar la compactación de la subrasante, previamente debe haber sido escarificada, homogenizada y conformada hasta lograr la densidad óptima en función de la humedad óptima, descrita en el ensayo Proctor Modificado (AASHTO T 180).

- Subbase: es la capa de la estructura del pavimento, destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas de tránsito provenientes de las capas superiores, de tal manera que la subrasante las pueda soportar.

Según las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la DGC, los espesores admisibles en dicha capa se deben encontrar entre los 10 cm y 70 cm.

- Base: es la capa de la estructura del pavimento cuyos objetivos primordiales son el recibir y resistir las cargas del tránsito que transmite la superficie de rodadura (losa de concreto), y también tiene la función de transmitir dichas cargas hacia la subbase / subrasante e impedir el paso de humedad por parte del terreno natural.

Respecto a la base del pavimento, se propone un espesor de base de 10 cm (4 in), siendo esta una base granular con bajo porcentaje de finos, sin exceso de humedad, libre de material orgánico (raíces, terrones de arcilla, madera, entre otros) y grava con partículas angulares con diámetro máximo de 40 mm, homogenizado y compactado al 100 % de la densidad máxima con una tolerancia del 3 % respecto a la densidad, como mínimo.

De forma que cumpla con los espesores de capa admisibles entre 10 cm a 30 cm contenidos en las Especificaciones Generales para la Construcción de Puentes y Carreteras de la DGC.

- Rasante o carpeta de rodadura: proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos, es decir, la que recibe directamente las cargas del tráfico. Es el primer mecanismo de protección de la subrasante al tener también como objetivo evitar posibles filtraciones del agua precipitada que debiliten las capas posteriores del pavimento y ocasionen un fallo en los materiales.

En otros términos, la carpeta de rodadura debe ser cómoda, segura para transitar además de duradera, producir un desgaste mínimo en los neumáticos de los vehículos, y brindar un drenaje adecuado.

2.1.6.4.2. Diseño de rasante por método simplificado de la PCA

La PCA propone dos métodos para el diseño del espesor de losas de concreto a ser utilizadas como rasante en una estructura de pavimento rígido: el método de datos de carga por eje disponibles, este incluye cálculos separados

del consumo de fatiga y del daño por erosión, para cada uno de los diferentes incrementos de cargas por eje simple y tándem. Esto supone que el detalle de los datos de carga por eje tiene que haber sido obtenidos de estaciones representativas de pesado de camiones, estudios de pesos en movimiento u otras fuentes.

Y también se menciona el método de diseño simplificado (datos de carga por eje, no disponibles), este es utilizado cuando los datos específicos de carga por eje no estén disponibles. Con base en tablas de diseño simplificado generadas de distribuciones compuestas de carga por eje, que representan diferentes categorías de carreteras y calles. El diseñador no usa directamente los datos de cargas por eje debido a que el método anterior ha sido preresuelto y colocado en tablas de diseño.

El diseño de la carpeta de rodadura se realiza en función de los siguientes factores:

- Resistencia a la flexión del concreto o también llamado: módulo de rotura (MR).
- Resistencia de la subrasante o módulo de reacción de la subrasante de *Westergaard* (k).
- El TPDC (Tráfico Promedio Diario de Camiones).
- El período de diseño.

- Período de diseño.

Tráfico promedio diario: se refiere al volumen total de los vehículos que transitan por una zona específica de una vía en un período de tiempo determinado.

La metodología original de AASHTO consideraba períodos de diseño de 20 años, pero en las versiones recientes, recomienda los siguientes períodos dados en función del tipo de carretera. Para lo que, según la tabla XX, el período de diseño (PD) seleccionado para el tipo de carretera “pavimentada con bajos volúmenes de tránsito” es de 15 – 25 años, “por lo que para diseño se utilizaran 20 años y una tasa de crecimiento anual (r) del 7,4 %”³.

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

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

Fuente: AASHTO. *A Policy on geometric design of highways and streets*. p. 50.

- Proyección a futuro del tráfico promedio diario

$$TPD_{\text{futuro}} = TPD (1 + r)^{PD} = 96 (1 + 0,074)^{20} = 400$$

Proyección obtenida utilizando la fórmula de crecimiento geométrico, el valor de TPD fue estimado con base al conteo vehicular realizado por la DMP Villa Canales, en el año 2 017 específicamente en la aldea El Obrajuelo.

- Tráfico promedio diario de camiones (TPDC)

³ Instituto Nacional de Estadística. *Estimaciones y proyecciones de población*, 2002. p. 35.

El tráfico promedio diario de camiones es un factor importante en el diseño y puede ser expresado como un porcentaje del TPD o como un valor actual. De la tabla XXI se identifican los parámetros en función de la categoría de la carretera.

Se clasificó la carretera en la categoría 1 debido a sus características de carga y TPD, haciendo uso de la tabla XXI para realizar esta clasificación.

Tabla XXI. **Categoría de la carretera según uso y TPD**

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	TRANSITO			MAXIMA CARGA	
		TPD	TPDC		POR EJE, KN	
			%	POR DÍA	EJE SENCILLO	EJE TANDEM
1	Calles residenciales. Carreteras rurales y secundarias (bajo a medio)	200 a 800	1-3	Arriba de 25	98	160
2	Calles colectoras. Carreteras rurales y secundarias (altas). Carreteras primarias y calles arteriales (bajo).	700 a 5 000	5-18	De 40 a 1 000	115	195
3	Calles arteriales y carreteras primarias (bajo). Súper carreteras o interestatales urbanas y rurales (bajo a medio).	3 000 a 12 000 2 carriles 3 000 a 50 000 4 carriles	8-30	De 500 a 5 000	133	230
4	Calles arteriales, carreteras primarias, súper carreteras (alto). Interestatales urbanas y rurales (media alto).	3 000 a 20 000 2 carriles 3 000 a 150 000 4 carriles	8-30	De 1 500 a 8 000	151	267

Los descriptores alto, medio y bajo se refieren al peso relativo de las cargas por eje para el tipo de calle o carretera.
TPDC: Camiones dos ejes, camiones cuatro llantas excluidos.

Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. *Thickness design for concrete highways and street pavements*. p. 31.

Para esta categoría le corresponde un rango de TPDC del 1 al 3 % del TPD, y para encontrar el porcentaje a utilizar en el diseño, se utilizó el valor crítico del rango de TPDC de la categoría correspondiente, utilizando la

proyección a futuro del TPD de 400, es decir, un porcentaje de 3 % del TPD, por lo tanto, se determinó un valor TPDC de 12.

- Módulo de resistencia de la subrasante (k)

El soporte que proporciona la subrasante es otro factor en el diseño y este es definido como el módulo de reacción de la subrasante de *Westergaard*. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada, por pulgada (PSI/in), es decir, como libras por pulgada cúbica (PCI). La obtención de dicho parámetro se hace mediante la tabla XXII.

Tabla XXII. **Módulo de reacción de la subrasante (k)**

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)																																
2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40	60	80	100																
<p>SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE LA A.S.T.M.</p> <p>CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE LA A.A.S.H.T.O.</p> <p>CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE LA ADMINISTRACION FEDERAL DE AVIACION</p>																	GP	GM	GC	GM	GC	GM	GC	GM	GC	GM	GC	GM	GC	GM	GC	GM
																	SP	SC	ML	CL	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC
																	EP	EC	ML	CL	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC
																	SP	SC	ML	CL	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC
																	SP	SC	ML	CL	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC
																	SP	SC	ML	CL	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC
																	SP	SC	ML	CL	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC
																	SP	SC	ML	CL	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC
																	SP	SC	ML	CL	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC
																	SP	SC	ML	CL	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC	MP	MC
<p>VALOR DE RESISTENCIA R</p> <p>MÓDULO DE LA REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (K) LBS.PULG³</p> <p>VALOR DE SOPORTE LBS.PULG²</p>																																
5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160																
100	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160																
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170																

Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. *Thickness design for concrete highways and street pavements*. p. 7.

Extendiendo la línea que parte desde el valor índice de CBR al 95 % de compactación (32,25 %), se intercepta con el módulo de reacción de la sub - rasante, se obtuvo aproximadamente un valor de $k = 358 \text{ Lb/in}^3$.

- Módulo de reacción de la base (k): es considerado en el diseño, debido a que la base producirá un incremento en el valor de k que se reflejará en el espesor de la carpeta de rodadura. Se encuentra en función del módulo de reacción de la subrasante, y del espesor a implementar en la capa base. Se obtiene mediante la utilización de la tabla XXIII.

Tabla XXIII. **Módulo de reacción de la base (k)**

SUBRASANTE VALORES DE K PSI	VALOR DE K SOBRE LA BASE PSI			
	4 Plg	6 Plg	9 Plg	12 Plg
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. *Thickness design for concrete highways and street pavements*. p. 6.

En el caso del pavimento del proyecto se propuso una capa base granular de 10 cm (4 pulg) de espesor, además de conocer el módulo de reacción de la sub – rasante que es igual a 358 PCI, se determinó que el valor k de la base es de 320 PCI o $8,68 \text{ kg/cm}^3$.

- Clasificación de la subrasante en función del soporte: obtenidos los módulos de reacción de ambas capas, utilizando la tabla XXIV, se clasifican los materiales de ambas capas en función del apoyo que ofrecerá la subrasante al pavimento, clasificándolos como muy alto.

Tabla XXIV. **Clasificación de la subrasante por el soporte al pavimento**

TIPO DE SUELO	APOYO	RANGO DE VALORES DE K PSI
Suelos de grano fino en los cuales predominan las partículas de limo y arcilla	BAJO	75 - 120
Arenas y mezclas de arena y grava con cantidades moderadas de limo y arcilla	MEDIO	130 - 170
Arenas y mezclas de arena y grava relativamente libres de finos y plásticos	ALTO	180 - 220
Sub bases tratadas con cemento	MUY ALTO	250 - 400

Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. *Thickness design for concrete highways and street pavements*. p. 32.

- Módulo de ruptura (MR)

Este se representa como un porcentaje de la resistencia a la compresión del concreto y esta descrito como: $15 \% f'c$, para el proyecto, se obtiene de un $f'c = 4\ 000\ \text{PSI}$ y empleando la expresión anterior, que el módulo de ruptura del concreto es $(15/100) * 4\ 000 = 600\ \text{PSI}$.

- Determinar el espesor de la losa de concreto a utilizar como rasante

Una vez identificados los parámetros de diseño mencionados anteriormente, se ubica en la tabla XXV, específicamente en el sector sin berma de concreto, el módulo de ruptura del concreto (600 PSI), la clasificación de la subrasante por soporte (Muy Alto), y el valor obtenido de TPDC (12 camiones/día).

Tabla XXV. **Espesor de carpeta de rodadura**

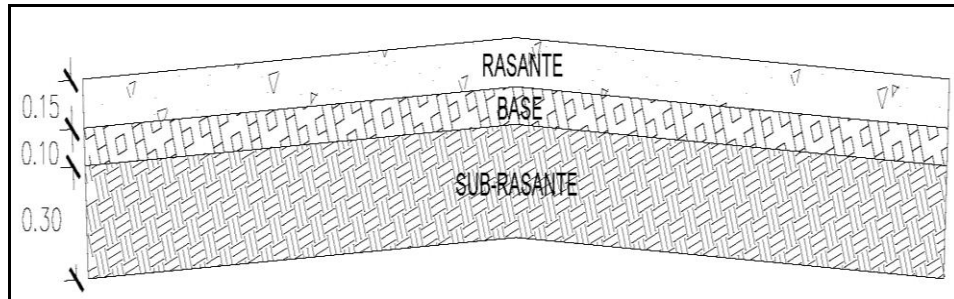
ADTT permisible, Categoría 1 de Carga por Eje - Pavimentos con Trabazón de Agregados en las Juntas							
Sin Berna de Concreto o Sardinell				Con Berna de Concreto o Sardinell			
Espesor de losa (pulg.)	Soporte de Subrasante - subbase			Espesor de losa (pulg.)	Soporte de Subrasante - subbase		
	Bajo	Mediano	Alto		Bajo	Mediano	Alto
MR = 650 PSI	4.5			4		0.2	0.9
	5	0.1	0.8	4.5	2	8	25
	5.5	3	15	5	30	130	330
	6	40	160	5.5	320		
	6.5	330					
MR = 600 PSI	5		0.1	4			0.1
	5.5	0.5	3	4.5	0.2	1	5
	6	8	36	5	6	27	75
	6.5	76	300	5.5	73	290	730
	7	520		6	610		
MR = 550 PSI	5.5	0.1	0.3	4.5		0.2	0.6
	6	1	6	5	0.8	4	13
	6.5	13	60	5.5	13	57	150
	7	110	400	6	130	480	
	7.5	620					

Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. *Thickness design for concrete highways and street pavements*. p. 34.

Posteriormente se obtiene que el espesor de la capa de concreto correspondiente, se encuentra entre 5,5 y 6 pulgadas, por lo que se establece el valor crítico para el diseño, es decir, 6 pulgadas equivalente a 15 centímetros.

Se propone un pavimento rígido, cuya composición será de: una capa subrasante de arena limosa con grava con espesor no menor de 30 cm, y una capa base de material granular con partículas de diámetro no mayor a 40 mm de espesor 10 centímetros y una carpeta de rodadura (rasante), de concreto hidráulico de 15 centímetros.

Figura 13. **Sección transversal de pavimento rígido**



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

2.1.6.4.3. Diseño de juntas

Al utilizar el concreto como material de construcción, este se verá sometido a gradientes de temperatura y tiende a expandirse o contraerse, es por esta reacción que las juntas se emplean, para permitir el movimiento relativo entre dos partes de una misma estructura, en el caso del diseño del pavimento, se trata de la separación entre dos planchas de concreto para evitar o disminuir la aparición de grietas en el concreto.

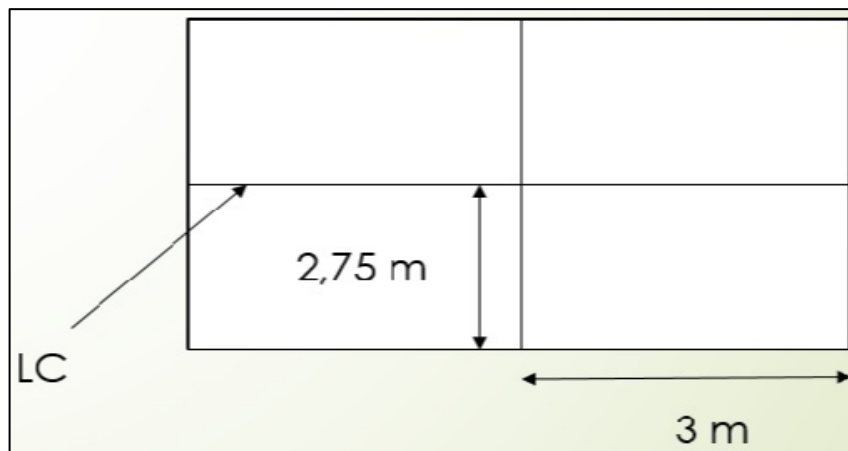
- Juntas longitudinales: los parámetros de diseño establecen que la separación de las juntas debe ser la distancia equivalente al ancho de carril, en este caso tendrán una separación de 2,75 m.
- Juntas transversales: usualmente, el espacio entre juntas transversales no debe exceder a 24 veces el espesor de la capa de rodadura (24 e).

Aplicando el criterio, sabiendo que $e = 0,13$ m, entonces:

$$S = 24 e = 24 * 0,13 = 3,12 \text{ m}$$

Debido a que se busca mantener simetría en las losas de concreto, es decir, lo más cuadradas posible, se establecerá una separación transversal de 3 m, además de 2,75 m longitudinalmente y se emplearán juntas de expansión sin pasador a rellenar con agregado fino, con un ancho de junta o separación entre las losas de concreto de 3/4 pulg (2 cm), aplicando sello de junta elástico con base a silicona neutra como remate de las juntas.

Figura 14. **Juntas de expansión**



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

2.1.6.4.4. **Diseño de mezcla**

Las proporciones de cada componente a utilizar en el concreto se obtuvieron utilizando un método simplificado, ya que conjunta varias fuentes, y también se asumieron valores de las características físicas de los agregados comúnmente empleados en las mezclas de concreto.

Tabla XXVI. **Parámetros iniciales de la mezcla**

$f'c = 4\ 000\ \text{PSI}\ (281\ \text{kg/cm}^2)$	M.F. agregado fino: 2,6 – 2,9	$P_{UAG} = 1\ 600\ \text{kg/m}^3$
$P_{Uconcreto} = 2410\ \text{kg/m}^3$	Diámetro agregado grueso: 1"	$P_{UCemento} = 1\ 506\ \text{kg/m}^3$
	$P_{UAF} = 1\ 400\ \text{kg/m}^3$	

Fuente: elaboración propia.

El asentamiento o SLUMP requerido en la mezcla de concreto a utilizar en la carpeta de rodadura del pavimento se determinó que fuera de 8 centímetros, obtenido por medio de la tabla XXVII.

Tabla XXVII. **Asentamiento para mezcla de concreto fresco**

Tipo de estructura	Asentamiento
Para cimientos, muros perforados, vigas, paredes reforzadas y columnas	10
Para pavimentos y losas	8
Concreto masivo	5

Fuente: USAC, Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Manual de laboratorio del curso Materiales de construcción*. p. 16.

Se define la relación agua/cemento para la mezcla de concreto, obtenida por medio de la tabla XXVIII, que se encuentra en función de la resistencia a la compresión del concreto (4 000 PSI), y del tamaño del agregado grueso (1") como se muestra en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. **Diseño de mezclas (para 1 m³ de concreto)**

Clase de concreto		Tamaño máximo del agregado		Concentración de pasta		Agua en litros para los distintos asentamientos indicados en cm.				% de agregados fino Vol. Avs./Agr. Total			Contenido de cemento mínimo, sacos de 42,5 kg/m ³ de concreto
										M.F.			
kg/cm ³	lb/plg ³	mm.	plg.	A/C	C/A	0 a 2	2 a 5	5 a 10	10 a 15	2,2-2,6	2,6-2,9	2,9-3,2	
140	2 000	19,1	3/4	0,65	1,54	165	175	186	197	47	49	51	6,5
		25,4	1	0,65	1,54	157	165	173	181	44	46	48	
		38,1	1 1/2	0,65	1,54	154	160	166	193	42	44	46	
175	2 500	19,1	3/4	0,60	1,67	165	175	186	197	45	47	49	7
		25,4	1	0,60	1,67	157	165	173	181	42	44	46	
		38,1	1 1/2	0,60	1,67	154	160	166	193	40	42	44	
210	3 000	19,1	3/4	0,56	1,79	164	171	184	195	44	46	48	7,5
		25,4	1	0,56	1,79	156	164	172	180	41	43	45	
		38,1	1 1/2	0,56	1,79	154	160	166	191	39	41	43	
246	3 500	19,1	3/4	0,52	1,92	164	174	184	195	42	44	46	8
		25,4	1	0,52	1,92	156	164	172	180	39	41	43	
		38,1	1 1/2	0,52	1,92	154	160	166	191	37	39	41	
281	4 000	19,1	3/4	0,49	2,04	172	172	182	193	40	42	44	8,5
		25,4	1	0,49	2,04	163	163	171	179	37	39	41	
		38,1	1 1/2	0,49	2,04	160	160	166	189	35	37	39	

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC. *Manual de laboratorio del curso materiales de construcción. p. 31.*

Habiendo obtenido los siguientes valores que corresponden a la mezcla:

- A/C = 0,49
- Cantidad de agua (A) = 171 litros = 171 kg
- % Agregado fino = 39 %

Encontrando el peso unitario del cemento en la mezcla, mediante la relación A/C, en la cual se tiene que:

$$0,49 = 171 \text{ kg} / C$$

Despejando C de la expresión anterior, se obtiene que C = 348,98 kg

El peso unitario del concreto se compone de la conjunción de los pesos de los agregados, agua y cemento, se puede expresar de la siguiente forma:

$$PU_{\text{concreto}} = \text{Agregs} + A + C$$

Donde:

PU_{concreto} = peso unitario del concreto (kg/m^3)

Agregs = peso de los agregados, fino y grueso (kg/m^3)

A = peso del agua (kg/m^3)

C = peso del cemento (kg/m^3)

Sustituyendo valores en la expresión anterior y se despeja para Agregos:

$$2\,410 \text{ kg}/\text{m}^3 = \text{Agregs} + 171 \text{ kg}/\text{m}^3 + 348,98 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Agregs} = 2\,410 \text{ kg}/\text{m}^3 - 171 \text{ kg}/\text{m}^3 - 348,98 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Agregs} = 1\,890,02 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Para determinar el peso de cada agregado (fino y grueso), se emplea un porcentaje del peso total de los agregados (Agregs). Dichos porcentajes se obtuvieron de la tabla XXVIII.

Agregado fino: 39 %

Agregado grueso: 61 %

Calculando los pesos de cada agregado, al hacer la relación de cada porcentaje con el peso total de los agregados:

$$\text{Agregado fino} = 1\,890,02 * 0,39 = 737,11 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1\,890,02 * 0,61 = 1\,152,91 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Proporción teórica: El diseño de mezcla de concreto y sus proporciones, se pueden expresar en términos de peso, y en volumen.

- Proporción en peso: se relaciona como una razón respecto al peso del cemento.

Cemento	Arena	Piedrín de 1"
$\frac{348,98}{348,98}$	$\frac{737,11}{348,98}$	$\frac{1\ 152,91}{348,98}$
1	2,11	3,30

- Proporción en volumen: se relaciona con la cantidad de material necesario para elaborar un metro cúbico de concreto, utilizando también el peso unitario del cemento de 4 000 psi (1 506 kg/m³) y los pesos unitarios de los agregados mencionados en los parámetros iniciales.

Cemento	Arena (m ³)	Piedrín de 1"(m ³)
$\frac{348,98}{1\ 506}$	$\frac{737,11}{1\ 400}$	$\frac{1\ 152,91}{1\ 600}$
0,23	0,53	0,72
1	2,30	3,13

Se puede especificar que, para la proporción volumétrica, la relación agua / cemento a emplear en la mezcla, debe ser: $0,49 / 0,23 = 2,13$.

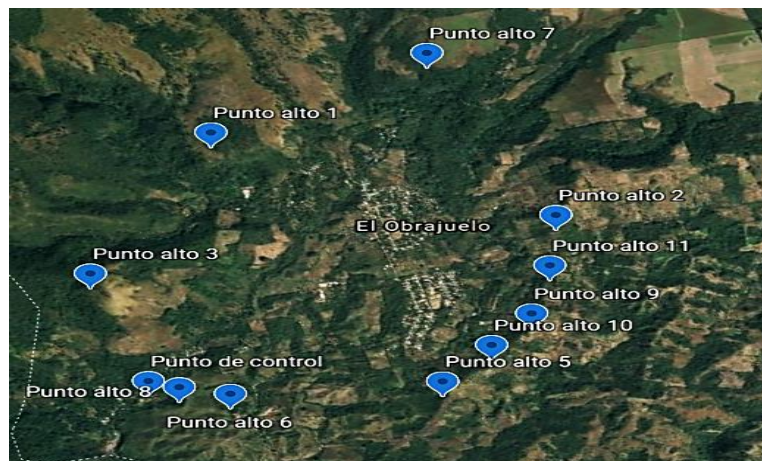
- Sistema de drenaje

La estructura de un pavimento puede perder resistencia por la presencia de agua en el interior, por flujo ascendente o adyacente a la misma. La eliminación o también la correcta manipulación y conducción del agua, puede mejorar el desempeño del pavimento a lo largo de su vida útil. Debido a los factores mencionados es que es necesario el empleo de drenajes en el pavimento.

El sistema de drenaje de una obra vial consta principalmente de dos elementos que lo componen, en los que se pueden mencionar:

- Drenaje transversal
- Drenaje longitudinal

Figura 15. Área de influencia de la cuenca



Fuente: Google Earth pro. Área de influencia de la cuenca

[https://earth.google.com/web/@14.28631473,-](https://earth.google.com/web/@14.28631473,-90.55806318,751.44161656a,8749.29826118d,35y,0h,0t,0r)

[90.55806318,751.44161656a,8749.29826118d,35y,0h,0t,0r](https://earth.google.com/web/@14.28631473,-90.55806318,751.44161656a,8749.29826118d,35y,0h,0t,0r). Consulta: 20 de marzo de 2020.

De acuerdo a la delimitación de la cuenca tributaria, fue posible determinar el área a drenar de la zona donde se ubica el proyecto, para lo cual se hizo uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) llamado Google Earth, del cual se obtuvo que la superficie a drenar cuenta con área de 8,41 Ha.

2.1.6.4.5. Drenaje transversal

Es el que permite la circulación, de un lado hacia otro de la estructura del pavimento, de la precipitación proveniente de los cauces naturales que estén siendo bloqueados por el antes mencionado, por medio de la instalación de tuberías de distintos tipos de material. Así también comprende grandes obras de drenaje como lo son los puentes, bóvedas y viaductos.

En el diseño de los mismos se tomaron en cuenta factores importantes tales como la información hidrológica del área a drenar y el análisis hidráulico de los elementos a utilizar para conducir el flujo de agua.

- Información hidrológica: puede ser extraída de sitios oficiales del INSIVUMEH, de hojas cartográficas emitidas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) o de fotografías aéreas.
- Análisis hidráulico: es importante contar con el dato del caudal de diseño, ya que el diámetro de tubería a colocar en el tramo se encuentra en función de este y de los parámetros físicos de la cuenca. Para el proyecto se le dio uso al método racional que es un modelo de lluvia escorrentía para obtención de caudales máximos de una forma simplificada.

Para estimar caudal de diseño o también llamado caudal máximo, que está asociado a un período de diseño, pueden emplearse diferentes métodos como los siguientes:

- Modelos lluvia – escorrentía
- Métodos estadísticos
- Métodos de diseño hidrológico para cuencas con poco o ningún registro hidrológico.

En el caso del proyecto se empleó un modelo de lluvia - escorrentía llamado método racional, el cual es aplicable para cuencas tributarias con superficies menores o iguales a 10 km².

Dicho método utiliza la siguiente expresión para caudal máximo:

$$Q = \frac{C i A t}{360}$$

Donde:

Q = caudal máximo (m³/s)

C = coeficiente de escorrentía

i = intensidad de precipitación (mm/h), para una duración igual al tiempo de concentración

At = área tributaria a drenar (Ha)

El parámetro de coeficiente de escorrentía (C) se obtiene con base en las características hidrogeológicas de las cuencas, la tabla XXIX identifica el valor

de C en función de la capacidad de infiltración del suelo, la pendiente del terreno y el uso del suelo.

Tabla XXIX. **Coefficiente de escorrentía**

Uso del suelo	Pendiente del terreno	Capacidad de infiltración del suelo		
		Alto (suelos arenosos)	Medio (suelos francos)	Bajo (suelos arcillosos)
Tierra agrícola	< 5 %	0.30	0.50	0.60
	5 – 10 %	0.40	0.60	0.70
	10 – 30 %	0.50	0.70	0.80
Potreros	< 5 %	0.10	0.30	0.40
	5 – 10 %	0.15	0.35	0.55
	10 – 30 %	0.20	0.40	0.60
Bosques	< 5 %	0.10	0.30	0.40
	5 – 10 %	0.25	0.35	0.50
	10 – 30 %	0.30	0.50	0.60

Fuente: USDA. *National engineering handbook*. Hydrology. p. 345.

Para el caso del proyecto se estableció que el coeficiente de escorrentía para una zona boscosa, cuya pendiente de terreno se encuentra entre 5 – 10 %, además de una capacidad de infiltración del suelo ALTA, debe ser de 0,25.

La intensidad de precipitación o lluvia (i) se estima en función de un período de retorno, parámetros de ajuste y del tiempo de concentración, para el cual se emplea la expresión siguiente:

$$i = \frac{A}{(B + t_c)^n}$$

Donde:

t_c = tiempo de concentración del área tributaria (mm/h)

A, B y n = parámetros de ajuste

Para completar los valores de la expresión anterior, se utilizaron los datos obtenidos por estaciones meteorológicas instaladas por el INSIVUMEH en locaciones específicas del país. Para el caso del proyecto se utilizaron los datos de la estación meteorológica más cercana a la ubicación del mismo, llamada Sabana Grande.

Tabla XXX. **Parámetros de ajuste (A, B y n) para intensidad de lluvia**

SABANA GRANDE								
Tr	2	5	10	20	25	30	50	100
A	4 485	6 145	33 770	31 550	31 330	31 110	30 760	30 070
B	25	30	40	40	40	40	40	40
n	0,973	0,986	1,292	1,273	1,271	1,268	1,264	1,257
R2	0,992	0,993	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989

Tr: Período de retorno

Fuente: INSIVUMEH. *Informe de intensidades de lluvia*. p. 45.

En la estimación de intensidad de precipitación para el diseño del proyecto, se consideró un período de retorno de 25 años, y de la tabla XXX se obtuvieron los siguientes valores:

n: 1,271

A: 31 330

B: 40

El tiempo de concentración (t_c) se refiere al intervalo de tiempo necesario para que la última gota de escorrentía superficial, drene por el punto de control identificado en la cuenca. Asimismo, el tiempo de concentración puede ser

estimado por diferentes métodos, en el caso del proyecto se utilizó la fórmula de KIRPICH, que relaciona el gradiente de elevaciones y la longitud del cauce más largo de la cuenca.

$$t_c = \frac{3L^{1,15}}{154 H^{0,38}}$$

Donde:

L = longitud del cauce más largo de la cuenca (m)

H = gradiente de nivel del cauce (m)

Considerando que, para el tiempo de concentración, se determinó una longitud del cauce más largo (L) de 2 373 m y un gradiente de elevación (H) igual a 317 m, al sustituir los valores en la fórmula de KIRPICH se obtiene que:

$$t_c = \frac{3(2\ 373)^{1,15}}{154 (317)^{0,38}} = 16,63 \text{ min}$$

Con el valor del tiempo de concentración, se procede a encontrar la intensidad de precipitación:

$$i = \frac{A}{(B + t_c)^n} = \frac{31\ 330}{(40 + 16,63)^{1,271}} = 185,28 \text{ mm/h}$$

Una vez que se conocen los parámetros de intensidad de precipitación (i), coeficiente de escorrentía (C) y área tributaria a drenar (A), se pueden sustituir los valores en la expresión del método racional para estimar el caudal máximo o de diseño.

$$Q = \frac{C i A t}{360} = \frac{0,25 * 185,28 * 8,41}{360} = 1,08 \text{ m}^3/\text{s}$$

El dimensionamiento del elemento a emplear como drenaje transversal (diámetro de tubería), se realizará mediante la fórmula de Manning:

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

Donde:

V = velocidad del fluido (m/s)

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente del canal (4 %)

n = coeficiente de rugosidad de Manning (PVC 0,009)

Recordando que la expresión básica para encontrar el caudal de un flujo es $Q = V * A$; la fórmula de Manning puede ser adaptada a la forma básica, multiplicándola por el área de la tubería, y haciendo este arreglo la expresión quedaría de la siguiente forma:

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

Despejando la expresión para el diámetro se obtiene que:

$$D = \left[\frac{Q * n * 4^{5/3}}{S^{1/2} * \pi} \right]^{3/8} = \left(\frac{1,08 * 0,009 * 4^{5/3}}{0,04^{1/2} * \pi} \right)^{3/8}$$

$$D = 0,50 \text{ m} = 20 \text{ pulgadas}$$

El diámetro obtenido representa un área, que se necesita como mínimo para drenar el caudal de diseño adecuadamente, que se representa con la siguiente expresión:

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

Donde:

A = área hidráulica (m²)

D = diámetro de la tubería (m)

Sustituyendo el diámetro de tubería obtenido anteriormente, se tiene que:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,50^2}{4}$$

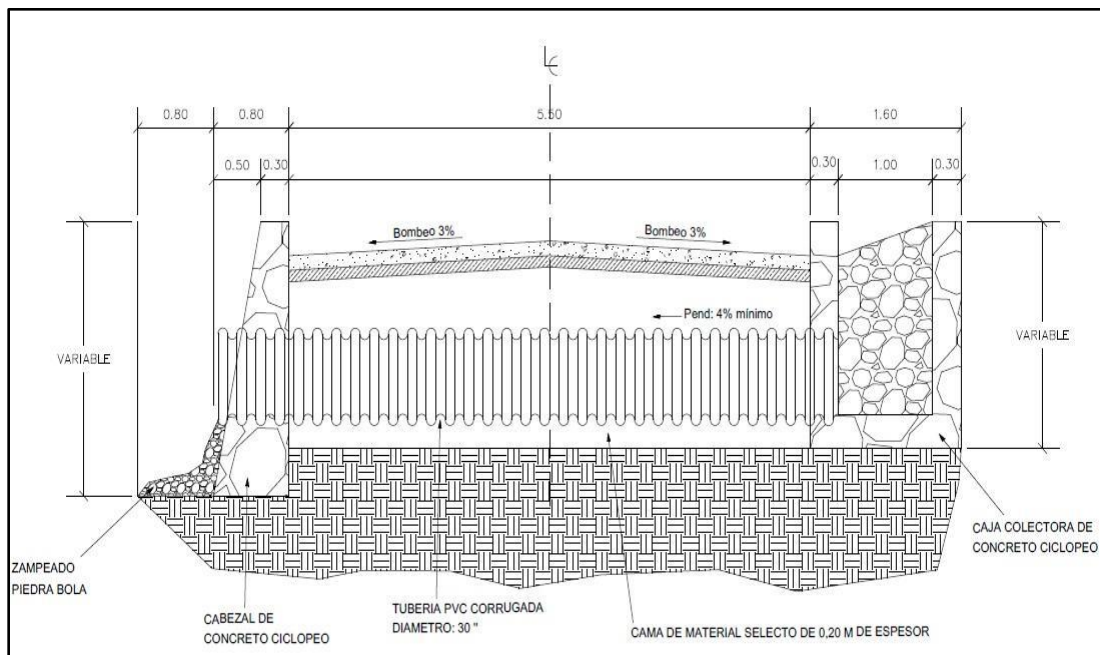
$$A = 0,20 \text{ m}^2$$

El área necesaria para drenar el caudal de diseño es de 0,20 m² que representa un diámetro de tubería PVC corrugada de 0,50 m (20 pulg), con fines de diseño, para que la tubería no trabaje a sección llena y disponibilidad en mercado, se propone utilizar una tubería PVC corrugada de diámetro igual a 0,76 m (30 pulg) que representa un área de 0,45 m², sección que cubre óptimamente el caudal a drenar.

Las tuberías deberán descansar sobre una cama de mínimo 20 cm de espesor de material balasto o si se considera factible, de material producido por los movimientos de tierra, con el fin de brindar una base o fundación al elemento.

En las entradas al drenaje deberá ubicarse una caja colectora de caudal, proveniente de las cunetas, con un espesor de pared de 30 cm y altura variable respecto a la ubicación. En el extremo de salida del drenaje, se sujetará con muro de cabeza o cabezales de concreto ciclópeo, cuyas especificaciones se encuentran en la sección de apéndices, en el plano constructivo núm. 12.

Figura 16. **Detalle drenaje transversal**



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

2.1.6.4.6. **Drenaje longitudinal**

También llamadas cunetas son canales abiertos (de diferentes formas en su sección transversal) que se colocan en paralelo a la línea central de la carretera, para ser más específicos, se ubican inmediatamente a un lado de la estructura del pavimento. Su función es captar el agua de escorrentía superficial

que transite sobre la carpeta de rodadura, el talud de corte / relleno, terreno natural adyacente; y conducirla longitudinalmente hasta un drenaje transversal para asegurar su adecuada restitución a su cauce natural.

Para el dimensionamiento de las cunetas para el proyecto se contempló utilizar canales de sección trapezoidal, revestidos de concreto hidráulico. Sus dimensiones se establecieron de acuerdo al caudal a transportar, la pendiente de la sección a diseñar y la razón del talud (utilizándola relación 1 V: 2 H).

Tabla XXXI. **Relación de inclinación de los taludes para cunetas**

MATERIAL	1 V: z H
Roca	1: >1/4
Arcilla dura	1: (1/4 – 1)
Suelo margoso	1: 1 / 2
Tierra con revestimiento en roca	1:1
Arcilla firme	1:1 ¼
Arena	1:2
Limos o arcilla porosa	1:3

Fuente: INSTITUTO Nacional de Vías. *Manual de drenaje para carreteras*. p. 19.

El tirante o altura del canal (h) será dimensionado de igual forma que en el drenaje transversal, es decir, empleando la fórmula de Manning:

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

Y una vez adaptada a la expresión básica para obtener el caudal, queda representada de la siguiente forma:

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A_h$$

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{A_h}{P_M}\right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A_h$$

Donde:

A_h = área hidráulica (m^2)

P_M = perímetro mojado (m)

Específicamente para el diseño de la cuneta, se tomó el tramo de carretera más llano, cuya área de influencia es de 1,59 Ha, comprendida entre las estaciones 3 + 000 y 3 + 340. Así mismo, se obtuvo un caudal de diseño para dicho tramo de 0,20 m^3/s . A esta sección corresponde una pendiente de 0,81 %.

Se resuelve a fin de encontrar el tirante (h) y la base (b) de la sección transversal del canal trapezoidal, para lo cual, se tiene que:

$$Q = 0,20 \text{ m}^3/s$$

$$S = 0,81 \%$$

Talud: 1:2 o z (De tabla XXXI para tipo de material, arena)

$$n = 0,016 \text{ (concreto revestido)}$$

$$A_h \text{ (Para sección trapezoidal)} = h (b + zh)$$

$$P_M \text{ (Para sección trapezoidal)} = b + 2h \sqrt{1 + z^2}$$

Determinando el área hidráulica de la sección:

$$A_h = h (b + zh) = h (b + 2h) = hb + 2h^2$$

Determinando el perímetro mojado de la sección:

$$P_M = b + 2h \sqrt{1 + z^2} = b + 2h \sqrt{1 + 2^2} = b + 4,4721 h$$

Igualando el radio hidráulico a su relación de máxima eficiencia (h/2):

Sabiendo que: $R_h = \frac{A_h}{P_M}$

$$\frac{hb + 2h^2}{b + 4,4721 h} = \frac{h}{2}$$

$$2hb + 4h^2 = hb + 4,4721 h^2$$

$$b = 0,4721 h$$

Simplificando el área hidráulica de la sección:

$$A_h = hb + 2h^2 = h(0,4721 h) + 2h^2 = 2,4721 h^2$$

Sustituyendo los valores obtenidos, en la fórmula de Manning:

$$0,20 = \frac{1}{0,016} * \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} * (0,0081)^{\frac{1}{2}} * 2,4721 h^2$$

Despejando la expresión para h, se obtiene:

$$0,03556 = 2,4721 h^2 * (h/2)^{\frac{2}{3}}$$

$$0,0228 = h^{\frac{8}{3}}$$

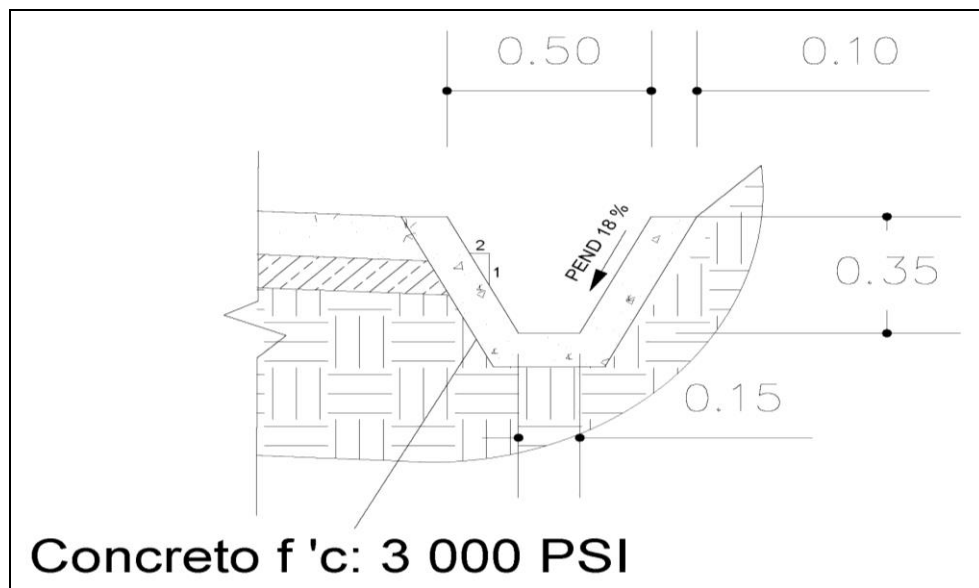
$$h = 0,242 \text{ m} = 24,2 \text{ cm}$$

Encontrando la base de la sección trapezoidal:

$$b = 0,4721 \text{ y } = 0,4721(0,2424) = 0,1144 \text{ m} = 11,44 \text{ cm}$$

Se propone una cuneta de sección trapezoidal, cuyas dimensiones sean de 15 cm de base y 35 cm de alto, con taludes a razón 2 H: 1 V (representa un 18 % de pendiente), revestida de concreto hidráulico con espesor de 10 cm utilizando un concreto con resistencia a la compresión de 3 000 PSI (210 kg/cm²).

Figura 17. **Detalle de cuneta trapezoidal**



Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

2.1.7. Elaboración de planos

Los planos relacionados al diseño geométrico y transversal de la obra vial, debe incluir los siguientes:

- Plano de planta general de carretera
- Planos de planta – perfil
- Planos de secciones transversales
- Planos de detalles de sistemas de drenaje y sección típica

La información que contienen los planos planta – perfil debe permitir que el observador identifique de forma simple los detalles de un tramo específico de carretera, en cuanto a la planta debe contener los valores de los elementos de cada curva horizontal, el estacionamiento respectivo; y la ubicación de obras de drenaje, intersecciones, entre otras.

En cuanto al perfil, debe contener la línea longitudinal de terreno natural y paralela a esta, se debe observar la línea sub – rasante con sus respectivos valores de elementos de cada curva vertical; y la ubicación de obras de drenaje.

Los planos de secciones transversales deben contener las secciones identificadas por estacionamiento, también se debe representar la línea del terreno natural y sobre esta la línea rasante de la calzada, para permitir observar los volúmenes de corte y relleno obtenidos de las mismas.

2.1.8. Presupuesto

En la elaboración del presupuesto, y como parte de los costos directos se consideraron parámetros tales como los materiales, mano de obra,

herramientas, maquinaria y equipo. Precios basados en el mercado actual, correspondiente a cada rubro.

Los costos indirectos se integraron tomando en cuenta factores como gastos administrativos, impuestos y la utilidad esperada. Para el caso del proyecto se consideró un factor de indirectos del 32 %.

Tabla XXXII. Resumen de presupuesto

Municipalidad de Villa Canales					
Universidad de San Carlos de Guatemala					
Facultad de Ingeniería					
REGLONES DE TRABAJO					
Proyecto: Diseño del tramo carretero de 5,3 KMS comprendido de la Aldea El Obrajuelo hacia el Caserío Río Negro, Villa Canales, Guatemala			Departamento: Guatemala		Fecha:
			Municipio: Villa Canales		Octubre 2 020
No	ACTIVIDAD:	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
1	REPLANTEO Y LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	M	5 299,98	Q 35,09	185 976,30
SUB-TOTAL					Q 185 976,30
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.1	RETIRO DE ESTRUCTURA EXISTENTE	M2	11 546,19	Q 17,32	Q 199 980,01
2.2	EXCAVACION NO CLASIFICADA	M3	54 748,41	Q 54,26	Q 2 970 648,73
2.3	EXCAVACION NO CLASIFICADA DE PRESTAMO	M3	17 510,99	Q 50,13	Q 877 825,93
2.4	EXCAVACION ESTRUCTURAL PARA ALCANTARILLA	M3	351,00	Q 53,52	Q 18 785,52
2.5	EXCAVACION PARA CANALES	M3	1 313,36	Q 64,89	Q 85 223,93
SUB-TOTAL					Q 4 152 464,12
3	SUB-RASANTE				
3.1	REACONDICIONAMIENTO DE SUB-RASANTE EXISTENTE	M2	38 159,86	Q 22,21	Q 847 530,49
SUB-TOTAL					Q 847 530,49
4	PAVIMENTO				
4.1	BASE GRANULAR (e = 0.10 m) + COMPACTACION	M3	3 815,99	Q 205,78	Q 785 253,60
4.2	CARPETA DE RODADURA DE CONCRETO HIDRAULICO (e = 0.15m) + SELLOS DE JUNTAS	M3	4 372,48	Q 1 794,01	Q 7 844 279,12
SUB-TOTAL					Q 8 629 532,72
5	DRENAJE TRANSVERSAL				
5.1	CAJAS RECEPTORAS Y CABEZALES DE CONCRETO CICLOPEO	M3	33,03	Q 1 932,56	Q 63 832,46
5.2	TUBERIA DE PVC DE 30"	M	36	Q 2 251,15	Q 81 041,40
5.3	ZAMPEADO DE CONCRETO CICLOPEO	M2	11	Q 371,36	Q 4 159,23
SUB-TOTAL					Q 149 033,09
6	DRENAJE LONGITUDINAL				
6.1	CUNETA REVESTIDA DE CONCRETO HIDRAULICO TRAPEZOIDAL	M	4 632,67	Q 141,82	Q 657 005,26
SUB-TOTAL					Q 657 005,26
7	BORDILLO DE CONCRETO HIDRAULICO DE 0.15 M	M	4 400	Q 86,77	Q 381 788,00
8	SUMINISTRO Y APLICACION DE PINTURA TERMOPLASTICA EN LC Y LATERALES (e=0.10m)	M	15 899,94	Q 2,99	Q 47 540,82
9	SUMINISTRO Y COLOCACION DE SEÑALES DE TRANSITO Y MARCADORES DE PAVIMENTO (OJOS DE GATO) SOBRE LC Y LATERALES	GLOBAL	1	Q42 896,00	Q 42 896,00
10	MONUMENTOS DE KILOMETRAJE (SUMINISTRO Y COLOCACION)	GLOBAL	1	Q14 379,33	Q 14 379,33
TOTAL				Q	15 108 146,13

Fuente: elaboración propia.

2.1.9. Cronograma de ejecución física y financiera

Se presentan los avances mensuales del proyecto, en términos financieros, y porcentajes de avances físicos. Para un período de ejecución de 6 meses.

Figura 18. Cronograma de ejecución física y financiera

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN FÍSICA Y FINANCIERA														
Proyecto: Diseño del trazo urbano de 3.3 KM2														
Ubicación: 30 y 40 de Adón El Coronado hacia el Camino														
Ejecución: 1000 mts. de Camino														
Municipio: Villa Carales														
Cantón: Loja														
No	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL	POORCENTAJE	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6		
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	1	2	3	4
1	REPLANTEO Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	M	2,289.95	0	26.06	Q. 59,679.33	1.23							
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS													
2.1	RETROCELESTICCIÓN EXISTENTE	M2	11,546.19	0	17.30	Q. 199,849.01	1.30							
2.2	EXCAVACION DIFERENCIAL	M3	54,746.41	0	54.26	Q. 2,970,646.73	53.86							
2.3	EXCAVACION Y COLOCACION DE PRESTAMO	M3	17,910.09	0	30.13	Q. 539,829.96	5.81							
2.4	EXCAVACION ESTRUCTURAL PARA ALICANTALLA	M3	351.00	0	53.00	Q. 18,706.50	0.12							
2.5	EXCAVACION PARA CANALES	M3	1,113.30	0	84.89	Q. 94,529.93	0.55							
3	SUBRASANTE													
3.1	RECONOCIMIENTO DE SUBRASANTE EXISTENTE	M2	33,150.86	0	22.21	Q. 736,530.46	5.81							
4	PAVIMENTO													
4.1	BASE GRANULAR (0.10) + COMPACTACION	M3	3,845.85	0	205.78	Q. 785,250.00	5.20							
4.2	CARPETA DE RODADURA DE CONCRETO (GRANULOS) + SELLOS DE JUNTAS	M3	4,372.46	0	1,794.01	Q. 7,844,279.12	51.92							
5	DRENAJE TRANSVERSAL													
5.1	CAJAS RECEPTORAS Y CAJETALES DE CONCRETO COLOCADOS	M3	33.00	0	1,932.56	Q. 63,834.48	0.42							
5.2	TUBERIA DE PVC DE 30"	M	36	0	2,261.15	Q. 81,401.40	0.54							
5.3	ZANJADO DE CONCRETO COLOCADO	M2	11	0	371.36	Q. 4,084.96	0.03							
6	DRENAJE LONGITUDINAL													
6.1	CAJETA RECEPTORA DE CONCRETO HORILLADO TRANSVERSAL	M	4,632.67	0	141.62	Q. 657,026.26	4.35							
7	BOQUILLO DE CONCRETO HORILLADO DE 0.15	M	4.40	0	36.77	Q. 161,758.00	2.53							
8	SUMINISTRO Y APLICACION DE PINTURA TERMOPLASTICA EN LOS LATERALES	M	15,666.94	0	2.26	Q. 41,540.00	0.31							
9	SUMINISTRO Y COLOCACION DE SEÑALES DE TRANSITO Y MARCADORES DE PAVIMENTO (CUBOS DE GATO) SOBRE LOS LATERALES	GLOBAL	1	0	42,826.00	Q. 42,826.00	0.29							
10	MONUMENTOS DE KILOMETRAJE (SUMINISTRO Y COLOCACION)	GLOBAL	1	0	14,179.33	Q. 14,179.33	0.12							
TOTAL					Q.	15,128,146.13	100							
							Avance físico (%)	3.42%	8.29%	9.12%	5.24%	28.13%	44.19%	100%
							Avance financiero (Q)	Q. 517,794.37	Q. 1,464,593.37	Q. 1,377,914.74	Q. 782,298.91	Q. 4,246,693.85	Q. 6,767,044.83	Q. 15,128,146.13

Fuente: elaboración propia.

Continuación de la tabla XXXIII.

1.1. Información del Proyecto (según datos en la declaración jurada)						
Nombre del Proyecto, obra, industria o actividad	Diseño del tramo carretero de 5,3 kms comprendido de la aldea El Obrajuelo hacia el caserío Río Negro, Villa Canales, Guatemala					
Dirección donde se ubica el Proyecto	Km 59, aldea El Obrajuelo, Villa Canales, Guatemala					
	<small>(Identificando calles, avenidas, número de casa, zona, aldea, cantón, barrio o similar, así como otras delimitaciones territoriales; OBLIGATORIAMENTE indicar el municipio y el departamento)</small>					
1.2. Información legal (persona individual o jurídica)						
Nombre del propietario y/o Representante Legal						
Código Único de Identificación (CUI) del Documento Personal de Identificación (DPI)						
Razón social						
Nombre Comercial						
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.	
Patente de Comercio (Sucursal)	Registro No.		Folio No.		Libro No.	
Finca donde se ubica el Proyecto	Finca No.		Folio No.		Libro No.	de
Número de RTU						
1.3. Información de contacto del proponente						
Teléfono			Correo electrónico			
Dirección para recibir notificaciones (dirección fiscal)						
	<small>(Identificando calles, avenidas, número de casa, zona, aldea, cantón, barrio o similar, así como otras delimitaciones territoriales; OBLIGATORIAMENTE indicar el municipio y departamento)</small>					
1.4. Información de contacto de Profesional de apoyo						
Si para consignar la información en este formato fue apoyado por un profesional, ante la siguiente información:						
Nombre			Profesión			
Teléfono			Correo electrónico			

Continuación de la tabla XXXIII.

Oeste	Viviendas, centro de salud		200
2.2. Área de Influencia Directa del Proyecto Actividades colindantes al Proyecto (vecindad inmediata).			
Norte	-----		
Sur	-----		
Este	-----		
Oeste	-----		
Indicar si se encuentra en área urbana, rural o mixta:			
2.3. Exposición a riesgos Indicar con una "X" los riesgos a los que se está expuesto por la ubicación del Proyecto.			
Inundación	X	Explosión	Deslizamientos X Erupciones
Derrumbes	X	Sismos X	Incendios X Biológicos
Otros (explicar)			
2.4. Área del Proyecto En Sistema Internacional (metros cuadrados, hectáreas, o como corresponda). <ul style="list-style-type: none"> • Área del terreno: área que tiene toda la propiedad, finca o terreno. • Área de ocupación: área de intervención que tiene el proyecto en el primer nivel o planta baja. • Área de construcción: área total que tiene la intervención del proyecto, desde su planta baja hacia niveles superiores. 			
<p>Área del terreno: _____</p> <p>Área de ocupación: _____</p> <p>Área de construcción: _____</p>			
2.5. Descripción de las fases de desarrollo del Proyecto Proporcionar una descripción de las actividades que apliquen y serán efectuadas en el Proyecto. Puede utilizar hojas adicionales de ser necesario, especificando los temas a tratar.			
Fase de construcción	Actividades a realizar	Movimientos de tierra, construcción de losa de concreto hidráulico, construcción de drenajes.	
	Insumos necesarios	Combustible, herramientas, alimentación	
	Maquinaria y equipo	Maquinaria pesada, camión cisterna, camiones de concreto, equipo manual.	
	Horario de trabajo	08:00 – 16:00	
	Contratación de personal	Si	
	Otros de relevancia	-----	
Fase de operación	Actividades o procesos	-----	

Continuación de la tabla XXXIII.

No. De Licencia de Consultor (Si aplica)											
1.5. Fases de desarrollo del Proyecto											
Fase de construcción		Fase de operación		Fase de abandono							
¿Aplica? Si/No	SI	¿Aplica? Si/No	NO	¿Aplica? Si/No	SI						
En caso no aplique alguna de las fases, justificarse:											
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO											
Realizar una breve descripción del Proyecto, mencionando las fases que abarcará (construcción, operación y/o abandono), así como las actividades más relevantes de cada fase. Tomar como referencia los planos de distribución del Proyecto.											
<p>El proyecto consta de la construcción de un tramo de carretera de 5,3 kms que comunicará los poblados de El Obrajuelo y Río Negro, ambos del municipio de Villa Canales, Guatemala. Se estima un período de ejecución de 6 meses, los cuales se dividirán en períodos de construcción y abandono. Dentro de las actividades que se pueden mencionar en la fase de construcción se encuentran: movimientos de tierra, construcción de carpeta rasante con concreto hidráulico, construcción de drenajes longitudinales y transversales, instalación de señalización para la carretera.</p> <p>En las actividades que forman parte de la fase de abandono se pueden mencionar: estabilización de taludes que se encuentran en las canteras de préstamo mediante la siembra de vegetación para prevenir la erosión en el suelo.</p> <p>Establecer las coordenadas donde se ubicará su proyecto.</p>											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Coordenadas geográficas (en grados, minutos, segundos; o grados decimales)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Latitud</td> <td>14°16'48" N</td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>90°34'21,97" O</td> </tr> </tbody> </table>						Coordenadas geográficas (en grados, minutos, segundos; o grados decimales)		Latitud	14°16'48" N	Longitud	90°34'21,97" O
Coordenadas geográficas (en grados, minutos, segundos; o grados decimales)											
Latitud	14°16'48" N										
Longitud	90°34'21,97" O										
2.1. Area de influencia indirecta del Proyecto											
Describir detalladamente las características más importantes cercanas al Proyecto (viviendas, barrancos, cuerpos de agua, hospitales, iglesias, centros educativos, centros culturales, áreas protegidas, etc.)											
Dirección	Descripción del entorno				Distancia (metros)						
Norte	Viviendas				900						
Sur	Río, Viviendas				200						
Este	Viviendas				400						

Continuación de la tabla XXXIII.

	Materia prima e insumos	----				
	Maquinaria y equipo	----				
	Productos y subproductos (bienes y servicios)	----				
	Horario de trabajo	----				
	Contratación de personal	----				
	Otros de relevancia	----				
Fase de abandono	Acciones a tomar en caso de cierre o abandono del Proyecto	Estabilizar los taludes utilizados de los bancos de préstamo de material, mediante la siembra de vegetación.				
2.6. Información específica de insumos						
<ul style="list-style-type: none"> En el caso de equipo eléctrico, considerar los lineamientos del Acuerdo Gubernativo No. 194-2018 "Reglamento para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados (PCB) y Equipos que lo Contienen". En el caso de refrigerantes, agroquímicos o aceites dieléctricos a utilizar, especificar tipo y considerar el Convenio de Estocolmo, Protocolo de Montreal y Enmienda de Kigali, Convenio de Basilea, ratificados y vigentes, entre otros que aplique. Remitirse al Departamento de Coordinación para el Manejo Ambientalmente Racional de Productos Químicos y Desechos Peligrosos en Guatemala, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Por uso o almacenamiento de hidrocarburos, ver requisito 10. 						
Agua	Forma de suministro	Si/No	Consumo (mensual)	Forma de almacenamiento	Uso y medidas de seguridad	Proveedor
	Servicio municipal	NO				
	Servicio privado	SI	7 000 Litros	Camión Cisterna	SI	ND
	Pozo manual	NO				
	Pozo mecánico	NO				
	Superficial	NO				
	Otro	--				
Combustibles	Tipo	Si/No	Consumo (mensual)	Forma de almacenamiento	Uso y medidas de seguridad	Proveedor
	Gasolina	SI	500 Galones	Directo de estación	SI	Shell
	Diésel	SI	4 000 Galones	Toneles	SI	Shell
	Bunker	NO				
	GLP	NO				
	Otro	--				
Lubricantes	Solubles	NO				
	No solubles	NO				

Continuación de la tabla XXXIII.

	Forma de suministro	Si/No	Consumo (mensual)	Uso y medidas de seguridad		Proveedor
Energía eléctrica	Público	NO				
	Privado	NO				
	Propio	SI	4 000 KWH	SI		Planta
Equipo eléctrico	Tipo	Si/No	Uso y medidas de seguridad		Forma de mantenimiento y proveedor	
	Transformadores	NO				
	Condensadores	NO				
	Capacitores	NO				
	Inductores eléctricos	NO				
	Otro equipo que contenga aceite dieléctrico	NO				
	En caso afirmativo indicar lo siguiente:					
Usuario (correo electrónico) registrado en el Sistema de Información de PCB:						
Número de equipos con aceite dieléctrico en la institución:						
Número de equipos clasificados como:			Sospechoso de PCB:			
			Bajo Nivel de PCB:			
			Contaminado con PCB (mayor a 50 ppm de PCB):			
Otros	Tipo Especificar:	Consumo (mensual)	Forma de almacenamiento	Uso y medidas de seguridad	Proveedor	
Refrigerantes (para A/C u otro sistema de enfriamiento)	NA	---	---	---	---	
Agroquímicos y fertilizantes (COP's, organofosforados, fertilizantes nitrogenados, etc.)	NA	---	---	---	---	
Baterías de Ácido Plomo y Litio	NA	---	---	---	---	

Continuación de la tabla XXXIII.

<p>Las actividades o acciones en las fases de construcción, operación y/o abandono del Proyecto, ¿generan olores? Explicar con detalles la fuente de generación y el tipo o características del o los olores.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">NO</div> <p>Explicar qué se hace o se hará para evitar que los olores se dispersen en el ambiente.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">NA</div>		
4. IMPACTOS AL AGUA Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN		
<p>4.1. Aguas residuales Deberá consultar el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 "Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos" y sus Reformas.</p>		
Fase de construcción		
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;"> ¿Qué tipo de aguas residuales (aguas servidas) se generarán? Marcar con una X la información. </td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo ordinario (domésticas) <input checked="" type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo especial (incluye la mezcla de tipo ordinario y especial) <input type="checkbox"/> Otro </td> </tr> </table> <p>Describir el manejo y las medidas de mitigación a aplicarse para las aguas residuales a generarse.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Se descargará en un cuerpo de agua luego de realizar un tratamiento previo.</div>	¿Qué tipo de aguas residuales (aguas servidas) se generarán? Marcar con una X la información.	<input checked="" type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo ordinario (domésticas) <input checked="" type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo especial (incluye la mezcla de tipo ordinario y especial) <input type="checkbox"/> Otro
¿Qué tipo de aguas residuales (aguas servidas) se generarán? Marcar con una X la información.	<input checked="" type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo ordinario (domésticas) <input checked="" type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo especial (incluye la mezcla de tipo ordinario y especial) <input type="checkbox"/> Otro	
Fase de operación		
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;"> ¿Qué tipo de aguas residuales (aguas servidas) se generarán? Marcar con una X la información. </td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo ordinario (domésticas) <input type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo especial (incluye la mezcla de tipo ordinario y especial) <input type="checkbox"/> Otro </td> </tr> </table> <p>Indicar caudal de agua residual a generarse (de tipo ordinario y/o especial).</p>	¿Qué tipo de aguas residuales (aguas servidas) se generarán? Marcar con una X la información.	<input type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo ordinario (domésticas) <input type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo especial (incluye la mezcla de tipo ordinario y especial) <input type="checkbox"/> Otro
¿Qué tipo de aguas residuales (aguas servidas) se generarán? Marcar con una X la información.	<input type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo ordinario (domésticas) <input type="checkbox"/> Aguas residuales de tipo especial (incluye la mezcla de tipo ordinario y especial) <input type="checkbox"/> Otro	

Continuación de la tabla XXXIII.

<input type="text"/>
Indicar el o los lugar(es) de descarga(s) de las aguas residuales a generarse (alcantarillado sanitario, cuerpo receptor). Adjuntar en un mapa o croquis, el o los lugares de descarga como Anexo.
<input type="text"/>
Según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 y por las características del Proyecto, ¿es necesario implementar sistema de tratamiento de aguas residuales? Justificar su respuesta.
<input type="text"/>
Sistema de tratamiento de aguas residuales
Describir el sistema de tratamiento que se propone para dar tratamiento a las aguas residuales previo a su disposición, así como el tratamiento y la disposición de lodos (usar hojas adicionales, adjuntando manual de operación y mantenimiento).
4.2. Agua de lluvia (aguas pluviales)
¿Existen impermeabilizaciones que generen escorrentías, que impidan la infiltración natural del agua de lluvia durante todas las fases del proyecto?
<input type="text" value="La estructura del pavimento"/>
Explicar la forma de captación, conducción y el punto de descarga del agua de lluvia (zanjones, cunetas, ríos, pozos de absorción, alcantarillado, etc.)
<input type="text" value="Los sistemas de drenaje del pavimento captan el agua precipitada y la conducen hacia su cauce natural"/>
5. IMPACTOS AL SUELO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN
5.1. Cambio de Uso del suelo
Por la ubicación y las características del proyecto, ¿se producirá algún cambio en el uso del suelo?
<input type="text" value="Si, durante los movimientos de tierra"/>

Continuación de la tabla XXXIII.

<p>¿Qué acciones o medidas de mitigación se plantean para adecuarse a las áreas colindantes del Proyecto?</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">Se planea reutilizar todo el material utilizado para el pavimento.</div>									
5.2. Geomorfología									
<p>¿Existirá movimientos de tierra? Justificar. Si su respuesta es afirmativa, indique la cantidad.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;">SI, se planean realizar 72 259,40 m3 de excavación.</div>									
5.3. Calidad del suelo									
<p>Residuos y desechos comunes: Aquellos cuya naturaleza no representa, en si misma, un riesgo especial a la salud humana o al ambiente; por lo que no poseen características tóxicas, corrosivas, reactivas, explosivas, patológicas, infecciosas, punzocortantes, u otras de similar riesgo.</p> <p>Residuos y desechos peligrosos. Entiéndase los peligrosos aquellos que poseen al menos una de las siguientes características: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable, biológico-infecciosos. Incluye los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos –RAEE. Pueden ser luminarias (lámparas), solventes, baterías (cadmio, ácido plomo, litio, etc.), desechos hospitalarios, etc.</p> <p>Residuos y desechos de manejo especial: Aquellos que, aunque no posean las características de los residuos y desechos peligrosos, requieren de un manejo específico, en virtud de su tamaño, volumen, complejidad o potencial de riesgo de algunos de sus componentes.</p>									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">Generación de residuos y desechos sólidos comunes.</p> <p style="text-align: center; font-size: small;">Marcar con una X la cantidad de residuos y desechos a generarse.</p> </div>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>Hasta 5 kg/día</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>De 5 a 20 kg/día</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>De 20 a 100 kg/día</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>Mayor a 100 kg/día</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	Hasta 5 kg/día	<input checked="" type="checkbox"/>	De 5 a 20 kg/día	<input type="checkbox"/>	De 20 a 100 kg/día	<input type="checkbox"/>	Mayor a 100 kg/día
<input type="checkbox"/>	Hasta 5 kg/día								
<input checked="" type="checkbox"/>	De 5 a 20 kg/día								
<input type="checkbox"/>	De 20 a 100 kg/día								
<input type="checkbox"/>	Mayor a 100 kg/día								
<p>Determinar la cantidad de residuos y desechos a generar (en kg/día), según tipo de clasificación (ejemplo: orgánico e inorgánico). Considerar los lineamientos estipulados en el Acuerdo Ministerial 7-2019 "Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes".</p>									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Fase de construcción</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Fase de operación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">16.7 kg/día</td> <td style="padding: 2px;">NA</td> </tr> </tbody> </table>	Fase de construcción	Fase de operación	16.7 kg/día	NA					
Fase de construcción	Fase de operación								
16.7 kg/día	NA								
<p>Describir acciones de reducción, reúso y clasificación para valorización. Considerar los lineamientos estipulados en el Acuerdo Ministerial 6-2019 "Guía para la identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes".</p>									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Fase de construcción</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Fase de operación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">Desechar los residuos sólidos en el centro de descarga municipal más cercano.</td> <td style="padding: 2px;">NA</td> </tr> </tbody> </table>	Fase de construcción	Fase de operación	Desechar los residuos sólidos en el centro de descarga municipal más cercano.	NA					
Fase de construcción	Fase de operación								
Desechar los residuos sólidos en el centro de descarga municipal más cercano.	NA								

Continuación de la tabla XXXIII.

Otros gases (hospitalarios, O ₃ , N ₂ , C ₂ H ₂ , etc.)	NA	---	---	---	---
3. IMPACTOS AL AIRE Y MEDIDAS DE MITIGACION					
3.1. Gases y material particulado					
<p>¿Las actividades o acciones en las fases de construcción, operación y/o abandono del Proyecto, producirán gases o partículas (Ejemplo: polvo, humo, niebla, material particulado, ceniza, etc.) que se dispersarán en el aire? Ampliar la información e indicar la fuente de donde se generarán.</p>					
<p>SI, durante los movimientos de tierra, se originara cierta cantidad de polvo proveniente de las canteras</p>					
<p>¿Qué se hace o se hará para evitar que los gases o partículas impacten el aire, el vecindario o a los trabajadores?</p>					
<p>Disminuir el número de máquinas que se encuentren trabando en las canteras simultáneamente.</p>					
3.2. Fuentes de radiaciones (ionizantes / no ionizantes)					
<p>¿Las actividades o acciones en las fases de construcción, operación y/o abandono del Proyecto, producirán radiaciones de tipo ionizante o no ionizante? Justificar su respuesta.</p>					
<p>NO</p>					
<p>¿Qué se hace o se hará para controlar las radiaciones ionizantes o no ionizantes para que no impacten el vecindario o a los trabajadores?</p>					
<p>NA</p>					
3.3. Ruidos y vibraciones					
<p>Las actividades o acciones en las fases de construcción, operación y/o abandono del Proyecto ¿producen sonidos fuertes (ruido), o vibraciones? ¿En dónde se genera el sonido y/o las vibraciones? (ejemplo: maquinaria, equipo, instrumentos musicales, vehículos, etc.)</p>					
<p>SI, el movimiento de tierra generará vibraciones y ruido, debido al constante paso de la maquinaria.</p>					
<p>¿Qué acciones se toman o tomarán para evitar que el ruido o las vibraciones afecten al vecindario y a los trabajadores?</p>					
<p>Trabajar con la maquinaria que produzca mayor ruido en horario hábil.</p>					
3.4. Olores					

Continuación de la tabla XXXIII.

Describir el manejo de los residuos y desechos sólidos a generar, tales como el acopio, almacenamiento, extracción, tratamiento y/o disposición final.											
Fase de construcción	Fase de operación										
Se colocarán contenedores en lugares estratégicos en la obra, para luego ser acumulados por un camión de volteo y ser descargados adecuadamente.	NA										
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 60%;"> <p style="text-align: center;">Generación de residuos y desechos peligrosos.</p> <p style="text-align: center;">Marcar con una X la cantidad de residuos y desechos a generarse.</p> </td> <td style="border: none; padding-left: 10px;"> <table style="border: none;"> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>Hasta 0.5 kg/mes</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>De 0.5 a 5 kg/mes</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>De 5 a 50 kg/mes</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>Mayor a 50 kg/mes</td></tr> </table> </td> </tr> </table>		<p style="text-align: center;">Generación de residuos y desechos peligrosos.</p> <p style="text-align: center;">Marcar con una X la cantidad de residuos y desechos a generarse.</p>	<table style="border: none;"> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>Hasta 0.5 kg/mes</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>De 0.5 a 5 kg/mes</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>De 5 a 50 kg/mes</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>Mayor a 50 kg/mes</td></tr> </table>		Hasta 0.5 kg/mes		De 0.5 a 5 kg/mes		De 5 a 50 kg/mes		Mayor a 50 kg/mes
<p style="text-align: center;">Generación de residuos y desechos peligrosos.</p> <p style="text-align: center;">Marcar con una X la cantidad de residuos y desechos a generarse.</p>	<table style="border: none;"> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>Hasta 0.5 kg/mes</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>De 0.5 a 5 kg/mes</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>De 5 a 50 kg/mes</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td><td>Mayor a 50 kg/mes</td></tr> </table>		Hasta 0.5 kg/mes		De 0.5 a 5 kg/mes		De 5 a 50 kg/mes		Mayor a 50 kg/mes		
	Hasta 0.5 kg/mes										
	De 0.5 a 5 kg/mes										
	De 5 a 50 kg/mes										
	Mayor a 50 kg/mes										
Explicar el manejo interno y el acopio de los residuos y desechos peligrosos dentro del proyecto.											
Fase de construcción	Fase de operación										
Indique forma de tratamiento y/o disposición final de los residuos y desechos peligrosos.											
Fase de construcción	Fase de operación										
Indicar las medidas a adoptar para la correcta gestión de equipos con aceite dieléctrico a fin de prevenir la contaminación con PCB, indicando la actividad a realizar y plazos de estas:											
<ul style="list-style-type: none"> • Compra de equipos con aceite dieléctrico: • Inventario de equipos: • Análisis químico y etiquetado: • Operación y mantenimiento: • Almacenamiento Temporal: • Disposición final: 											

Continuación de la tabla XXXIII.

<p>Generación de residuos y desechos de manejo especial.</p> <p>Marcar con una X la cantidad de residuos y desechos a generarse.</p>	
<p>Explicar el manejo interno y el acopio de los residuos y desechos de manejo especial dentro del proyecto.</p>	
<p>Fase de construcción</p>	<p>Fase de operación</p>
<p>Indique forma de tratamiento y/o disposición final de los residuos y desechos de manejo especial.</p>	
<p>Fase de construcción</p>	<p>Fase de operación</p>
<p>6. IMPACTOS AL ELEMENTO BIÓTICO Y MEDIDAS DE MITIGACION</p>	
<p>¿En el sitio donde se ubica el proyecto, existen bosques, animales u otros? Especificar la información.</p>	
<p>Se encuentra ubicado en una zona boscosa con presencia de fauna nativa.</p>	
<p>¿El proyecto requiere efectuar corte de árboles? Indique el volumen de madera y su manejo. Si no aplica, justificarse. Ver requisito 10.</p>	
<p>NA, no se estipula realizar corte de árboles ya que se seguirá la línea existente de la carretera.</p>	
<p>Por la construcción u operación del proyecto, ¿puede afectar la biodiversidad del área? Explicar.</p>	
<p>PODRIA AFECTAR, en bajo porcentaje debido a que la carretera atraviesa una zona boscosa.</p>	
<p>En caso existan impactos al elemento biótico, proponer las medidas de mitigación para reducir, minimizar, remediar o compensar los impactos.</p>	
<p>Revegetar las áreas más afectadas, estabilizar los taludes que queden expuestos a la intemperie.</p>	
<p>7. IMPACTOS A LOS ELEMENTOS SOCIOECONÓMICOS, CULTURALES Y ESTÉTICOS</p>	
<p>7.1. Elementos Socioeconómicos y Culturales</p>	

Continuación de la tabla XXXIII.

<p>En el área donde funciona o funcionará el proyecto, ¿existe alguna(s) etnia(s) predominantes? Indicar cuál.</p>
<p>LADINA</p>
<p>¿El proyecto provoca o provocaría alguna molestia al vecindario? Explicar su respuesta.</p>
<p>NO, debido a que es un proyecto que beneficiará a los poblados cercanos en cuanto a tiempo de traslados.</p>
<p>¿El proyecto cuenta o contará con vehículos en sus distintas fases? Mencione qué tipo, cantidad de unidades y lugar de estacionamiento.</p>
<p>SI, contara con 3, y se estacionaran en las orillas de donde este avanzando el proyecto.</p>
<p>¿Qué medidas se hacen o se proponen realizar para no afectar al vecindario?</p>
<p>Cumplir con los tiempos estipulados en el cronograma de avance físico, para finalizar de forma rápida el proyecto.</p>
<p>En el área del proyecto o sus alrededores, ¿existe algún vestigio paleontológico o arqueológico? Explique de qué trata, dónde está ubicado, y a qué distancia de donde se propone el proyecto. Si no aplica, justificarse.</p>
<p>Ver requisito 10.</p>
<p>NA, la zona del proyecto se encuentra alejada de donde se encuentran vestigios arqueológicos (ruinas).</p>
<p>7.2. Elementos Estéticos</p>
<p>En el área donde funciona o funcionará el proyecto, ¿se considera patrimonio histórico o cultural? Si no aplica, justificarse. Ver requisito 10.</p>
<p>NA, la zona del proyecto se encuentra alejada de la zona considerada cultural o casco urbano.</p>
<p>Donde se encuentra o encontrará el proyecto, ¿es área protegida? Si no aplica, justificarse. Ver requisito 10.</p>
<p>NA, la zona del proyecto no se encuentra ubicada en un área protegida, aunque se estipula ser cuidadosos con la zona boscosa de los alrededores.</p>
<p>¿Qué medidas se proponen para conservar en lo posible la belleza arquitectónica o paisajística por la implementación del proyecto?</p>
<p>Revegetar las zonas del proyecto que se vieran afectadas por tala de árboles o pérdida de vegetación.</p>

Continuación de la tabla XXXIII.

8. SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL
De ser necesario, mencione qué medidas de seguridad ocupacional requieren los empleados para realizar los distintos trabajos en todas las fases del proyecto (guantes, máscara, entre otros).
Los empleados utilizarán equipo de protección personal como: guantes, mascarilla, lentes protectores, chalecos reflectivos, casco, zapatos industriales.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Instrumentos ambientales categoría C.*

p. 14.

CONCLUSIONES

1. Como parte del proyecto de obra vial se realizó la planificación, presupuesto (detallando los renglones de trabajo) además de los cronogramas de avance físico y financiero, y cuya ejecución se encuentra a cargo de la municipalidad de Villa Canales, con este proyecto se incrementan las posibilidades de mejorar el desarrollo económico, social y cultural entre los poblados de Río Negro y El Obrajuelo, los cuales se verán beneficiados directamente por el mismo.
2. El diseño geométrico y transversal del tramo carretero cumple en su mayoría con los parámetros establecidos por los códigos de diseño empleados, por lo que se garantiza un traslado adecuado y seguro a través del mismo, siempre que se cumpla con la velocidad de diseño y recomendaciones de las autoridades. En los tramos donde no se cumpla con los parámetros de diseño, físicamente, se advertirá mediante la señalización implementada, sobre la acción que debe realizar el conductor en dicho punto.
3. La estructura del pavimento se planteó en función del volumen de tráfico a soportar, por lo que para una sección típica F, se propuso un pavimento rígido de concreto hidráulico y cuyo diseño del espesor de la carpeta de rodadura, empleando el método simplificado de la PCA, determinó un espesor igual a 15 cm y se diseñaron los sistemas de drenaje (transversal y longitudinal), de la carretera en función de la precipitación de la zona del proyecto.

4. La planificación estima un intervalo de 6 meses para la construcción del tramo de carretera, en el municipio de Villa Canales, con un costo aproximado de quince millones ciento ocho mil ciento cuarenta y seis quetzales con trece centavos (Q 15 108 146,13).

RECOMENDACIONES

1. A la municipalidad de Villa Canales asegurando un funcionamiento adecuado de las obras de drenaje del tramo carretero, entiéndase cunetas, tubos de drenaje transversal, cajas receptoras de caudal; deben ser limpiadas, destaponadas y liberadas de todo material ajeno a la obra de drenaje cada 4 meses, exceptuando la temporada de invierno, en los cuales el mantenimiento deberá realizarse en períodos de dos meses o el número de veces que considere necesarias la Dirección Municipal de Planificación.
2. Con el afán de cumplir con las especificaciones técnicas de la carretera, la cuales se encuentran contenidas en los planos adjuntos, deberá garantizarse la supervisión técnica por parte de un profesional de la ingeniería civil durante la ejecución de la vía y que el profesional, de igual forma, brinde informes de los avances de la misma.
3. Respecto a las canteras de préstamo de materiales, al momento de darle fin al uso de las mismas, deben ser estabilizadas mediante una reforestación con especies de vegetación nativa. Con el objeto de prevenir la erosión de suelo y mejorar el paisaje.
4. En la medida de lo posible, durante la construcción y mantenimiento posterior de la carretera, en los trabajos que no se necesite de mano de obra calificada, dar la oportunidad laboral a las personas que habitan los poblados próximos a la obra.

5. Crear campañas de concientización dirigidas a los conductores que se vean beneficiados por el proyecto, para que le den un uso adecuado y responsable a la carretera, siguiendo las velocidades de circulación permitidas y demás consideraciones plasmadas en la señalización (a la cual cabe mencionar que también se le debe dar mantenimiento y reemplazo) para prolongar la vida útil de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

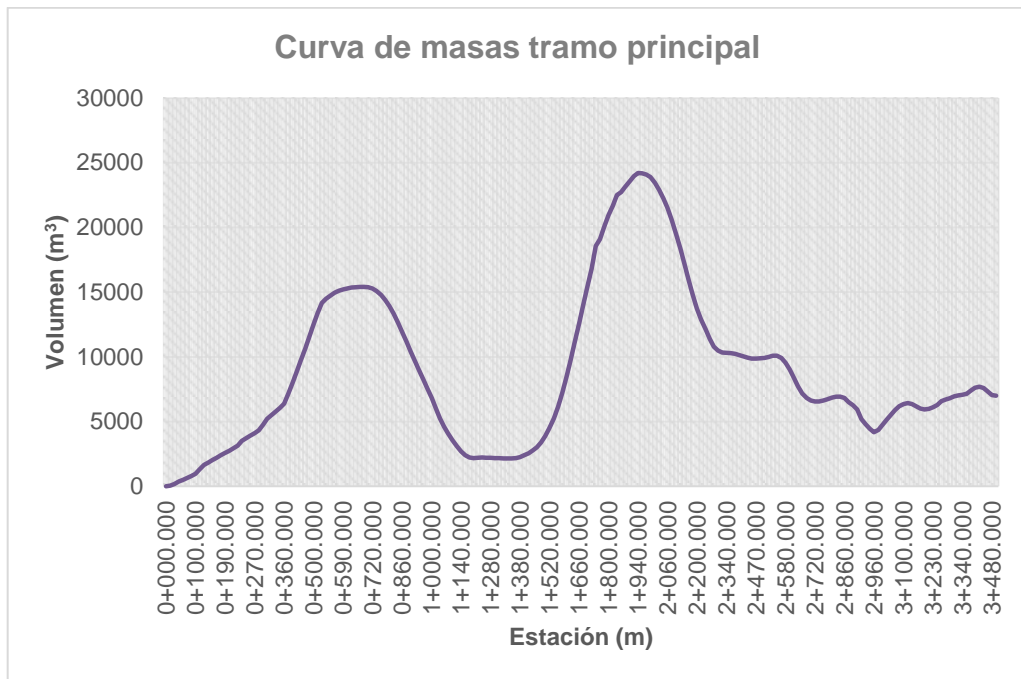
1. American Association of State Highway and Transportation Officials. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. 4a ed. Estados Unidos: AASHTO, 2001. 905 p.
2. DAS, Braja M. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. 4a ed. México: CENGAGE Learning. 2013. 656 p.
3. LINSLEY, Ray; KOHLER, Max; PAULUS, Joseph. *Hidrología para ingenieros*. 2a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1977. 357 p.
4. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Dirección General de Caminos, 2001. 723 p.
5. Ministerio de Transportes. *Manual de diseño geométrico de vías*. Colombia: Instituto Nacional de Vías, 2008. 275 p.
6. Ministerio de Transportes. *Manual de drenaje para carreteras*. Colombia: Instituto Nacional de Vías, 2009. 533 p.
7. Portland Cement Association. *Thickness design for concrete highway and street pavements*. Estados Unidos: PCA, 1984. 46 p.

8. SANTOS MORALES, Antonio José Alejandro. *Diseño de una carretera hacia la aldea San Cristóbal El Alto y un alcantarillado sanitario para la aldea San Bartolomé Becerra, Antigua Guatemala, Sacatepéquez*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017. 114 p.

9. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*. 2a ed. SIECA, 2 004. 322 p.

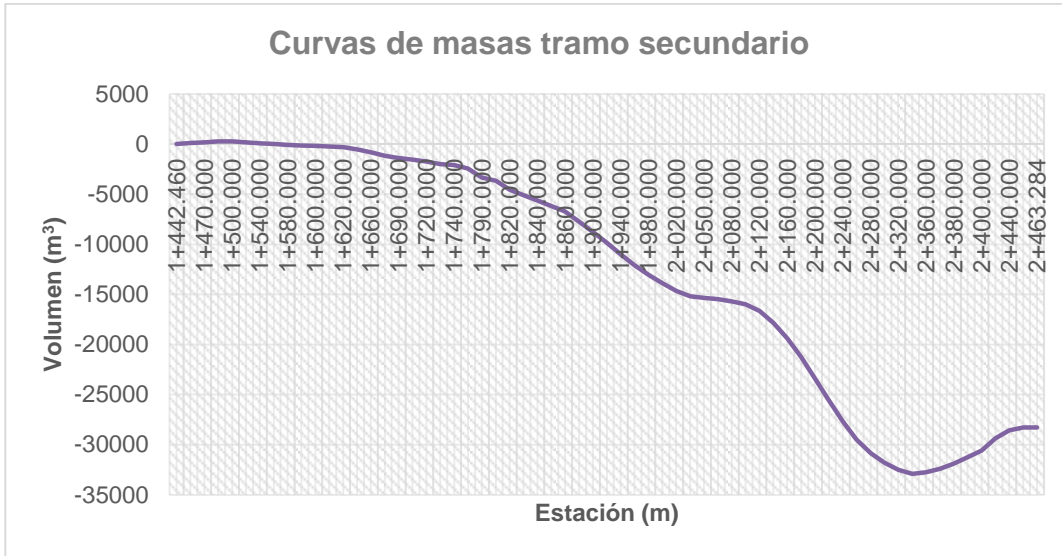
APÉNDICES

Apéndice 1. Diagrama de masas tramo principal



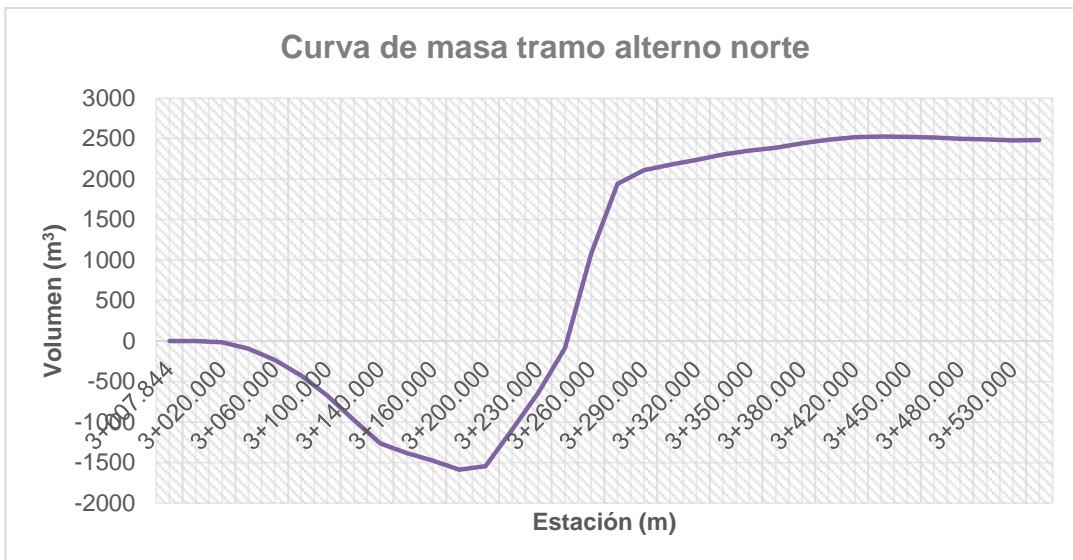
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de masas tramo secundario



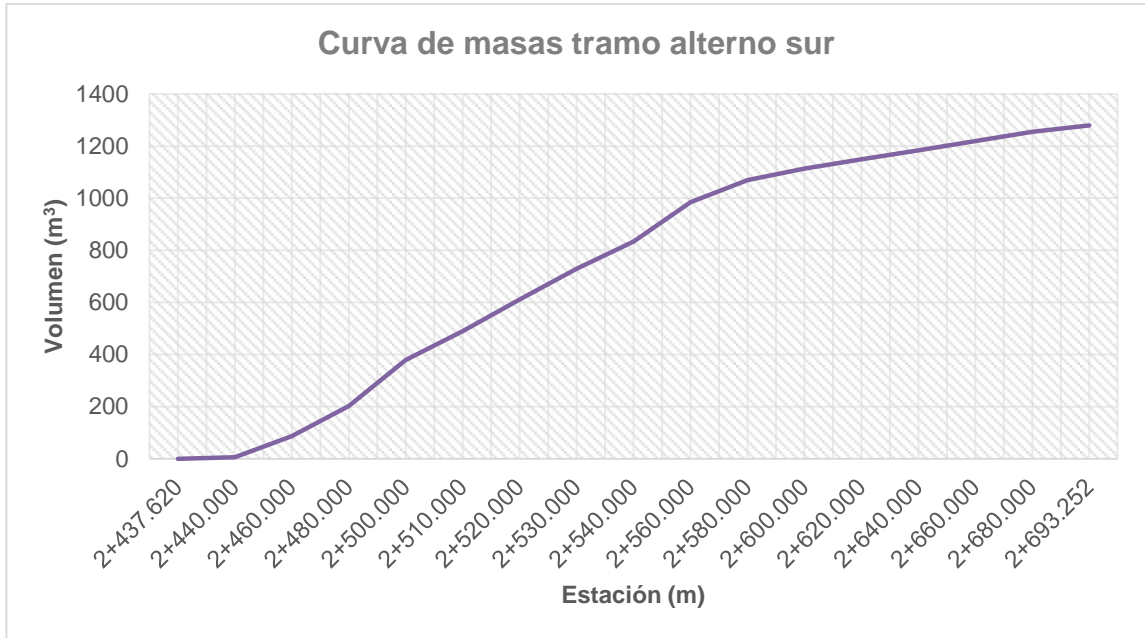
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Diagrama de masas tramo alterno norte



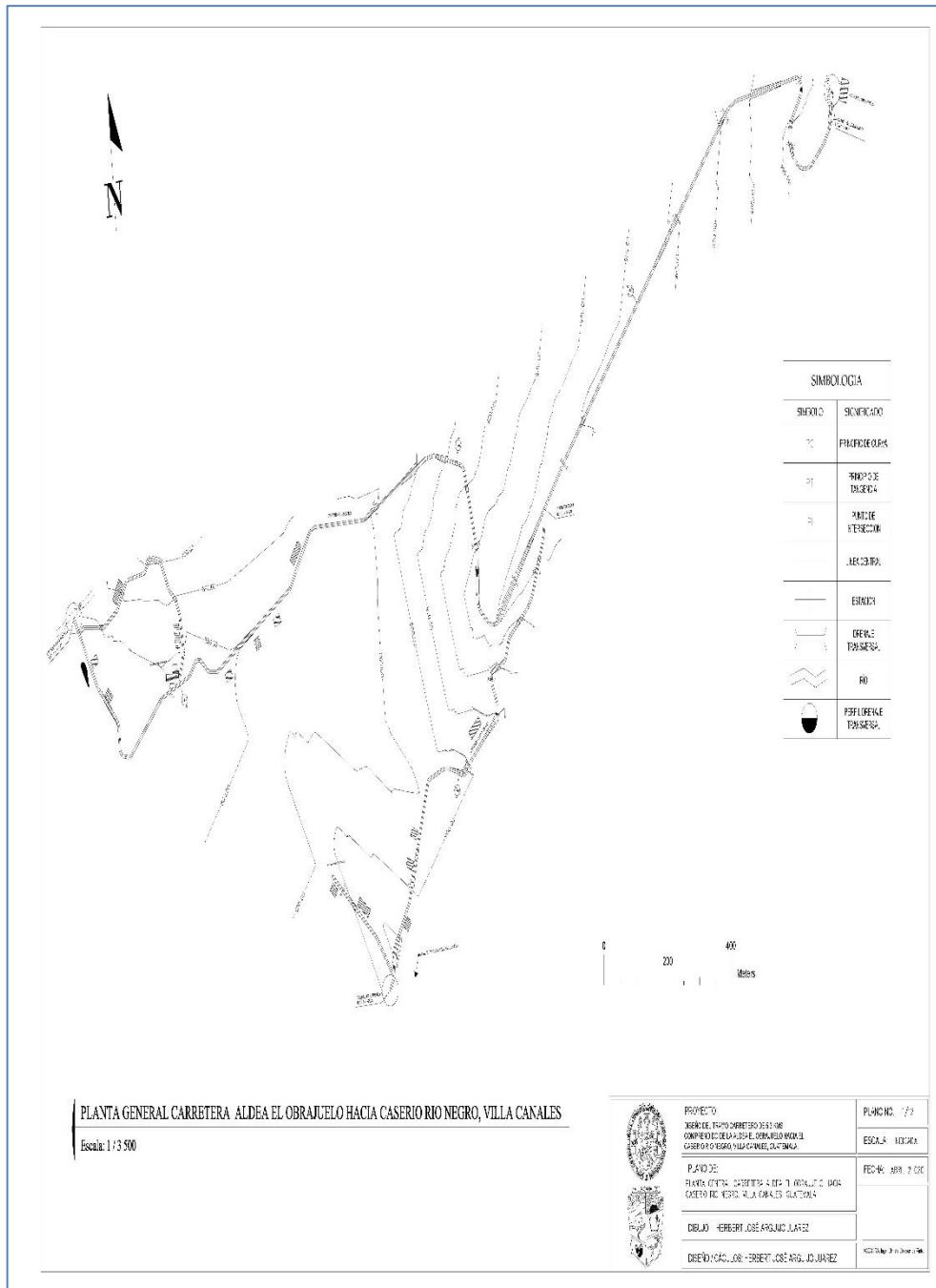
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Diagrama de masas tramo alterno sur**

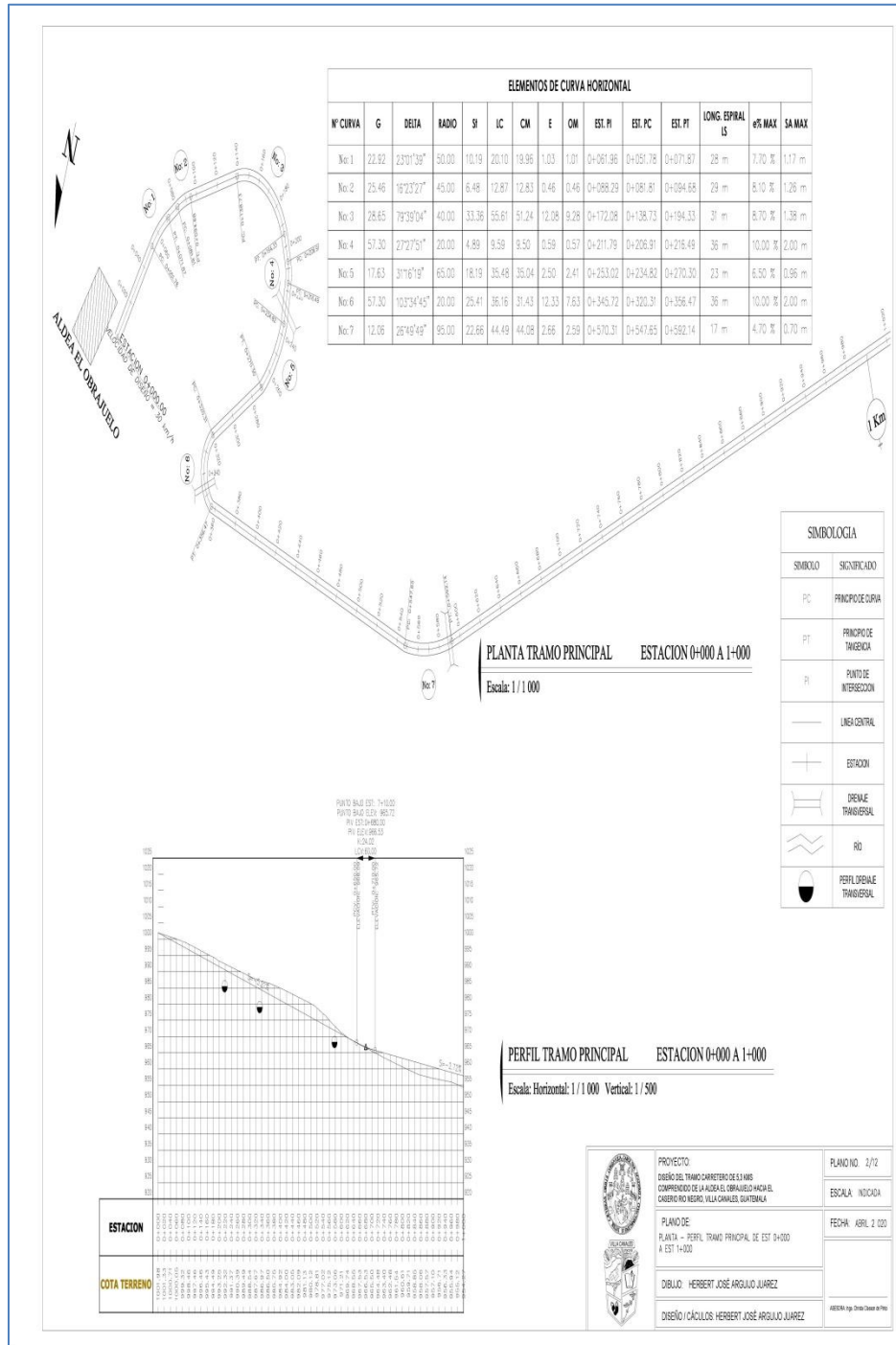


Fuente: elaboración propia.

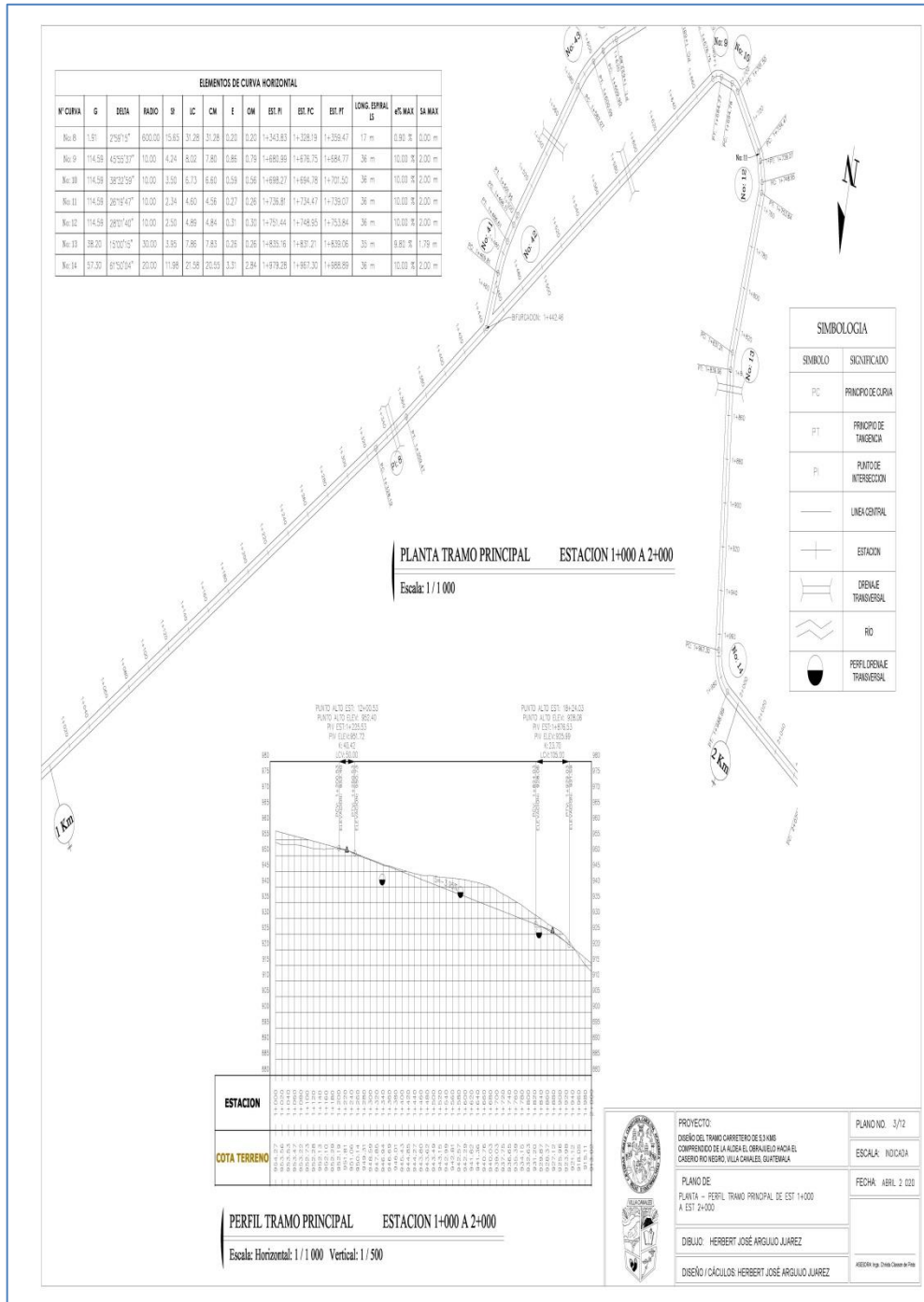
Apéndice 5. **Planos constructivos del diseño de un tramo carretero de 5,3 kms comprendido de la aldea El Obrajuelo hacia el caserío Río Negro, Villa Canales, Guatemala**



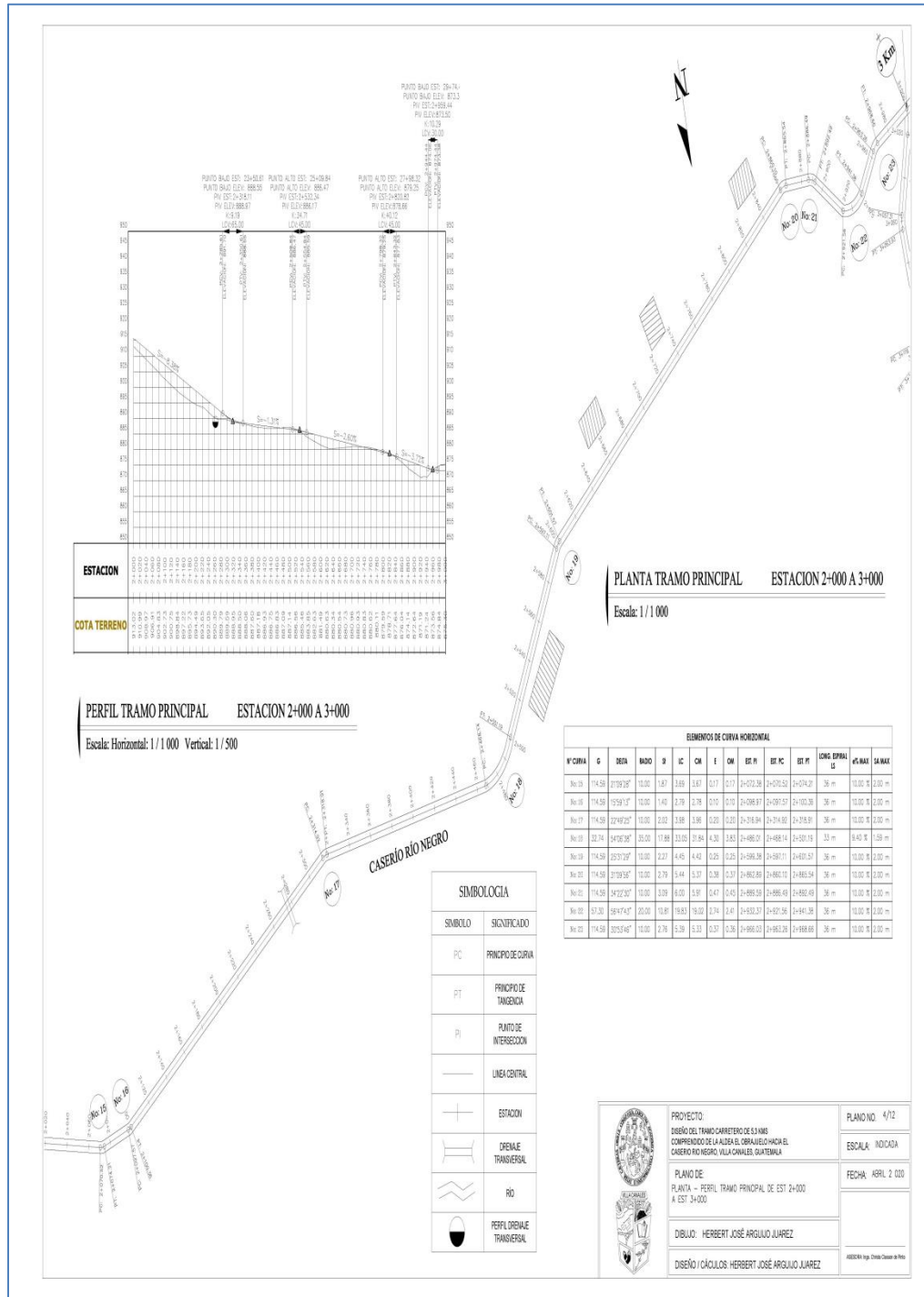
Continuación del apéndice 5.



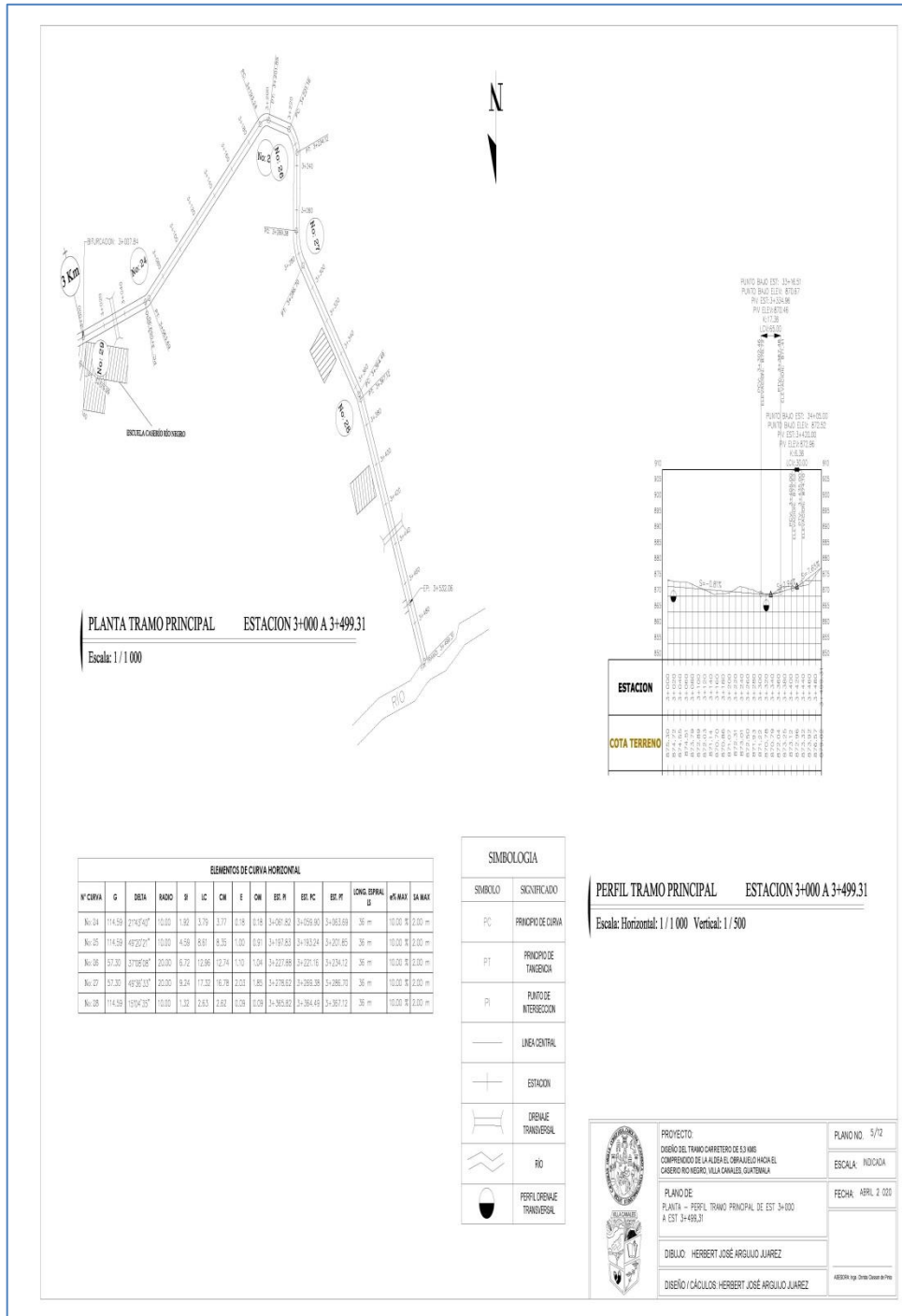
Continuación del apéndice 5.



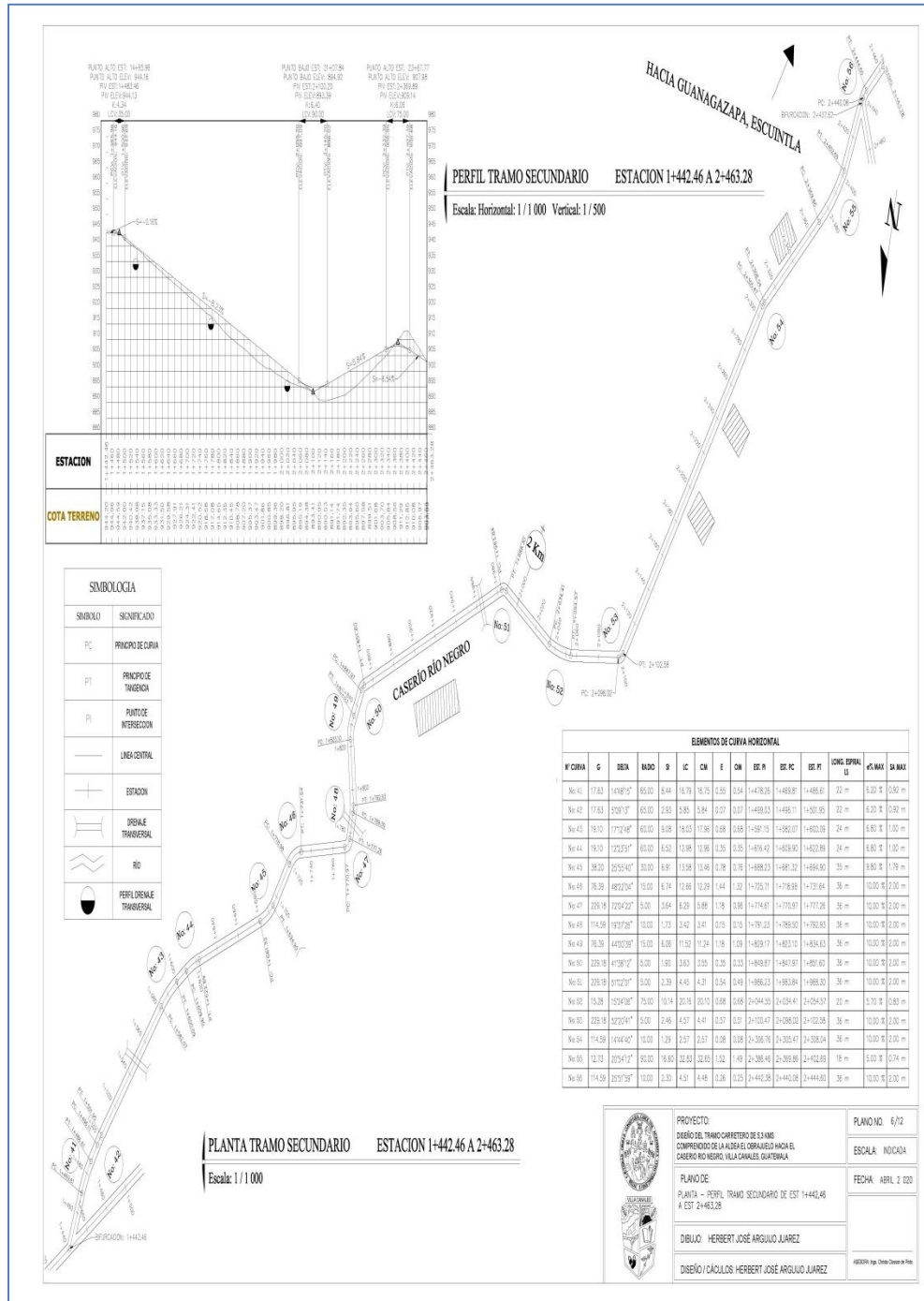
Continuación del apéndice 5.



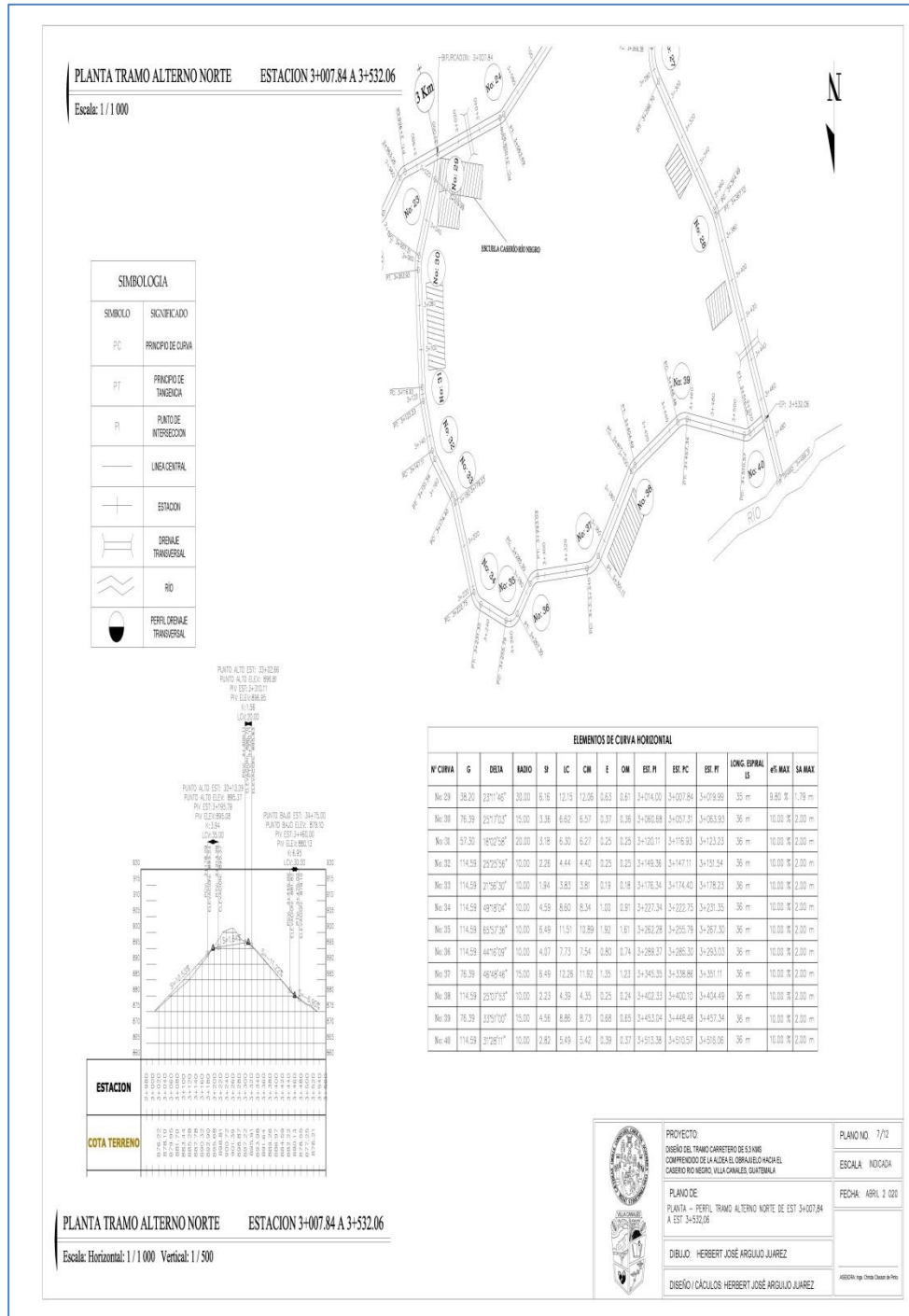
Continuación del apéndice 5.



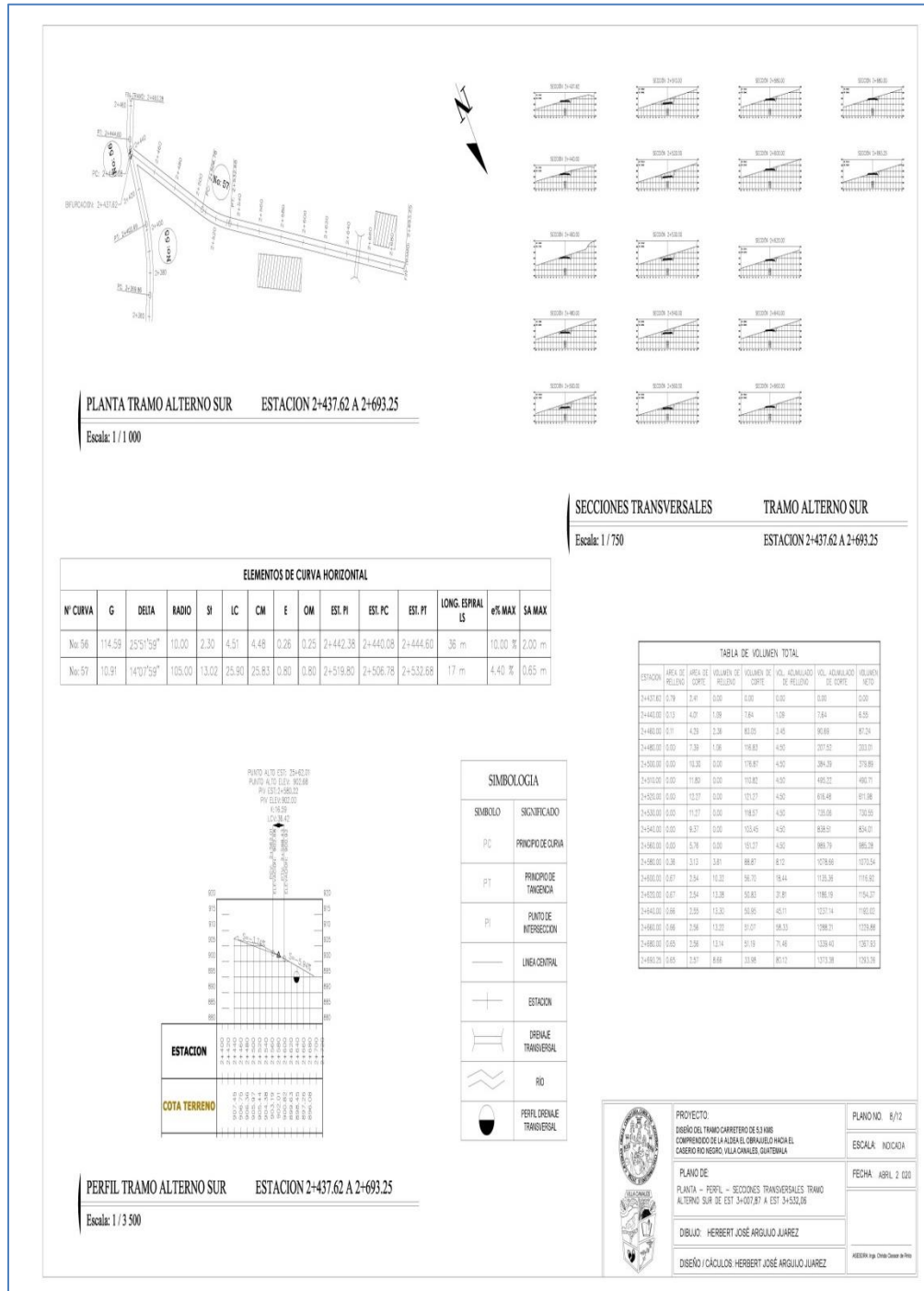
Continuación del apéndice 5.



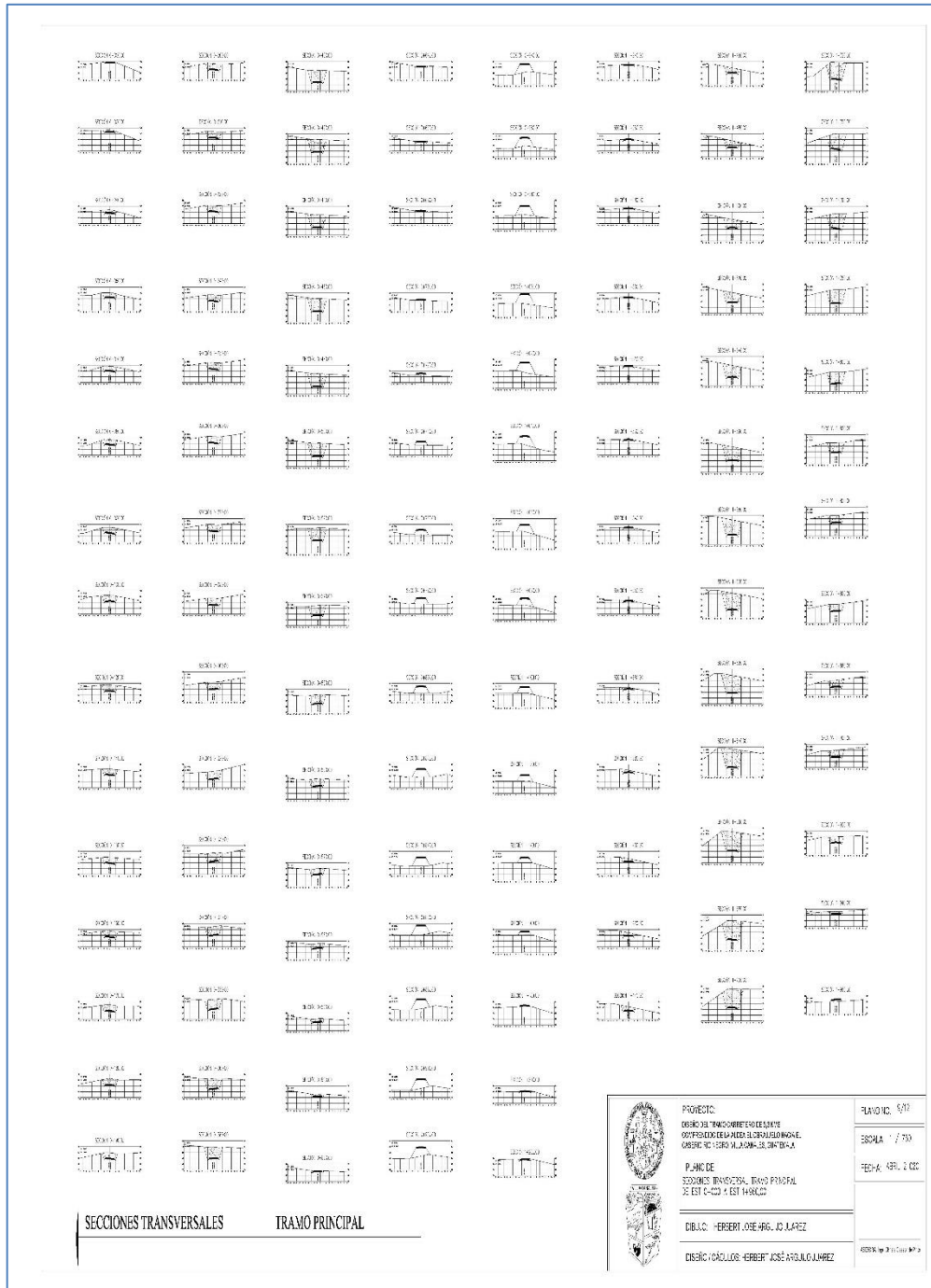
Continuación del apéndice 5.



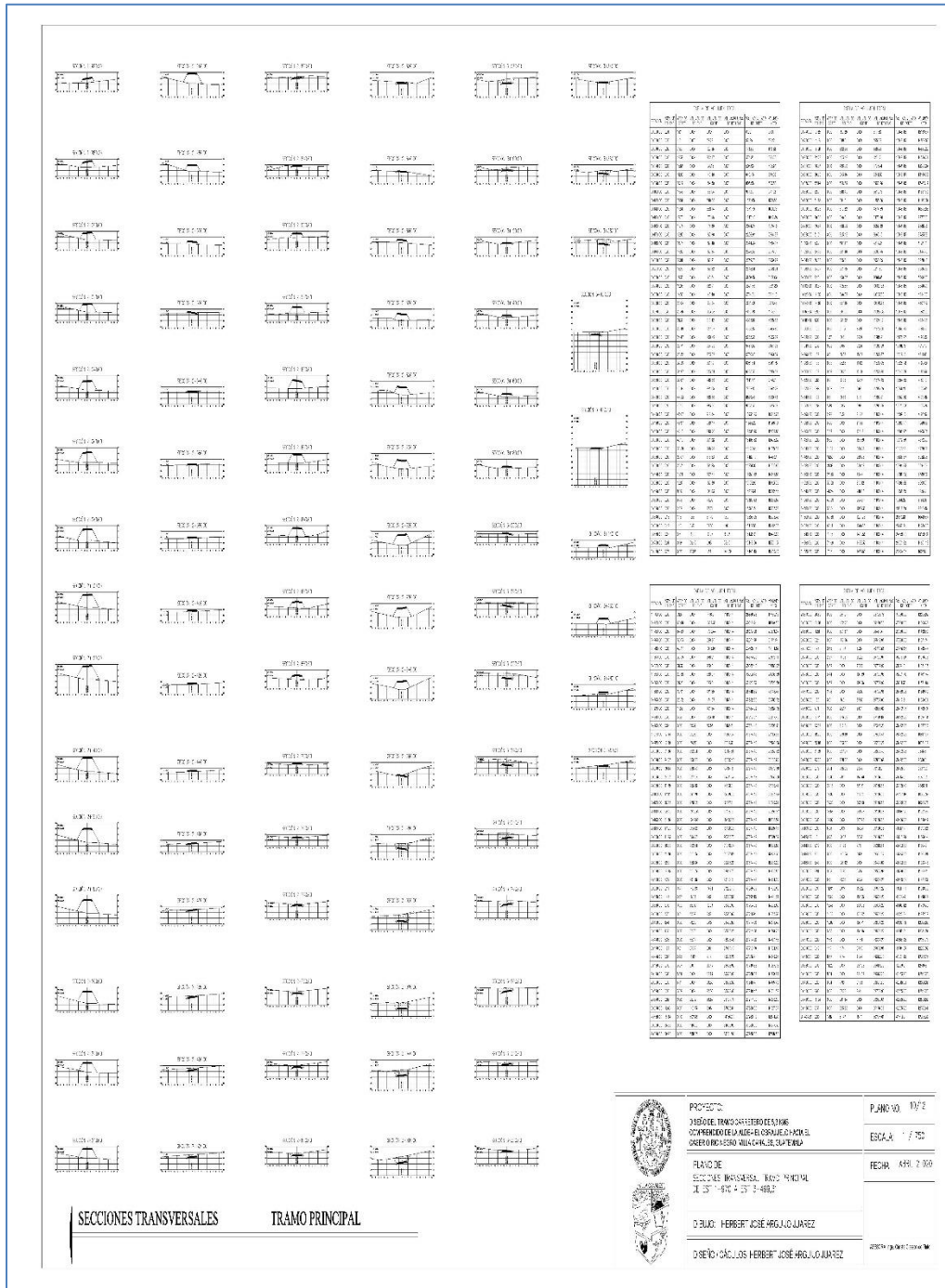
Continuación del apéndice 5.



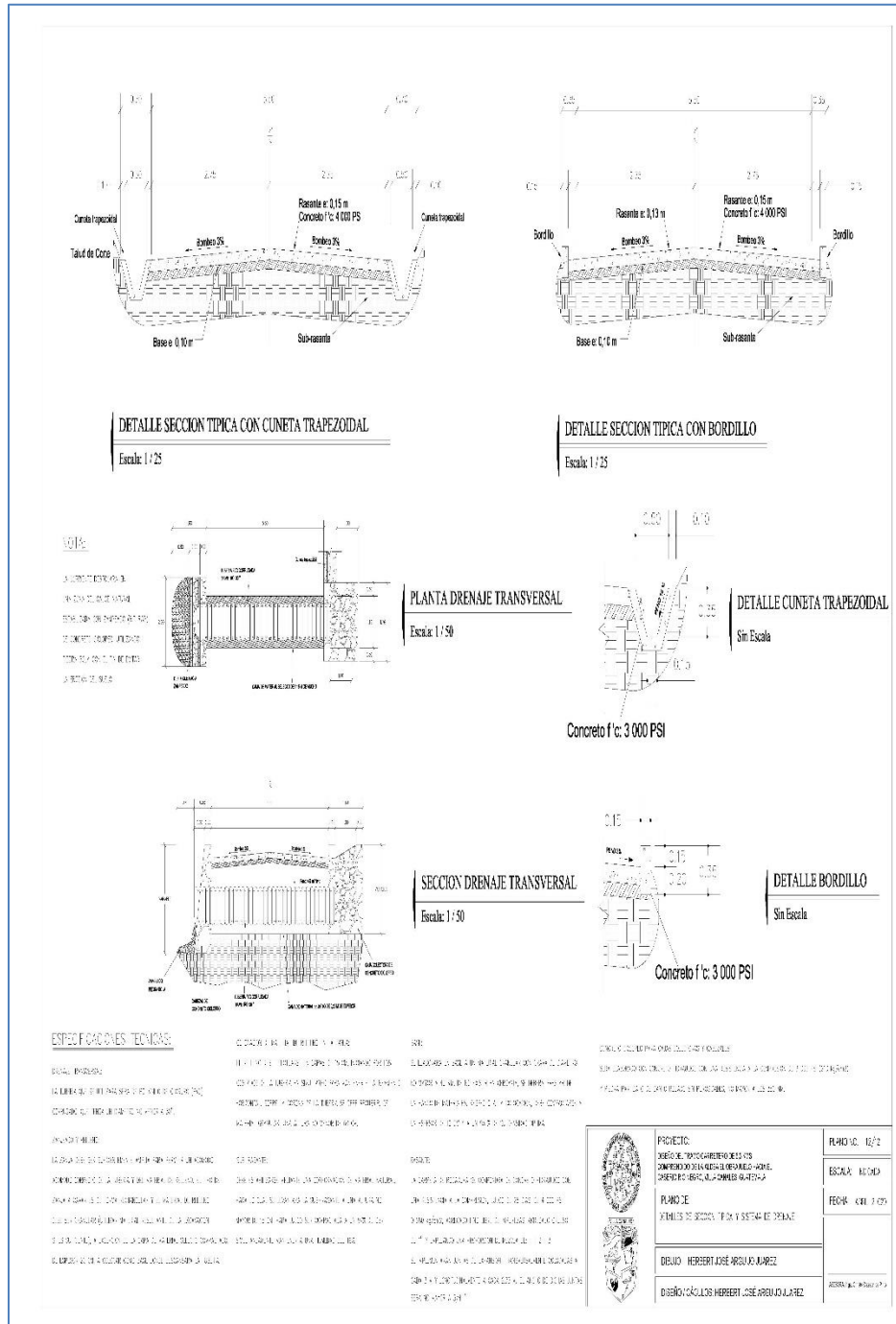
Continuación del apéndice 5.



Continuación del apéndice 5.




Continuación del apéndice 5.




Fuente: elaboración propia, empleando CivilCAD 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Ensayo de análisis granulométrico



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

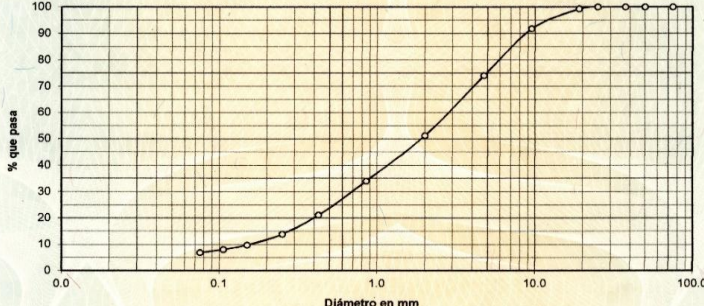


USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Informe No.: 320 S.S.A. O.T.: 39,967 **No. 17273**

Interesado: HERBERT JOSE ARGUIJO JUAREZ
 Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo
 Norma: ASTM D6913-04
 Proyecto: EPS "DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERIO RIO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA"
 Ubicación: MUNICIPALIDAD DE VILLA CANALES
 Fecha: martes, 03 de septiembre de 2019 Muestra: 1

Análisis con Tamices:					
Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75 mm	100.00	10	2.00 mm	51.25
2"	50 mm	100.00	20	850 µm	34.00
1 1/2"	37.5 mm	100.00	40	425 µm	21.15
1"	25 mm	100.00	60	250 µm	13.91
3/4"	19.0 mm	99.23	100	150 µm	9.78
3/8"	9.5 mm	91.76	140	106 µm	8.09
4	4.75 mm	74.10	200	75 µm	6.87

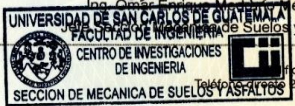


Descripción del suelo: ARENA CON GRAVA COLOR CAFÉ

Clasificación:	S.C.U.: SW-SM	% de Grava: 25.90	D10: 0.16 mm
	P.R.A.: A-2-4	% de Arena: 67.23	D30: 0.69 mm
		% de finos: 6.87	D60: 2.90 mm

Observaciones Muestra proporcionada por el interesado.
 * Diámetro efectivo no aplica.

Atentamente,
 Vo.Bo. *Inga. Teirma Maricela Cano Morales*
 DIRECTORA CIJUSAC





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCION DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Oficio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cij.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 2. Ensayo de límites de Atterberg

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

No. 17272

INFORME No. 319 S.S.A. O.T.: 39,967


Interesado: HERBERT JOSE ARGUIJO JUAREZ
Proyecto: EPS "DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERIO RIO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA"
Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG
Norma: AASHTO T-89 Y T-90
Ubicación: MUNICIPALIDAD DE VILLA CANALES
FECHA: martes, 03 de septiembre de 2019

RESULTADOS:


MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	N.P.	N.P.	ML	ARENA CON GRAVA COLOR CAFÉ

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

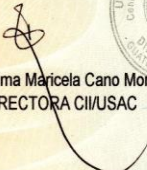
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.




Atentamente,


Ing. Omar Enrique Mejicano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos y Asfaltos


Vo.Bo.


Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC




FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Anexo 3. **Ensayo de compactación (proctor modificado)**



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



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

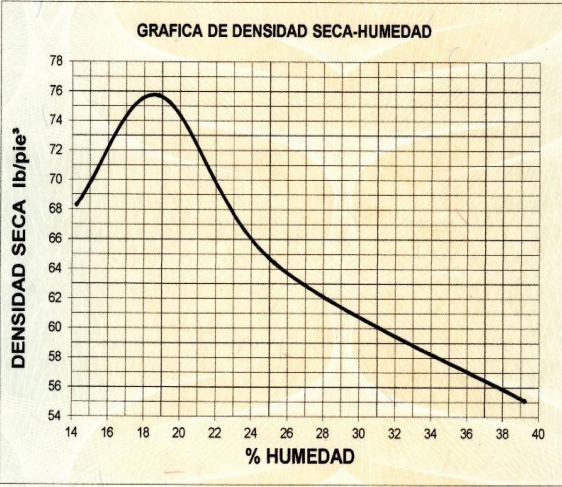
INFORME No. 321 S.S.A. O.T.: 39,967

No. 17274

Interesado: HERBERT JOSE ARGUIJO JUAREZ
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN. Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180
 Proyecto: EPS "DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERIO RIO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA"

Ubicación: MUNICIPALIDAD DE VILLA CANALES
 Fecha: martes, 03 de septiembre de 2019


GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD





% HUMEDAD	DENSIDAD SECA lb/ft³
14	68
16	72
18	75.7
20	72
22	68
24	65
26	63
28	61
30	59
32	57
34	56
36	55
38	54
40	53


Descripción del suelo: ARENA CON GRAVA COLOR CAFÉ
 Densidad seca máxima γ_d : 1,212.71 Kg/m³ 75.70 lb/ft³
 Humedad óptima Hop.: 18.75 %
 Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



 Vo.Bo.
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos y Asfaltos


 Inga. Teima Marcela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC





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




SECCION DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS


FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
9-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.

Anexo 4. Ensayo de razón soporte californiia (C.B.R)



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



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME No. 322 S.S.A. O.T. No. 39,967 **No. 17275**

Interesado: HERBERT JOSE ARGUIJO JUAREZ
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A. A. S. H. T. O. T-193
 Proyecto: EPS "DISEÑO DEL TRAMO CARRETERO DE 5,3 KMS COMPRENDIDO DE LA ALDEA EL OBRAJUELO HACIA EL CASERIO RIO NEGRO, VILLA CANALES, GUATEMALA"
 Ubicación: MUNICIPALIDAD DE VILLA CANALES
 Descripción del suelo: ARENA CON GRAVA COLOR CAFÉ
 Fecha: martes, 03 de septiembre de 2019


PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C	EXPANSION	C.B.R.
No.	No.	H (%)	γ_d (Lb/pe ³)	(%)	(%)	(%)
1	10	18.32	67.57	89.3	0.13	8.36
2	25	18.32	68.81	90.9	0.02	10.02
3	56	18.32	73.53	97.1	0.11	43.63

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

% DE COMPACTACIÓN	% DE C.B.R.
89	8.36
91	10.02
97.1	43.63


Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,




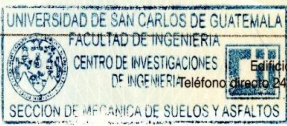
Ing. Omar Enrique Madrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos y Asfaltos

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CI/USAC





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCION DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio Emilio Beltránena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono: 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. USAC.