



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudio de Postgrado
Maestría en Artes en Ingeniería Vial

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MENOR, POR CAMBIO DE USO DE SUELO
DE LAS CUENCAS, CASO: RN-13 EN EL TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA –
GÉNOVA COSTA CUCA**

Ing. Héctor Enrique Rodríguez Castro

Asesorado por el M.A. Ing. Hugo Estuardo Gálvez Villanueva

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MENOR, POR CAMBIO DE USO DE SUELO
DE LAS CUENCAS, CASO: RN-13 EN EL TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA –
GÉNOVA COSTA CUCA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. HÉCTOR ENRIQUE RODRÍGUEZ CASTRO
ASESORADO POR EL M.A. ING. HUGO ESTUARDO GÁLVEZ VILLANUEVA

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, MARZO DE 2022

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. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. César Augusto Castillo Morales
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:

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MENOR, POR CAMBIO DE USO DE SUELO DE LAS CUENCAS, CASO: RN-13 EN EL TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA – GÉNOVA COSTA CUCA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 07 de julio de 2021.

Ing. Héctor Enrique Rodríguez Castro

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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MENOR, POR CAMBIO DE USO DE SUELO DE LAS CUENCAS, CASO: RN-13 EN EL TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA – GÉNOVA COSTA CUCA**, presentado por: **Héctor Enrique Rodríguez Castro**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería vial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada 
Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, marzo de 2022

LNG.EEP.OI.194.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MENOR, POR CAMBIO DE USO DE SUELO DE LAS CUENCAS, CASO: RN-13 EN EL TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA – GÉNOVA COSTA CUCA”

presentado por **Héctor Enrique Rodríguez Castro** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería vial** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 8 de noviembre de 2021

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que se ha revisado y APROBADO la siguiente TESIS DE GRADUACIÓN titulada: "OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MENOR POR CAMBIO DE USO DE SUELO DE LAS CUENCAS, CASO: RN-13 EN EL TRAMO: MIRAMAR - FLORES COSTA CUCA - GÉNOVA COSTA CUCA" del estudiante Héctor Enrique Rodríguez Castro, quien se identifica con número de carné 100021043, del programa de Maestría en Ingeniería Vial.

Con base en la evaluación realizada, se hace constar que se ha evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014.

Por lo anterior, se entrega con la presente, la hoja de evaluación aprobada por el docente del curso y toda la documentación administrativa de respaldo, para su aprobación correspondiente por parte de la Escuela de Estudios de Postgrado.

Sin otro particular

Vo. Bo. Msc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador Área Estructuras
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Guatemala, noviembre 08 de 2021

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que, como ASESOR, he revisado y aprobado la siguiente **TÉSIS DE GRADUACIÓN** del (la) alumno (a):

Carné: 100021043
Alumno: Héctor Enrique, Rodríguez Castro
Maestría: Ingeniería Vial
Título de la Investigación: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE MENOR, POR CAMBIO DE USO DE SUELO DE LAS CUENCAS, CASO: RN-13 EN EL TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA – GÉNOVA COSTA CUCA.

En este sentido, extendiendo el Visto Bueno correspondiente, para el cumplimiento de requisitos de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Asimismo, se hace constar que el estudiante cumplió con el pago de los honorarios profesionales de asesoría de dicha tesis de graduación.

Sin otro particular


M.A. Ing. Hugo Estuardo, Gálvez Villanueva
Asesor

Hugo Estuardo Gálvez Villanueva
MA. INGENIERO CIVIL
Colegiado 9546

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser mi roca, mi fuerza y mi luz. Nadie enciende una lámpara y la pone en un lugar escondido, ni la oculta en una vasija, sino que la pone en el candelero para que alumbre a los que entren. Cuida, por tanto, de que la luz que hay en ti no esté apagada (Lucas 11: 33;35).

Virgen María

Mi amada y buena madre, ejemplo de obediencia y amor a Dios.

Mis Padres

Carlos Rodríguez y Alba Castro de Rodríguez, por educarme de una manera extraordinaria, enseñándome a anteponer la honradez y el amor al prójimo en cada decisión que tomé.

Mis Abuelos

Berta Rodríguez (q. d. e. p.), Marcelino Castro (q. d. e. p.) y María Escobar, mis ejemplos de lucha, esfuerzo y perseverancia, gracias por llenarme de amor y cariño.

Mis Hermanos

Roberto Rodríguez y Alex Tschinkel, por ser el contrapeso que necesito para apreciar y disfrutar la vida de manera distinta, gracias por estar presentes en mi vida, los quiero mucho.

Esposos

María Castro y Henry Tschinkel (q. d. e. p.) por el respaldo que siempre me han dado y por creer en todo momento en mis capacidades motivándome a superarme constantemente.

Especialmente

Jorge Alonzo, por animarme y motivarme a cerrar el ciclo de maestría, sos un ejemplo para los que tenemos la oportunidad de estar cerca de tu persona. Olga Guzmán, Zoily Farfán, Jaqueline Castellanos, Carolina Santizo, Dalila Tahal, mujeres con valor y de éxito, por su amistad sincera, confianza plena y por sacarme una sonrisa cuando más lo he necesitado. Se les quiere bastante.

Mis compañeros

Gerber López (q. d. e. p.) y William Pérez, por todas las madrugadas, kilómetros recorridos y aventuras cada fin de semana para lograr nuestro sueño de estudiar una maestría.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser un faro de luz y enseñanza para Guatemala y por proveerme de las herramientas para labrar mi camino profesional.
Mi tío	Mario Rodríguez, por tu apoyo y presencia a lo largo de mi vida.
Mi asesor	M.A. Ing. Hugo Gálvez, por ayudar a nutrir el presente documento con tu experiencia y conocimiento.
Mi revisor	M.A. Ing. César Castillo, por su dirección, aportación y esmero para que este trabajo de graduación se realizará de la mejor forma.
Tecnología y Normas S.A.	A su personal técnico, administrativo y junta directiva, especialmente al Arq. Rolando Rodríguez y Arq. José M. Herrera por la confianza depositada en mi persona y permitir desarrollarme profesionalmente con la mayor libertad.

**Jefes y compañeros
de trabajo**

Ing. Francisco Torres, Ing. Raúl Alvarado, Ing. Jorge Figueroa, Danilo Pinto, Rudy Taylor (q. d. e. p.), Mario Barrientos, Arody González, José Florián, Hogler Herrera, Edy Flores, por compartir sus conocimientos, experiencia y sabiduría con mi persona. Estaré siempre agradecido con cada uno de ustedes.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Inicios de los drenajes en carreteras	1
1.2. Descripción de elementos de drenaje menor en una carretera.	4
1.2.1. Cuneta	4
1.2.2. Contracuneta	9
1.2.3. Tubería transversal	10
1.2.4. Bordillo.....	12
1.2.5. Subdrenaje	14
1.2.6. Disipadores de energía.....	17
1.2.7. Cajas	18
1.2.8. Cabezales.....	19
1.2.9. Hombro	21
2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA RN – 13 TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA – GÉNOVA COSTA CUCA.....	23
2.1. Características climatológicas del tramo carretero.	27

2.1.1.	Ubicación de estación meteorológica	28
2.1.2.	Temperatura	28
2.1.3.	Humedad relativa	30
2.1.4.	Velocidad y dirección del viento	30
2.1.5.	Precipitación	32
2.2.	Características topográficas del tramo	32
2.2.1.	Levantamiento topográfico	33
2.3.	Inventario de obras de drenaje	35
2.3.1.	Inventario de tuberías	36
2.3.2.	Inventario de cunetas longitudinales extremo izquierdo	37
2.3.3.	Inventario de cunetas longitudinales extremo derecho	39
3.	DESARROLLO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA RN-13 TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA – GÉNOVA COSTA CUCA	41
3.1.	Método racional	41
3.2.	Coeficiente de rugosidad C	43
3.3.	Intensidad de lluvia	44
3.3.1.	DIF para período de retorno 5 años	48
3.3.2.	DIF para período de retorno 10 años	48
3.3.3.	DIF para período de retorno 25 años	50
3.3.4.	Gráfica de curvas DIF	50
3.4.	Delimitación de cuencas hidrográficas	51
3.5.	Determinación de caudales	54
3.5.1.	Caudal para cuenca C-1	56
3.5.2.	Caudal para cuenca C-2	56
3.5.3.	Caudal para cuenca C-3	56

3.5.4.	Caudal para cuenca C-4	57
3.5.5.	Caudal para cuenca C-5	58
3.5.6.	Caudal para cuenca C-6	58
3.5.7.	Caudal para cuenca C-7	59
4.	PROPUESTA DE OBRAS DE DRENAJE MENOR EN TRAMO CARRETERO	61
4.1.	Determinación de diámetros de tuberías con caudales de cuencas.	61
4.2.	Determinación de caudal y sección de cunetas.....	64
4.2.1.	Cálculo de caudal para drenaje longitudinal	65
4.2.2.	Cálculo de sección de cuneta	70
4.3.	Propuesta de estructuras.....	72
4.3.1.	Hombro	73
4.3.2.	Tuberías	73
4.3.3.	Cunetas	74
4.3.4.	Cajas y cabezales.....	76
4.3.5.	Disipadores de energía.....	77
4.4.	Mantenimiento	78
4.4.1.	Hombros	78
4.4.2.	Tuberías	79
4.4.3.	Cunetas	79
4.4.4.	Cajas y cabezales.....	80
4.4.5.	Disipadores de energía.....	81
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	85
	REFERENCIAS	87
	APÉNDICES	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ejemplo de calzada romana 300 a.C.	2
2.	Ejemplo de la sección convexa de Trésaguet.....	3
3.	Tipo de cunetas.....	6
4.	Ejemplo de ubicación de contracuneta en carretera	10
5.	Vista en sección de tubería transversal.....	11
6.	Ejemplo de localización de bordillo en sección de carretera	13
7.	Detalle de bordillo.....	14
8.	Ejemplo de ubicación de subdrenaje.....	16
9.	Componentes de subdrenaje con geotextil y tubería perforada	16
10.	Ejemplo de ubicación de un dissipador de energía.....	17
11.	Caja cuadrada de dimensiones (alto, ancho y largo) variables	19
12.	Ubicación de cabezal en sección de carretera	20
13.	Vista de cabezal y sus componentes	21
14.	Ejemplo de ubicación de Hombro	22
15.	Mapa de ubicación de tramo carretero.....	24
16.	Vista de tramo estación 4 + 900.....	25
17.	Escurrimiento de agua sobre pavimento, estación 6 + 100.....	26
18.	Tubería azolvada, estación: 0 + 440	27
19.	Sección de tramo carretero	34
20.	Estación 7 + 640 a estación 7 + 795	35
21.	Porcentaje según diámetro de tubería existente	37
22.	Curvas de intensidad de lluvia	51
23.	Delimitación de cuencas hidrográficas	52

24.	Sección de cuneta propuesta estación 0+300 a 0+520 L/I	72
25.	Ejemplo de dissipador de energía	78

TABLAS

I.	Velocidades máximas según superficie	5
II.	Valores n factor de rugosidad	8
III.	Temperatura promedio por mes y año	29
IV.	Temperatura mínima promedio por mes y año	29
V.	Temperatura máxima promedio por mes y por año.	29
VI.	Registro de humedad relativa promedio	30
VII.	Velocidad del viento promedio por mes y año	31
VIII.	Dirección del viento promedio por mes y año	31
IX.	Precipitación promedio por mes y año	32
X.	Tuberías existentes en tramo carretero	36
XI.	Inventario de cunetas longitudinales, lado izquierdo.....	38
XII.	Inventario de cunetas longitudinales, lado derecho	39
XIII.	Coeficientes de escorrentía	43
XIV.	Estaciones meteorológicas Insivumeh.....	46
XV.	Características de estación meteorológica Retalhuleu	47
XVI.	Parámetros A, B, n para estación Retalhuleu	47
XVII.	Intensidad de lluvia para período de retorno 5 años	48
XVIII.	Intensidad de lluvia para período de retorno 10 años	49
XIX.	Intensidad de lluvia para período de retorno 25 años	50
XX.	Características de cuencas hidrográficas	53
XXI.	Estación de escorrentía por cuenca.....	53
XXII.	Tiempos de concentración de cuencas.....	55
XXIII.	Caudales de cuencas	59
XXIV.	Coeficientes n de Manning	62

XXV.	Diámetro de tuberías para cada cuenca	64
XXVI.	Coefficiente de escorrentía K (C)	66
XXVII.	Coefficiente de retardo Cr según superficie	66
XXVIII.	Listado total de tuberías propuestas	73
XXIX.	Propuesta de áreas de cunetas lado izquierdo	74
XXX.	Propuesta de áreas de cunetas lado derecho.....	75
XXXI.	Propuesta de cajas y cabezales.....	76
XXXII.	Propuesta de puntos de disipadores de energía.....	77

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
C	Coefficiente de escorrentía de Manning
K	Coefficiente de escorrentía para cálculo de cunetas
C _r	Coefficiente de retardo
φ	Diámetro
Δ	Diferencia
°	Grados
°C	Grados Celsius
h	Hora
K	Kilómetro
m	Metro
mm	Milímetro
'	Minutos
%	Porcentaje
''	Segundos
π	Símbolo matemático Pi equivalente a 3.141592

GLOSARIO

Azolvar	Obstruir o cegar con algún material un conducto o cañería.
Berma	Plataforma o paso estrecho que se deja en los cortes de montañas para el paso de una carretera, evita el desmoronamiento del talud.
Bocacosta	Porción de tierra angosta que atraviesa el país desde el departamento de San Marcos hasta el departamento de Jutiapa con clima semi cálido y sin estación fría definida.
d.C.	Después de Cristo.
Depto.	Departamento.
DGC	Dirección General de Caminos.
Empozar	Acción de retención de agua en un punto, provocando charcos o pozas.
Esviaje	Oblicuidad del eje respecto a la dirección de frente en una obra.

ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.
IDF	Intensidad, Duración y Frecuencia.
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
MPa	Mega Pascal, unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades, es la presión que ejerce una fuerza (Newton) sobre una superficie (metro).
msnm	Metros sobre el nivel del mar.
plg	Pulgada.
psi	Libra sobre pulgada cuadrada (por sus siglas en inglés).
Pluviómetro	Instrumento que mide la cantidad de agua que cae en un lugar y tiempo determinado.
Sinuoso	Que tiene vueltas o recodos, estructura accidentada del terreno.
Tiempo de concentración (T_c)	Tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca aporten agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida de esta.

T_r

Tiempo de retorno.

Ur

Ciudad antigua del sur de Mesopotamia.

RESUMEN

Guatemala es un país que está expuesto y vulnerable a los desastres naturales producidos por el cambio climático que debido a la actividad humana no cesa, por el contrario, cada día es un problema que crece para el mundo entero poniendo en riesgo la infraestructura del país.

El tramo carretero de la Ruta Nacional Trece (RN-13) específicamente desde el cruce de Miramar (entronque con la CA-02 Occidente a la altura del km 209 + 060) – Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca fue construido en el año 1972 y parte de sus obras de drenaje menor datan de ese mismo año, por lo que para el año en curso las estructuras en su gran mayoría son obsoletas e insuficientes.

En el presente documento se expone el estado del sistema de drenaje menor actual de todo el tramo carretero, inventariando el tipo y cantidad de las obras existentes, así como el estado de cada una de ellas, previamente conociendo la importancia que civilizaciones antiguas le dieron a la evacuación de agua en los caminos que construían, también enlistando todas las estructuras que pueden llegar a formar parte de un sistema de drenaje menor dentro de una carretera en la actualidad.

Para realizar el estudio fue importante tener un conocimiento amplio de la región donde está ubicada la carretera tal como la topografía del lugar, información climatológica, uso del suelo, entre otros. ya que a través de advertir las características del lugar se pudo establecer de una mejor manera todas las variables a considerar dentro del mismo.

Contando con todos los datos que aportan información importante que afecta al tramo carretero se pudo determinar las cuencas, intensidad de lluvia, coeficientes de escorrentía, y a través de la fórmula del método racional calcular los caudales que forman flujo proveniente de una precipitación, para la cual se calcularon las dimensiones de las estructuras que deben evacuar el agua del área del pavimento con la ayuda de las fórmulas de velocidad de Manning, caudal de Chezy y radio hidráulico.

A través de los resultados del estudio hidrológico y análisis hidráulico es que se hace una propuesta de mejoramiento y optimización del sistema de drenaje menor en el tramo carretero sometido a estudio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La insuficiencia de estructuras de drenaje menor en el tramo vial en estudio genera una evacuación lenta y desordenada de los fluidos que llegan a la misma, ocasionando deterioro prematuro de la estructura de pavimento.

Lo anterior repercute en la filtración de líquidos a la estructura del pavimento provocando el deterioro de las diferentes capas de material que lo componen.

Las estructuras de drenaje de las carreteras al pasar los años se deterioran por lo que su funcionamiento se ve reducido o anulado en el peor de los casos, algunas veces los elementos se ven anulados por la actividad de los habitantes que se instalan en las orillas de los tramos carreteros y/o por la falta de mantenimiento a los mismos, esto coloca en un estado vulnerable al pavimento y su estructura al ocurrir las precipitaciones.

Al no funcionar el sistema de drenaje menor, se reflejan diferentes tipos de problemas dentro de la carretera tal como erosión a las orillas de la misma, debilitando los extremos de la estructura del pavimento, al correr el agua sobre el pavimento se expone a este a que se infiltre agua a la estructura en áreas donde hay fisuras o grietas lo que eventualmente por la saturación de suelos se convierte en hundimientos u hoyos (baches) que pueden llegar a ocasionar accidentes a quienes transitan por el tramo.

También en las partes donde la carretera está en alto es decir la carretera está sobre un relleno, al no contar con estructuras que evacuen el agua de forma correcta, la misma puede llegar a erosionar y socavar la propia estructura de la carretera al debilitar las bases del relleno. En unos tramos donde el paso de la cuneta ha sido estrangulado o sellado el corrimiento del agua, esta salta a la carretera y cruza hacia el otro extremo corriendo sobre el área de rodadura arrastrando con ella materiales de diverso tipo y al pasar vehículos dañan el pavimento y aceleran su deterioro, esto la mayoría de las veces repercute de tal manera en el pavimento que puede generar un tráfico lento en el lugar o en el peor de los casos provoca una zanja de dimensiones considerables que impide la circulación de vehículos pequeños.

Por lo anterior, se plantea la siguiente interrogante principal:

¿Puede un sistema de drenaje menor diseñado según las variables hidráulicas actuales del lugar resolver los problemas que genera la inoperatividad del sistema vigente? Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Puede el inventario vial, generar un panorama de lo que se encuentra en la carretera relacionado con las obras de drenaje?
- ¿Puede la actividad humana en los terrenos vecinos interferir con el buen funcionamiento de un sistema de drenaje menor dentro de una carretera?
- ¿Determinan las precipitaciones el buen funcionamiento de un drenaje menor de un tramo carretero?

- ¿La falta de mantenimiento en las diferentes obras de drenaje en una carretera puede hacer que colapsen las mismas, así como la estructura del pavimento?

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de drenaje menor, considerando las variables hidráulicas que influyen en la operatividad del mismo tramo carretero.

Específicos

- Evaluar el sistema de drenaje menor en el tramo carretero, con fin de enumerar los elementos existentes y su operatividad.
- Detallar la usanza de propiedades paralelas a la longitud del tramo, para identificar áreas con acciones antropogénicas.
- Analizar los registros estadísticos de precipitación en el área, a fin de deducir el comportamiento en las cuencas.
- Recomendar un plan de mantenimiento, que contribuya a la buena operación del sistema.

INTRODUCCIÓN

Las vías de comunicación terrestres, específicamente las carreteras, son importantes para los países y sus poblaciones ya que por medio de estas se genera en gran medida el comercio que promueve el desarrollo de las comunidades y sus habitantes. En Guatemala la red vial es de suma importancia porque garantiza la comunicación en todo el territorio nacional, por tal motivo es importante que la misma se mantenga en condiciones aceptables para asegurar la libre locomoción de los automotores que en ella transitan.

Uno de los factores que amenazan la integridad de las carreteras y ponen en riesgo la serviciabilidad de las mismas es el escurrimiento desordenado del agua en los eventos de precipitación, además de la falta de estructuras de drenaje que desfogue de una manera rápida el líquido del área del pavimento. El cambio del uso del suelo de las cuencas aledañas a las carreteras es otro factor que influye en que una estructura se vuelva insuficiente y obsoleta para las condiciones actuales de precipitación y escorrentía.

Es importante que los sistemas de drenaje menor en los tramos carreteros sean evaluados en períodos cortos de tiempo para evidenciar los problemas que pueden afectar las estructuras, es únicamente advirtiendo la probabilidad de una eventual dificultad que se puede prevenir el colapso de una vía terrestre lo cual repercute inicialmente en el área donde se encuentra el problema pero que puede influir en las vías progreso de un país entero.

Con base en lo expuesto es que se hace el estudio del tramo carretero tomando en cuenta todos los factores que influyen dentro de un sistema de drenaje menor, inspeccionando inicialmente la densidad de elementos con que cuenta y el estado de los mismos. Hacer un reconocimiento del área para determinar las cuencas y uso del suelo de las mismas que aportan escorrentía a la carretera y las áreas con necesidad de elementos de desagüe, así como conocer las características climatológicas para establecer una intensidad de lluvia que se ajuste a la realidad de la región y por medio de estos determinar el caudal que puede llegar afectar en un período de retorno determinado contribuye a que se realice un análisis apegado a la realidad actual.

Contando con toda la información necesaria es que se logra hacer todos los cálculos necesarios para determinar los elementos de drenaje y las secciones de los mismos que se ajusten y sean suficientes para el caudal de agua que es necesario desfogar por fuera de la estructura del pavimento.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Inicios de los drenajes en carreteras

La necesidad de la humanidad de movilizarse de un poblado a otro generó la construcción de caminos que en inicio fueron veredas para el paso únicamente de personas, posteriormente y con la finalidad de comercializar entre las poblaciones nació la idea de ampliar los caminos peatonales para que sobre los mismos también pudieran movilizarse animales que ayudarán a transportar los cargamentos que se traficaban de un pueblo a otro.

Los caminos eran rudimentarios ya que se construían o delimitaban sobre el material de suelo que se encontraba por donde pasaran, estos no contaban con ningún tipo de pavimentación por lo tanto ni drenaje, esta limitante complicaban el tránsito por los caminos en épocas de lluvia ya que se convertían en pesadilla por el fango que se generaba el cual dificultaba el paso por las áreas donde se acumulaba el agua, caso contrario en época de verano donde los caminos generaban nubes de polvo a causa del material suelto y el aire en el lugar.

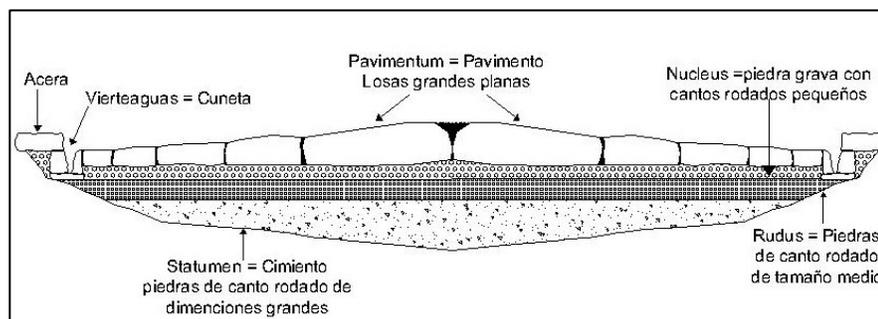
Los primeros caminos pavimentados datan 4000 años a.C., y fueron encontrados en la ciudad de Ur, Mesopotamia según Motor y Dominio (2017) también se expone en el mismo documento que 3000 años a.C., en la India se inicia con la colocación de ladrillos sobre los caminos para impermeabilizar los mismos.

El imperio romano es un referente en cuanto a la pavimentación de sus caminos protegiéndolos del agua, calzadas como las encontradas en la ciudad de Herculano y la Vía Apia (entre Nápoles y el puerto de Brindisi) la cual fue de las más importantes de este imperio, se construyó aproximadamente en el año 312 a.C., y era conocida como y llamada la reina de las calzadas al extenderse hasta 400 km. de longitud.

Los caminos o calzadas de los romanos florecieron como la primera red de caminos en el mundo a través de estos se debía garantizar el desplazamiento de las tropas del imperio, así como expandirse de forma cultural como económica. Para esto también al momento de ejecutar la obra se debían utilizar los mejores materiales y técnicas para que perduraran con el paso del tiempo con el mínimo de mantenimiento.

Las calzadas eran construidas de manera que ellas mismas desfogaran el agua hacia los costados desde el centro y cada extremo contaba con un canal que recogía el agua que caía sobre el pavimento.

Figura 1. **Ejemplo de calzada romana 300 a.C.**



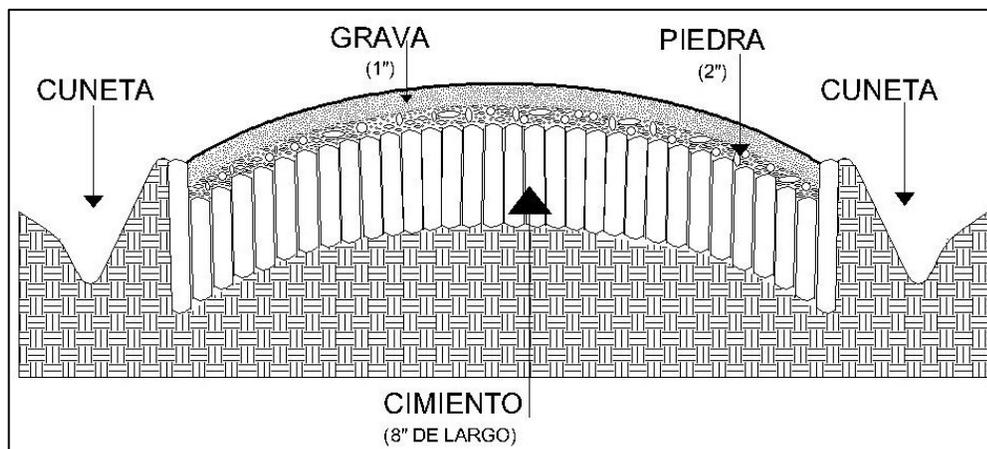
Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020. Con datos obtenidos de Cultura10. (s.f.). *Calzada Romana: Caminos que conducen a la unificación imperial*. Consultado el 20 de agosto de 2021. Recuperado de <https://www.cultura10.org/romana/calzada/>.

Ya en la era actual (d.C.) los países europeos comienzan a florecer y prosperar económicamente, lo que hace necesario el comercio entre ciudades, esto impulsa a tener un nuevo esplendor la construcción de carreteras.

Es en la primera mitad del siglo XIII en Francia nace el ingeniero Pierre Marie Jerome Trésaguet quien en la segunda mitad del mencionado siglo alcanza el grado de inspector de puentes y calzadas además de ser el autor del primer plan de construcción y mantenimiento de Francia.

Trésaguet en el trazo de sus calzadas toma en cuenta el bombeo de las mismas dándoles un perfil convexo a la sección para provocar el escurrimiento de agua hacia los costados, la sección de Trésaguet incluye cunetas para la captación del agua proveniente de la carretera, en la ilustración siguiente se puede apreciar dicha sección.

Figura 2. **Ejemplo de la sección convexa de Trésaguet**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020. Con datos obtenidos de Delphipages. (2020). *Carreteras y Carreteras*. Consultado el 20 de agosto de 2021. Recuperado de <https://delphipages.live/tecnologia/automoviles-y-otros-vehiculos/road>.

1.2. Descripción de elementos de drenaje menor en una carretera

La eliminación del agua de una carretera de forma exitosa depende de un diseño adecuado del sistema de drenaje menor (superficial y subterráneo), estos elementos deben de adaptarse a las condiciones topográficas del lugar y deben dimensionarse tomando en cuenta las características climatológicas del lugar, tomando en cuenta estas variables (topografía y condiciones climáticas) determinan en gran medida la serviciabilidad del sistema y por consiguiente el éxito o fracaso del mismo.

El sistema de drenaje menor de una carretera está conformado por varios elementos, los cuales tienen como finalidad alejar la humedad de la estructura de una carretera y con esto minimizar el deterioro y riesgos a la hora de transitar sobre la misma, a continuación, se describen cada uno de los elementos

1.2.1. Cuneta

Las cunetas son elementos que se colocan paralelos a la carretera, son canales abiertos que captan el agua proveniente de la carretera e interceptan el agua del exterior que en algún momento puede llegar al pavimento, estos elementos conducen el agua a lugares lejanos donde no represente ningún riesgo, en determinadas circunstancias las cunetas desfogon el agua en cajas de concreto en el punto de entrada de tuberías transversales o en los puntos de salida de las mismas.

La sección transversal de una cuneta es variable y muchas veces debe ajustarse al terreno en los costados de la carretera, las formas más comunes son la denominada tipo L, trapezoidal y cuadrada, como se aprecia en la figura 3. Estas regularmente tienen la misma pendiente que la subrasante. Debe tomarse

en cuenta que, si la pendiente longitudinal de la cuneta es muy pronunciada, deben de construirse pequeños disipadores de energía que contribuyan a disminuir la fuerza del agua para evitar socavaciones en el lugar.

Las cunetas pueden estar revestidas o sin revestimiento, regularmente las cunetas no revestidas se encuentran en caminos de terracería. Para recubrir estos elementos “se puede usar piedra ligada con mortero, concreto simple fundido en sitio clase 2,000 psi o con mezclas asfálticas” (Dirección General de Caminos, 2001, p. 608-1). Estos elementos deben de construirse respetando los lineamientos de acuerdo a la sección 608 de las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la DGC.

Para Kraemer *et. al.* (2004) es recomendable que el agua no circule por más de 250 m en un canal o cuneta, se debe de buscar la forma de retirar el agua de una forma rápida ya sea a pequeños zanjones o a los puntos de entrada o salida donde se encuentran ubicadas las tuberías transversales. También es aconsejable no sobrepasar la velocidad del agua dentro de la cuneta según la superficie de la misma, de manera que no haya erosión debido al escurrimiento del agua, en la tabla I se estipulan las velocidades máximas según la naturaleza de la superficie.

Tabla I. **Velocidades máximas según superficie**

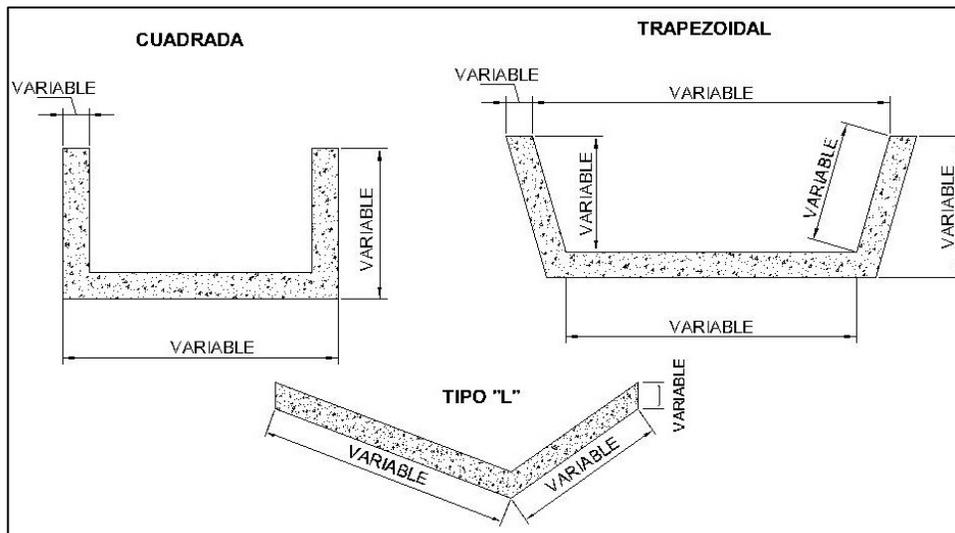
Superficie	Velocidad máxima admisible (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.2 – 0.6
Arena arcillosa dura, margas duras	0.6 – 0.9
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.6 – 1.2
Arcilla	1.2 – 2.0
Grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.2 – 1.5
Hierba	1.2 – 1.8

Continuación tabla I.

Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.4 – 3.0
Mampostería, rocas duras	3.0 – 5.0
Hormigón (de buena calidad)	4.5 – 9.0

Fuente: Kraemer *et al.*, (2004). *Ingeniería de Carreteras*.

Figura 3. Tipo de cunetas



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

“Una velocidad mínima aceptable dentro de una cuneta o canal, es aquella que no produce sedimentación dentro de la misma y no genera procesos de crecimiento de plantas y musgo”. (Chow, 1994, p. 155). El mismo expone que esta velocidad es muy difícil de determinar con exactitud, pero recomienda una velocidad mínima dentro del canal de entre 0.61 y 0.91 m/s para evitar que crezca vegetación y se vea disminuida la capacidad de la cuneta.

Para un canal (cuneta) rectangular de base 0.60 m y paredes verticales de 0.30 m que cuenta con un radio hidráulico de 0.15 m y construido de concreto, se utiliza la fórmula de Chezy (ecuación 1) y coeficiente C de Manning (ecuación 2) para poder encontrar las pendientes máximas y mínimas (ecuación 3) de una cuneta para evitar que tenga los problemas expuestos.

$$V = C \sqrt{R * S} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

V = Velocidad media

C = Coeficiente

R = Radio hidráulico

S = Pendiente

El coeficiente C de Manning está dado por la siguiente expresión:

$$C = \frac{1}{n} * R^{1/6} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

n = Factores de rugosidad

R = Radio hidráulico

Tabla II. **Valores n factor de rugosidad**

Tipo de Recubrimiento	n (según Manning)
Tierra bien cernida	0.020
Césped con más de 15 cm de profundidad de agua	0.040
Césped con menos de 15 cm. de profundidad de agua	0.060
Revestimiento rugoso de piedra	0.040
Cunetas pavimentadas de hormigón	0.016

Fuente: Tobar (1981). *Construcción de carreteras*.

Se sustituye la ecuación 2 en la ecuación 1 y se despeja la misma para encontrar la pendiente S. Se cuenta con las velocidades máxima (4.5 m/s según recomendación en tabla I) y mínima 0.91 m/s según Chow (1994), el radio hidráulico de 0.15 metros, factor de rugosidad n de 0.016, se encontrará la pendiente máxima y mínima que debe prevalecer en una cuneta.

$$S = \frac{V^2 \cdot n^2}{R^{(4/3)}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Utilizando velocidad máxima de 4.5 m/s en ecuación 3:

$$S = \frac{4.5^2 \cdot 0.016^2}{0.15^{(4/3)}} = 0.065 = 6.5 \%$$

Utilizando velocidad mínima igual a 0.91 m/s en ecuación 3:

$$S = \frac{0.91^2 \cdot 0.016^2}{0.15^{(4/3)}} = 0.0027 = 0.3 \%$$

Se tomaron valores prudentes y conservadores de velocidad que generan los resultados anteriores los cuales determinan que las pendientes de una cuneta revestida de concreto para que el agua circule sin tener riesgos de sedimentación o erosión dentro de la sección de la misma deben de estar en el rango comprendido entre 0.3 % y 6.5 %.

1.2.2. Contracuneta

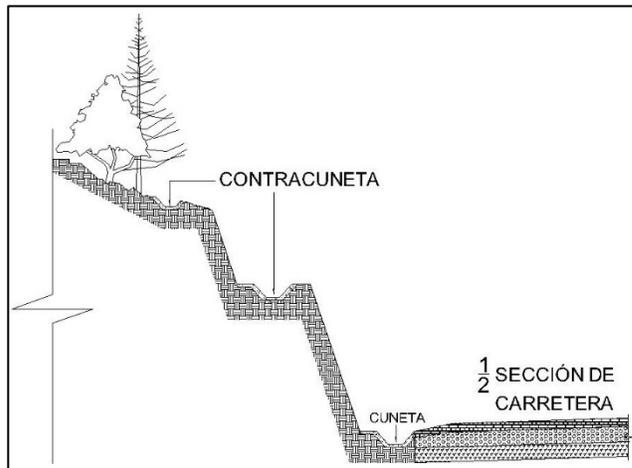
No son más que cunetas que se colocan estratégicamente en las bermas o terrazas formadas en áreas de corte, para interceptar la escorrentía de lluvia que cae en los terrenos arriba de la montaña cortada, con el propósito que no escurra y llegue hasta la carretera, con la fabricación de estos elementos se prevé el ordenamiento del agua y se evita la saturación del suelo en los cortes.

“Las secciones de las contracunetas al igual que las cunetas son de forma y dimensión variable, en cuanto al revestimiento este también puede ser de piedra ligada con mortero, mezcla asfáltica o concreta clase 2,000 psi” (Dirección General de Caminos, 2001, p. 608-1). Estas deben erigirse según lo indicado en el Libro Azul sección 608 de la DGC, incluso por lo complicado de los lugares donde se construyen para mayor facilidad se utilizan tubos de concreto cortados por la mitad ligados con mortero.

Estos elementos van conectados con bajadas que en la mayoría de los casos son disipadores de energía ya que por la diferencia de altura se debe garantizar que el agua no haga ningún tipo de daño debido a la velocidad, golpe y fuerza del agua. A su vez los disipadores de energía están conectados a las cunetas longitudinales o los puntos de entrada o salida de una tubería transversal.

A continuación, en la figura ilustración 4 se puede observar la ubicación de una contracuneta dentro de la carretera.

Figura 4. **Ejemplo de ubicación de contracuneta en carretera**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

La no construcción de estos elementos puede generar saturación de los suelos en bermas que puede derivar en derrumbes dentro de la carretera, un acontecimiento de este tipo impide la mayoría de las veces la libre circulación de los vehículos en las vías terrestres.

1.2.3. Tubería transversal

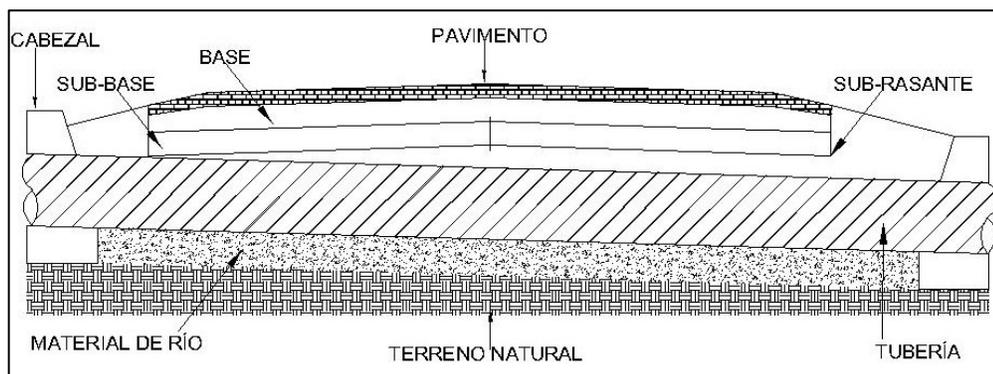
También llamadas únicamente transversales, son conductos que se colocan como su nombre lo indica transversalmente a la longitud de la carretera, por debajo de la subrasante. Tienen como finalidad el cruce de aguas de un lado al otro de la vía. En las tuberías se encauzan las aguas que recolectan las cunetas, contracunetas, subdrenajes y el agua que recogen las pequeñas cuencas a los lados de la carretera.

La sección de las tuberías depende del caudal de flujo de descarga, estas en la actualidad se colocan con diámetros mínimos de 36 pulgadas (0.79 m) hasta 72 pulgadas (1.83 m) para considerarse como drenaje menor, cabe resaltar que estas no deben de funcionar a sección completa ya que deben de trabajar como conducto de agua sometido a presión atmosférica, mas no como fluido a presión dentro de un tubo.

El material de fabricación puede ser de concreto reforzado, metal corrugado, polietileno o cloruro de polivinilo (PVC), dependiendo del material a utilizar se debe respetar las pendientes máximas según el fabricante para el flujo de agua y cuidar con esto que se desarrollen velocidades altas del fluido y provocar con esto erosión y socavamiento del terreno en el punto de salida del agua.

La instalación y construcción de las transversales debe realizarse según lo dictan las secciones 601, 603 y 604 del Libro Azul de la DGC.

Figura 5. **Vista en sección de tubería transversal**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Estos elementos de drenaje menor tienen la particularidad que en la longitud de un tramo carretero se puede establecer su ubicación según la topografía del lugar, un punto obligado es donde la carretera atraviesa pequeños zanjones donde circula escorrentía de pequeñas cuencas a los lados del mismo, otro lugar es en los puntos bajos de la carretera, donde se intercepta una pendiente negativa y una positiva y forma una curva cóncava donde el punto más bajo es apropiado para instalar una transversal.

Hay carreteras de terracería que cuentan con tuberías transversales, ya que al no contar con estas se generan pequeñas zanjas transversales por erosión de material y en el peor de los casos (dependiendo las características del flujo del agua) puede cortar una carretera y dividirla provocando esto no poder transitar por la misma.

1.2.4. Bordillo

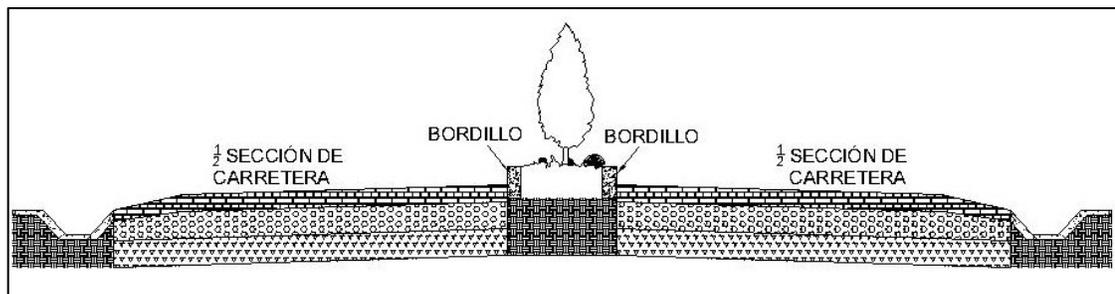
Los bordillos son estructuras que se utilizan en carreteras para delimitar y ordenar el tráfico vehicular para seguridad del usuario, así como también para encauzar el agua hacia una cuneta, es común observar este elemento en carreteras de dos carriles o más en cada sentido, delimitando la mitad de la carretera, dividiendo y ordenando la dirección del tráfico (arriate central). Por el contrario, este elemento será muy difícil encontrarlo en carreteras rurales.

En las carreteras de Guatemala, el bordillo que se observa comúnmente es el tipo rectangular, la cara expuesta al área de rodadura está biselada en la esquina superior con el fin de evitar aristas cortantes, normalmente la altura vista de este elemento ronda entre 15 y 22.5 cm sin contar la parte que estará enterrada para darle soporte al mismo.

El material con que se construye esta estructura es concreto simple fundido en sitio clase 17.5 MPa. (2,500 psi), también puede ser prefabricado siempre con la misma resistencia que el fundido en sitio, este debe colocarse bajo los parámetros que dicta la sección 609 del Libro Azul de la Dirección General de Caminos.

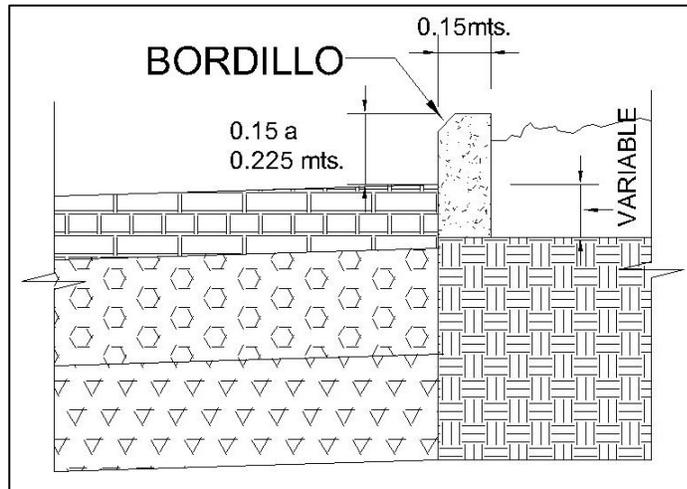
Estos elementos al ayudar al ordenamiento del agua evitan que dentro de la carretera ocurran empozamientos que generan peligro para los conductores, también contribuye a que no haya socavamiento por erosión de materiales en las orillas de la cinta asfáltica o pavimento.

Figura 6. **Ejemplo de localización de bordillo en sección de carretera**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Figura 7. **Detalle de bordillo**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

1.2.5. **Subdrenaje**

Como lo indica su nombre, se encuentra por debajo del nivel de la carretera, consiguiendo con esto captar aguas provenientes de taludes o debajo de la terracería por niveles freáticos altos y también derivadas de escorrentías que pudieran atravesar hacia las capas que componen el pavimento, estos generalmente siempre van pegados al talud y en el suelo bajo la cuneta, aunque también se hacen por debajo de la terracería al que por la forma de construcción se conoce como espina de pescado ya que parte del centro de la carretera (ramal central o principal) y de este salen hacia los laterales de la carretera ramificaciones las cuales van empotradas en los subdrenajes longitudinales paralelos a la carretera para poder retirar el agua que pueda poner en peligro la estabilidad de la estructura del pavimento.

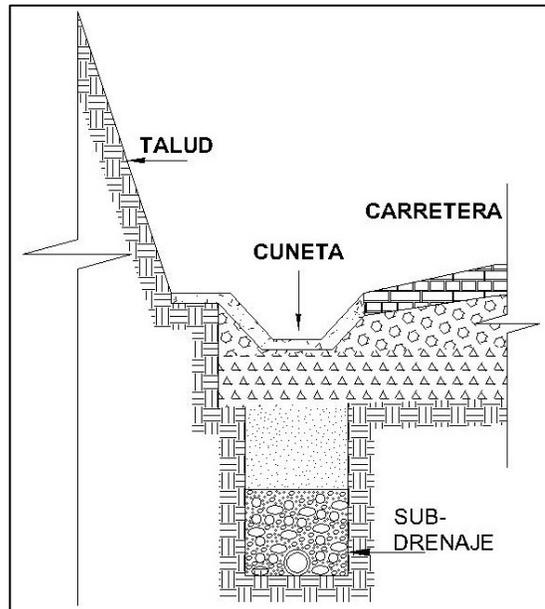
Un subdrenaje pretende en gran medida reducir la humedad y por consiguiente evitar los siguientes problemas:

- Inestabilidad en los taludes contiguos a la carretera
- Cambios de volumen de los materiales especialmente los que tienden a ser expansivos con humedad
- Reducción de capacidad soporte de los materiales en las capas de la estructura del pavimento
- Despegue de capas con la terracería por la circulación del agua entre las mismas
- Reducción de la cohesión de los materiales

Los subdrenajes se construyen de distintas formas, siendo los más utilizados en Guatemala los contruidos con tubería de PVC perforada, geotextil y materiales pétreos, este sistema es conocido como drenaje francés. También están los subdrenajes elaborados por geocompuestos los cuales están fabricados por tela geotextil no tejida y georedes de polietileno además de tubería perforada de PVC, estos son conocidos comúnmente como geodren.

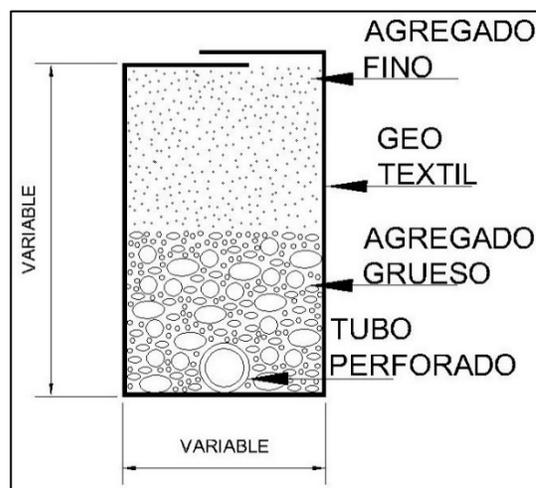
La diferencia entre un drenaje francés y un geodren radica que en el segundo no se utiliza material pétreo, se rellena la zanja con el mismo material que se sacó de la misma.

Figura 8. **Ejemplo de ubicación de subdrenaje**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Figura 9. **Componentes de subdrenaje con geotextil y tubería perforada**



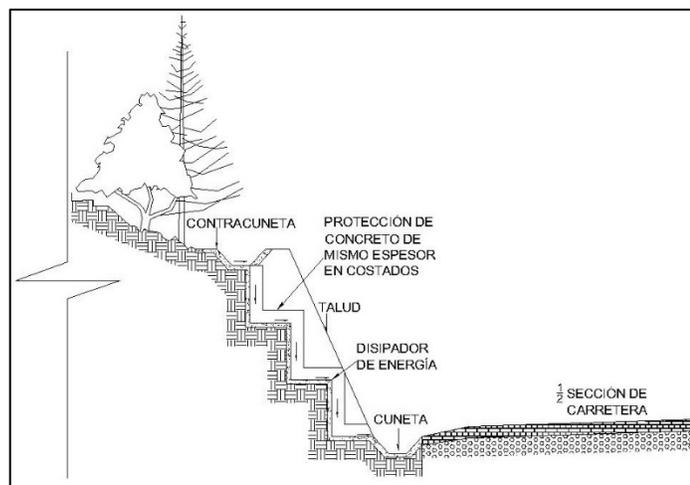
Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

1.2.6. Disipadores de energía

Estos elementos tienen la función dentro de la carretera de bajar flujos de agua ordenadamente de alturas distintas sin que la misma represente un riesgo para la vía terrestre ni los terrenos cercanos a ella, regularmente estos se ven en los taludes de corte ya que son los encargados de transportar el agua que las contracunetas recogen en las bermas. También se utilizan dentro de las cunetas cuando hay pendientes muy fuertes en los tramos carreteros y el agua puede alcanzar velocidades altas como. El trabajo de estos elementos es eliminar la velocidad que el agua puede alcanzar en la cuneta, utilizando una o más gradas.

También se utilizan en los puntos de salidas de tuberías cuando el terreno de desfogue es muy sinuoso, son construidos con concreto simple fundido en sitio o piedra ligada con mortero, cumpliendo con lo que se especifica en la sección 608 del Libro Azul de la DGC.

Figura 10. Ejemplo de ubicación de un disipador de energía



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Los disipadores de energía cuando bajan un flujo de agua de las bermas están conectados con las contracunetas de las terrazas y desembocan en las cunetas longitudinales de la carretera o en los puntos de entrada o salida de las tuberías transversales.

Al dispersar o desaparecer la fuerza del agua y ordenar la escorrentía en caídas de alturas diferentes, estos elementos previenen socavamientos y pérdidas de materiales en el punto de desfogue del mismo.

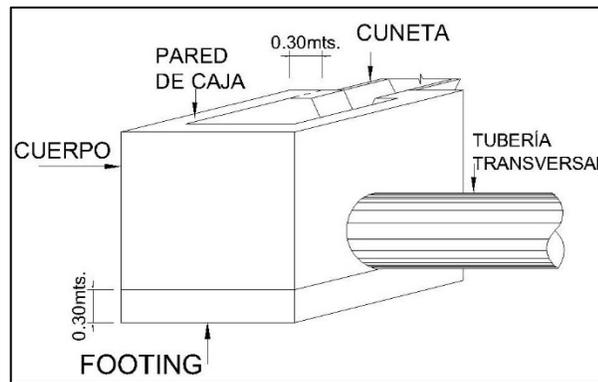
1.2.7. Cajas

Las cajas son los elementos dentro de las estructuras de drenaje menor que tienen la función de recolectar el agua proveniente de cunetas, contracunetas y subdrenajes y encausarla a una tubería para trasladar el líquido de un extremo de la carretera al otro, transversalmente. Estas por lo regular son cuadradas, aunque pueden ser rectangulares si hay más de una tubería en el punto.

Las dimensiones de las cajas dependen tanto del diámetro de tubería, así como de las necesidades que se tengan en el terreno de construcción de la misma, el espesor de las paredes de estas estructuras regularmente es de 30 cm, también por lo general siempre se construyen en el punto de entrada de la tubería y en los puntos donde hay corte de material ya que se hace necesario proteger la pared del talud para que este no se vea sobre expuesto al agua.

Las cajas al igual que los cabezales están conformadas por una base o footing el cual suele tener un espesor de 30 cm y el cuerpo o paredes de la caja donde se empotra la tubería transversal, el tubo de subdrenaje y las cunetas. Son construidas con concreto ciclópeo, clase 17.5 MPa (2,500 psi), mampostería de piedra, ladrillo o bloque de concreto, según la DGC en la sección 607.

Figura 11. **Caja cuadrada de dimensiones (alto, ancho y largo) variables**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Este elemento de drenaje menor tiene como finalidad darle soporte a la tubería para que esta quede anclada a un material sólido y no sufra ningún tipo de movimiento por causa de la fuerza de un fluido. También previene la filtración del agua hacia el relleno estructural de la tubería y por consiguiente la saturación de los materiales.

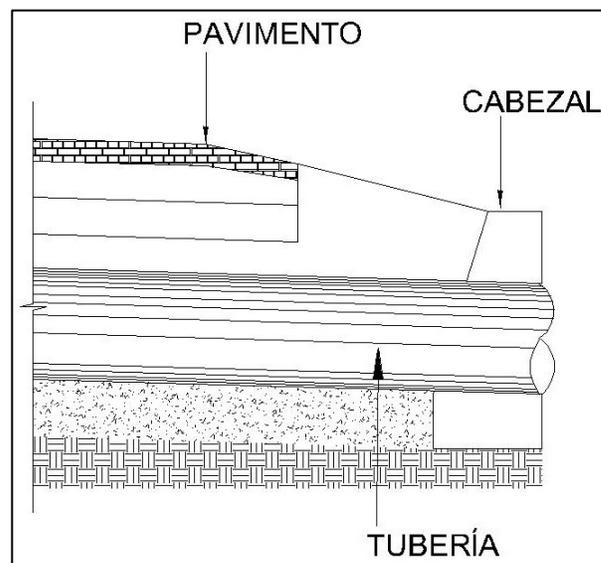
1.2.8. **Cabezales**

“Son las estructuras que se construyen en los extremos de las alcantarillas (entrada y salida)” (Dirección General de Caminos, 2001, p. 607-1). Estas le proporcionan estabilidad a la transversal para que no tenga movimiento después de instalada. Los cabezales constan de dos elementos: el cuerpo y la base o footing, el primero es donde está empotrada la tubería y el segundo es el cimiento de la estructura.

Las dimensiones de los cabezales se diseñan dependiendo el diámetro de tubo que se tenga y si este tiene esviaje, la altura depende de qué tan profunda está colocada la tubería.

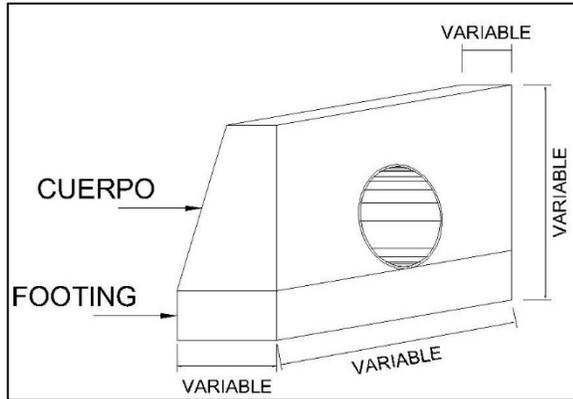
Estos elementos son construidos de concreto ciclópeo, clase 17.5 MPa (2,500 psi) regularmente, aunque se pueden construir de mampostería de piedra o mampostería de bloque o ladrillo, según la sección 607 del Libro Azul de la Dirección General de Caminos.

Figura 12. **Ubicación de cabezal en sección de carretera**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Figura 13. **Vista de cabezal y sus componentes**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Al igual que las cajas, los cabezales sirven para anclar la tubería a un material sólido, además de soportar el relleno estructural que se encuentra alrededor del tubo también evita que haya filtración de agua a los materiales y con esto no ocurra pérdida de finos por escorrentía, además de proteger de la fuerza que puede llevar un flujo.

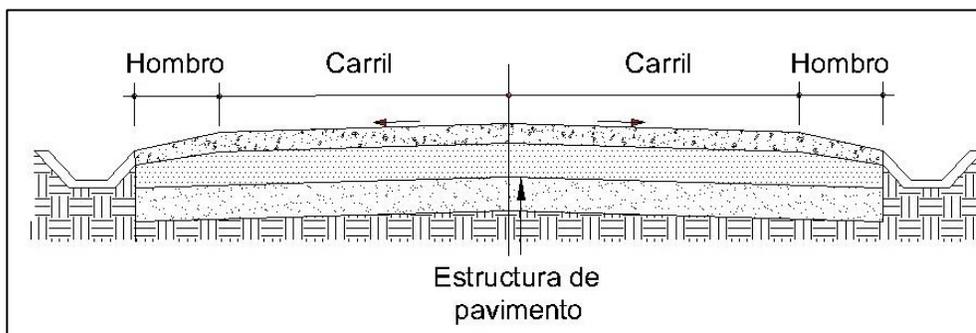
1.2.9. Hombro

El hombro es elemento que dentro de la sección de la carretera se encuentra exactamente terminando la sección del pavimento, esto por lo regular se cubre con mezcla asfáltica en caliente ya que la función del mismo es ayudar a impermeabilizar la subestructura del pavimento.

El hombro debe seguir con la pendiente de bombeo a cada uno de los lados para favorecer el escurrimiento de agua hacia las cunetas laterales o afuera de la carretera, este elemento además de servir como protección del pavimento

también es comúnmente utilizado para que los automóviles puedan orillarse a los costados de la carretera y no ser un obstáculo a la circulación de vehículos.

Figura 14. **Ejemplo de ubicación de Hombro**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Al ser un elemento externo al área de rodadura de una carretera, el hombro ayuda a alejar el agua de la sección del pavimento y proteger la estructura del mismo ya que este se encuentra impermeabilizado con el mismo material con que está pavimentada la carretera.

Una carretera que no cuenta con un hombro y carece de un ordenamiento del agua se ve expuesta a la escorrentía en las orillas del pavimento lo que puede provocar erosión y posterior socavamiento en los laterales, también se expone a la filtración de agua a las capas que conforman la subestructura del asfalto o concreto.

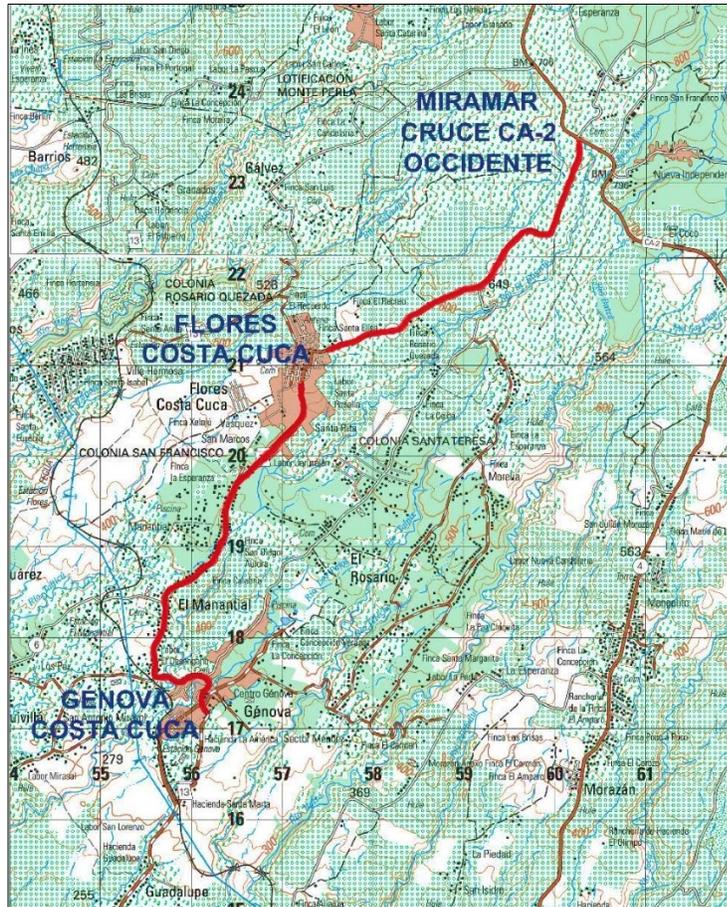
2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA RN – 13 TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA – GÉNOVA COSTA CUCA

El tramo carretero de la RN-13 específicamente de la intersección Miramar (cruce con la CA-2 occidente) – Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca, ambos municipios del departamento de Quetzaltenango, el cual hace parte de la región IV o región suroccidente, los municipios de Flores y Génova se ubican en la parte baja o sur del departamento, ambos ubicados dentro de la llamada bocacosta del país que cuenta con elevaciones entre los 300 y 1,400 msnm.

El punto llamado Miramar se encuentra en el Km. 209 + 060 de la carretera centroamericana guion dos (CA-2) occidente del país. A partir de este se llega a los municipios de Flores a 4.082 km y Génova a 8.7 km. A lo largo del tramo se transita sobre una carretera de pavimento flexible con un ancho de 6 m, teniendo cada carril 3 m.

La velocidad de diseño de la carretera es de 60 km/h, aunque en las curvas la misma baja hasta 20 km/h, es oportuno hacer mención que durante una precipitación la velocidad de los automotores es lenta ya que en algunos tramos la cinta asfáltica se ve cubierta por una lámina de fluido proveniente de la lluvia.

Figura 15. Mapa de ubicación de tramo carretero



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (2009). 1859 IV (Flores Costa Cuca) y 1860 III (Coatepeque).

En el cruce con la CA – 2 Occidente (km 209 + 060) se establece el km 0 + 000 para el tramo en estudio.

Al pavimento se le realizan trabajos de bacheo constantemente en longitudes bastante largas (75 mts o más) por el ancho de media sección (3 mt), este tipo de trabajo se hace necesario ya que la carretera no cuenta con un ordenamiento y evacuación de agua pluvial adecuado, esto hace que en la

carretera durante una precipitación en varios puntos de la misma haya acumulación de agua y escorrentía sobre el asfalto.

Figura 16. **Vista de tramo estación 4 + 900**



Fuente: [Fotografía de Héctor Enrique Rodríguez]. (Génova Costa Cuca, Quetzaltenango. 2021). Colección particular. Guatemala.

Este tramo carretero presenta una deficiencia en estructuras de drenaje menor longitudinal, transversal, superficial y subterráneo. El drenaje transversal existente data del año en que se construyó la carretera (1,972) el 56 % del total de este tipo de drenaje es de diámetro de 24 pulgadas de concreto.

El drenaje longitudinal en gran parte de la carretera es nulo, esto provoca que el agua escurra a orillas de la carretera y en el peor de los casos la escorrentía cruce de un extremo a otro o haya empozamientos sobre la sección de la carretera.

El 80 % del total de las tuberías transversales que tienen un diámetro de 24” se encuentran totalmente azolvadas por lo que estas estructuras no tienen ningún funcionamiento.

En la figura 17 se observa el escurrimiento de agua en laterales de carretera y cruce de esorrentía de un extremo a otro, y en la figura 18 una tubería transversal de 24” de concreto, totalmente azolvada.

Figura 17. **Escurrecimiento de agua sobre pavimento, estación 6 + 100**



Fuente: [Fotografía de Héctor Enrique Rodríguez]. (Génova Costa Cuca, Quetzaltenango. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 18. **Tubería azolvada, estación: 0 + 440**



Fuente: [Fotografía de Héctor Enrique Rodríguez]. (Flores Costa Cuca, Quetzaltenango. 2021).
Colección particular. Guatemala.

2.1. Características climatológicas del tramo carretero

El tramo carretero Miramar – Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca se encuentra dentro de la bocacosta del país, esta parte del territorio nacional se encuentra en un punto donde inicia la región cálida del país y termina la región de clima frío, lo que favorece a que en la temporada lluviosa se generen precipitaciones copiosas en el área ya que “alrededor del mediodía surge viento refrescante desde el Océano Pacífico hacia tierra adentro, llevando el vapor de agua a través de nubes que chocan contra la cadena montañosa, provocando tempestades que van acompañadas de lluvia” (Gutierrez y Valdez, 2005, pp. 238-239).

Es necesario conocer las características climatológicas del área cercana al tramo carretero provenientes de una estación hidrometeorológica, estas se describen en los numerales siguientes.

2.1.1. Ubicación de estación meteorológica

Para la ubicación de una estación hidrometeorológica más cercana al tramo carretero y por consiguiente las características climáticas, se hizo uso de la información publicada en la página de internet del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), este tiene como visión “crear y promover acciones y procesos que faciliten la mitigación y la adaptación del cambio climático en la región con base en lineamientos técnico-científicos” (ICC, 2021, párr. 1).

El ICC cuenta con 30 estaciones meteorológicas automatizadas las cuales se encuentran ubicadas en la zona del pacífico de Guatemala además cuenta con 3 en el vecino país de El Salvador. Las estaciones proveen información sobre el clima en la región como: Humedad, velocidad del viento, radiación, precipitación y temperatura (ICC, 2021).

La estación más cercana al tramo carretero es la que lleva por nombre Xoluta, esta se encuentra dentro de la finca del mismo nombre ubicada en la aldea Caballo Blanco, jurisdicción de Retalhuleu a 20 km en línea recta y 24 km sobre carretera siempre por la Ruta Nacional 13 (RN-13). Sus coordenadas son: Latitud: 14.48 y Longitud: -91.86.

2.1.2. Temperatura

La estación Xoluta expone una temperatura promedio anual de 27.45 grados Celsius, temperatura mínima promedio anual de 20.75 grados y una temperatura máxima promedio anual de 36.0 grados, estos promedios fueron recopilados durante seis años, del año 2015 al año 2020.

Tabla III. **Temperatura promedio por mes y año**

TEMPERATURA PROMEDIO POR MES Y AÑO °C													
MES/ AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	PROMEDIO
2015	26.2	26.8	27.6	28.6	28.1	28.1	27.9	28.2	27.2	27.2	27.3	27.6	27.6
2016	27.3	27.2	28.2	29.0	28.8	27.3	27.6	27.7	27.1	27.0	26.8	27.1	27.6
2017	26.5	27.2	27.7	28.4	27.9	26.9	27.4	27.3	27.2	27.1	27.2	26.9	27.3
2018	26.1	26.4	27.8	27.7	27.6	26.9	27.7	27.3	26.7	26.6	27.4	26.6	27.1
2019	26.8	27.4	28.1	29.0	28.0	27.9	27.7	27.5	27.1	26.6	27.4	27.0	27.5
2020	27.0	27.7	28.4	29.6	28.6	27.4	27.5	27.6	26.9	26.8	26.9	26.6	27.6

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Estación Meteorológica Xoluta (2021).
Reporte de temperatura, humedad y viento.

Tabla IV. **Temperatura mínima promedio por mes y año**

TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO POR MES Y AÑO °C													
MES/ AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	PROMEDIO
2015	17.4	18.7	17.7	21.3	21.4	21.5	21.2	21.9	22.0	21.8	21.3	19.8	20.5
2016	19.0	17.9	21.3	22.2	22.9	22.1	21.3	21.8	21.8	20.8	18.3	19.8	20.8
2017	17.9	18.3	19.9	19.9	22.7	21.8	21.6	21.5	22.6	21.4	19.6	18.9	20.5
2018	17.1	18.6	19.9	21.9	22.4	21.1	21.6	20.7	21.3	21	20.3	18.7	20.4
2019	18.9	18.9	19.8	21.8	22.1	21.5	21.5	21.6	22.3	22.0	21.1	19.1	20.9
2020	19.2	20.3	21.8	22.9	22.9	21.2	22.1	21.8	21.8	21.8	22.1	18.6	21.4

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Estación Meteorológica Xoluta (2021).
Reporte de temperatura, humedad y viento.

Tabla V. **Temperatura máxima promedio por mes y por año.**

TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO POR MES Y AÑO °C													
MES/ AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	PROMEDIO
2015	35.6	35.9	36.0	36.5	36.1	37.5	36.6	36.6	35.8	35.6	35.3	36.6	36.2
2016	36.8	36.6	37.2	36.7	36.2	35.1	36.3	36.3	35.5	35.2	35.1	36.0	36.1
2017	36.5	35.3	36.0	37.7	35.5	35.0	35.1	35.7	36.6	36.8	36.2	36.9	36.1
2018	35.1	35.4	35.8	35.9	35.2	34.5	36.2	35.8	34.7	35.2	36.5	35.5	35.5

Continuación tabla V.

2019	36.0	35.2	36.3	36.9	37.0	36.4	36.4	36.2	36.1	34.9	37.0	36.8	36.3
2020	37.9	37.6	35.9	38.3	36.5	35.3	35.6	35.9	34.5	35.1	34.3	34.5	36.0

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Estación Meteorológica Xoluta (2021).

Reporte de temperatura, humedad y viento.

2.1.3. Humedad relativa

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en el aire, sus valores se expresan en porcentaje y van desde 0 % a 100 %, la humedad registrada es de 89.9 % durante los últimos cinco años, también registra una humedad relativa máxima promedio de 100 % y una humedad relativa mínima promedio de 52 %.

Tabla VI. Registro de Humedad relativa promedio

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO POR MES Y AÑO, EXPRESADA en %													
MES/ AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	PROMEDIO
2016	82.9	81.3	83.9	84.5	89.9	92.5	91.2	91.8	92.8	93.7	91.8	87.8	88.7
2017	84.9	84.3	84.4	85.7	94.4	95.9	93.3	91.7	93.4	92.7	87.7	84.6	89.4
2018	83.3	81.0	84.0	89.8	92.8	93.8	91.2	91.6	94.7	96.2	91.7	89.4	89.9
2019	87.8	87.5	87.6	86.6	94.7	95.2	92.7	94.8	95.8	96.0	93.1	90.7	91.8
2020	87.9	87.0	88.4	88.6	93.9	90.4	87.9	89.7	91.7	92.4	92.0	88.8	89.9

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Estación Meteorológica Xoluta (2021).

Reporte de temperatura, humedad y viento.

2.1.4. Velocidad y dirección del viento

La estación meteorológica registra una velocidad del viento promedio anual durante los últimos cinco años de 2.78 medidos en kilómetros por hora (km/h), una velocidad mínima de 0 km/h y una velocidad máxima de 12.08 km/h.

Tabla VII. **Velocidad del viento promedio por mes y año**

VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO POR MES Y AÑO EXPRESADA EN km/h													
MES/ AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	PROMEDIO
2016	3.7	4.1	3.9	3.8	3.3	2.8	2.9	3.1	2.9	2.5	2.3	2.5	3.1
2017	3.1	3.8	3.8	3.7	3.1	2.6	2.2	2.1	2.0	1.8	1.9	2.0	2.7
2018	3.1	4.3	3.4	2.6	2.2	1.8	2.1	2.2	1.9	2.0	1.8	2.0	2.5
2019	2.9	2.4	3.3	3.3	2.9	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.1	2.3	2.7
2020	2.8	3.5	3.9	3.6	3.2	2.7	2.5	2.9	2.8	2.6	2.3	2.2	2.9

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Estación Meteorológica Xoluta (2021).
Reporte de temperatura, humedad y viento.

Tabla VIII. **Dirección del viento promedio por mes y año**

DIRECCIÓN DEL VIENTO PROMEDIO POR MES Y AÑO EXPRESADA EN GRADOS (azimut)													
MES/ AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	PROMEDIO
2016	159.1	173.2	190.4	186.2	174.3	163.4	173.8	165.7	147.4	141.1	146.4	162.9	165.3
2017	165.8	169.9	171.4	170.6	139.7	142.5	175.1	153.9	136.5	139.5	143.2	157.0	155.4
2018	159.6	172.4	174.8	160.8	147.3	148.1	168.3	167.0	154.0	160.0	157.3	150.5	160.0
2019	153.9	171.2	163.3	176.3	161.7	168.5	169.5	163.4	160.8	140.1	155.0	154.2	161.5
2020	168.2	170.9	173.5	196.8	160.3	156.3	169.2	171.3	145.4	134.6	164.9	156.4	164.0

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Estación Meteorológica Xoluta (2021).
Reporte de temperatura, humedad y viento.

La dirección del viento está dada en grados y tiene un promedio anual durante los últimos cinco años de 161.24°, esto quiere decir que es un viento que viene del sur, ya que es un valor cercano a 180° como lo explica (navarra.es, s.f.).

2.1.5. Precipitación

En el presente estudio la precipitación es la característica meteorológica de mayor importancia ya que a partir de los registros en la estación Xolula se puede determinar la cantidad de lluvia que cae en el área, la precipitación está dada por mm y esta tiene un promedio anual en los últimos seis años de 104.8 mm.

Tabla IX. Precipitación promedio por mes y año

PRECIPITACIÓN PROMEDIO POR MES Y AÑO, EXPRESADA EN mm													
MES/ AÑO	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	PROMEDIO
2015	0	0	7.6	56.40	201.4	151.0	83.8	149.2	320.4	190.8	57.2	0	101.4
2016	4.6	0	1.8	6.4	187.2	226.4	213.4	159.2	108.0	200.4	42.6	0.4	95.9
2017	0	0	32.0	21.8	193.6	256.2	184.8	96.2	203.6	86.8	0	0	89.6
2018	0	0	6.2	98.2	142.8	160.4	98.8	232.8	231.6	246.6	49.6	14	106.7
2019	1.2	27	48.2	0	190.2	296.2	129.8	230.0	168.0	199.8	19.2	0	109.1
2020	0	7	0.4	0.6	281.6	297.2	162.6	162.8	351	212.4	32.2	2	125.8

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Estación Meteorológica Xolula (2021).

Reporte de precipitación promedio.

2.2. Características topográficas del tramo

El tramo en estudio al estar ubicado en la bocacosta del país se encuentra en las partes bajas de la zona montañosa y también da inicio a las planicies de la zona costera de Guatemala, dicho de otro modo, se encuentra en un punto medio entre las montañas y los puntos más cercanos al nivel del mar. En esta zona los terrenos tienen una altimetría ondulada ya que se puede observar cuando se recorre el tramo carretero y puede comprobarse con las hojas cartográficas.

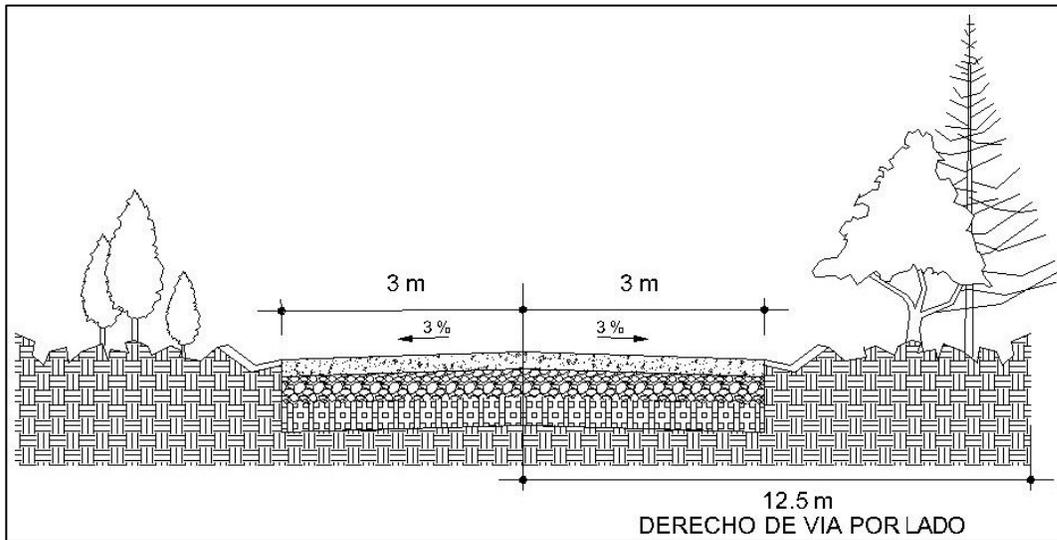
Las hojas cartográficas 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional muestran una diferencia de elevaciones en los 8.734 km entre el cruce de Miramar y Génova de 400 mt ya que el primer punto se encuentra a 700 msnm mientras que el segundo está a 300 msnm lo que hace que en el tramo haya una pendiente del 4.7 %.

2.2.1. Levantamiento topográfico

Se realizó levantamiento topográfico con la finalidad de contar con el estudio de la sección del pavimento y lo más importante, las diferentes pendientes que tiene el tramo carretero, este dato es importante ya que servirá en la propuesta de estructuras de drenaje específicamente en cunetas laterales.

La sección del pavimento es de 3 metros por carril, con una superficie pavimentada con mezcla asfáltica en caliente, no cuenta con hombro en los laterales de la misma y en pocas partes se pueden observar cunetas tipo L o tipo cuadrada, tiene un derecho de vía de 12.5 m por lado, aunque esto no se mantiene en toda la longitud del tramo ya que por el crecimiento poblacional en los laterales de la misma se ha visto reducido el mismo.

Figura 19. Sección de tramo carretero



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

El punto medio de la sección, el cual debiera de tener la mayor elevación de la carretera, derivado del bacheo se ha perdido y no se logra visualizar. En la figura 20 se puede observar un tramo que va de la estación 7+640 a la estación 7+795 donde se aprecia el bombeo de 3 %, cabe resaltar que en este tramo de 200 m el pavimento cuenta con cunetas laterales por lo que él mismo se encuentra en condiciones aceptables.

Figura 20. **Estación 7 + 640 a estación 7 + 795**



Fuente: [Fotografía de Héctor Enrique Rodríguez]. (Flores Costa Cuca, Quetzaltenango. 2021).
Colección particular. Guatemala.

La topografía del lugar arroja distintas pendientes, siendo la pendiente mínima 0 % en una longitud de 95.56 m y la pendiente máxima de 11.81 % en una longitud de 28 m, la pendiente promedio que tiene la longitud de la carretera es de 3.70 %.

2.3. Inventario de obras de drenaje

En todo el tramo carretero se cuenta con las obras de drenaje menor que a continuación se detallarán.

2.3.1. Inventario de tuberías

A lo largo del tramo carretero en estudio se pudo observar la existencia de nueve tuberías las cuales se describen a continuación.

Tabla X. Tuberías existentes en tramo carretero

No. Tubería	Estación	φ plg	Material	Punto entrada	Punto salida	observaciones
1	0+520	24	Concreto	Cabezal	Cabezal	Azolvada
2	0+990	24	Concreto	Cabezal	Cabezal	Azolvada
3	1+430	24	Concreto	Caja	Cabezal	Limpia
4	3+400	24	Concreto	Cabezal	Cabezal	Azolvada
5	3+800	24	Concreto	Caja	Cabezal	Azolvada
6	3+970	30	Metal	Caja	Caja	Limpia
7	5+665	42	Metal	Caja	Caja	Limpia
8	5+800	30	Metal	Caja	Cabezal	Azolvada parcialmente
9	7+360	30	Metal	Cabezal	Cabezal	Azolvada

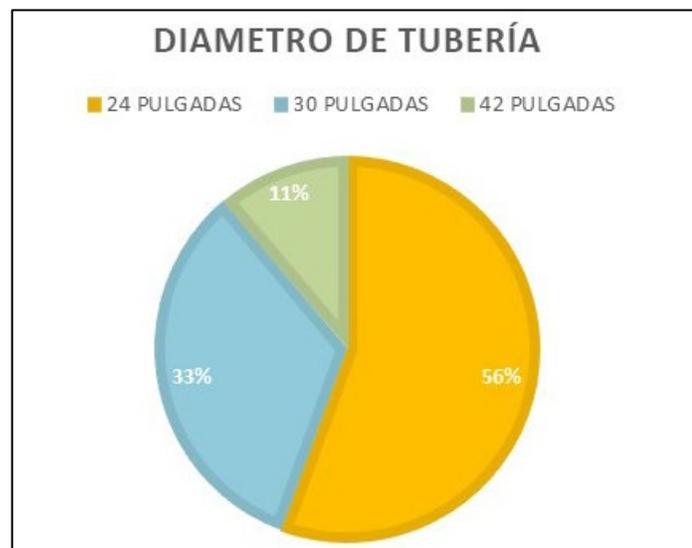
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Según se representa en tabla X solamente se cuenta con 9 tuberías transversales para un largo de carretera de 8.734 km que tiene la RN-13 en el tramo Miramar – Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca, lo que hace 1.03 tuberías para cada kilómetro de carretera.

De las nueve tuberías 5 son de concreto de 24 pulgadas encontrándose azolvadas cuatro de ellas por lo que no puede circular agua dentro de las mismas durante una precipitación.

En la figura siguiente se muestra una gráfica donde se representan los porcentajes de los diámetros existentes de las tuberías en el tramo carretero.

Figura 21. **Porcentaje según diámetro de tubería existente**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El mínimo de diámetro de las tuberías transversales debe de ser el de 36 pulgadas (91.44 cm) según SIECA (2016), o el equivalente en área en una sección distinta, por lo cual se constata que el 89 % de transversales están fuera de esta recomendación.

2.3.2. **Inventario de cunetas longitudinales extremo izquierdo**

Se observó que la carretera cuenta con cunetas en el lado izquierdo las cuales tienen formas diferentes y se describen a continuación.

Tabla XI. **Inventario de cunetas longitudinales, lado izquierdo**

De Estación	A Estación	Longitud (m)	Tipo	Material	Estado
0+936	1+017	81.00	L	Concreto	Limpia
1+017	1+033	16.00	Cuadrada	Concreto	Limpia
1+838	2+040	202.00	L	Concreto	Limpia
2+160	2+321	161.00	L	Concreto	Limpia
3+448	3+609	161.00	L	Concreto	Limpia
4+977	5+058	81.00	Cuadrada	Concreto	Parcialmente azolvada
5+541	5+702	161.00	Cuadrada	Concreto	Limpia
6+169	6+185	16.00	Cuadrada	Concreto	Limpia
6+700	6+990	290.00	Cuadrada	Concreto	Limpia
7+640	7+795	155.00	Cuadrada	Concreto	Limpia
7+960	8+085	125.00	Cuadrada	Concreto	Parcialmente azolvada
8+100	8+249	149.00	Cuadrada	Concreto	Limpia
8+262	8+270	8.00	Cuadrada	Concreto	Limpia
8+278	8+349	65.00	L	Concreto	Parcialmente azolvada
8+359	8+439	80.00	Cuadrada	Concreto	Limpia

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

De lado izquierdo se cuenta con una sumatoria total de cuneta longitudinal de 1,751.00 m que hace un 20.05 % del largo del tramo.

2.3.3. Inventario de cunetas longitudinales extremo derecho

Al igual que el lado izquierdo la carretera cuenta con estructuras de cunetas en el extremo derecho, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla XII. Inventario de cunetas longitudinales, lado derecho

De Estación	A Estación	Longitud	Tipo	Material	Estado
1+280	1+440	160.00	L	Concreto	Parcialmente azolvada
1+600	1+760	160.00	L	Concreto	Limpia
2+093	2+400	307.00	L	Concreto	Limpia
2+898	3+040	142.00	L	Concreto	Parcialmente azolvada
3+461	3+680	219.00	Trapezoidal	Concreto	Limpia
3+703	3+840	137.00	L	Concreto	Limpia
3+864	3+890	26.00	Trapezoidal	Concreto	Limpia – fracturada
4+830	5+120	290.00	Trapezoidal	Concreto	Limpia
5+265	5+600	335.00	L	Concreto	Limpia
5+635	5+760	125.00	L	Concreto	Limpia
6+230	6+400	170.00	Trapezoidal	Concreto	Limpia
7+085	7+150	65.00	Cuadrada	Concreto	Parcialmente azolvada
7+640	7+840	200.00	Cuadrada	Concreto	Limpia
8+533	8+560	27.00	Cuadrada	Concreto	Limpia

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En el extremo derecho se tiene un total de 2,363 m de cuneta longitudinal que representa un 27.00 % de la longitud del tramo Miramar – Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca.

3. DESARROLLO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA RN-13 TRAMO: MIRAMAR – FLORES COSTA CUCA – GÉNOVA COSTA CUCA

La hidrología siendo la ciencia que estudia la precipitación, escurrimiento y comportamiento del agua en la superficie terrestre como lo describen Linsley, Kohler y Paulhus (1993), además de la influencia que tiene está en el medio ambiente y los seres humanos, “se debe dar la debida importancia ya que de la misma dependen los diseños y posteriormente operación de diversos proyectos de ingeniería” (Linsley, Kohler y Paulhus, 1993, p. 1).

A través de la ingeniería hidrológica se pueden crear proyectos que se ajusten a las necesidades de un lugar determinado de manera que se pueda controlar el flujo de agua para que no ocasione daños o para hacer uso de la misma.

Para el tramo carretero en estudio a continuación se desglosan los parámetros que son necesarios para realizar el análisis hidrológico, tales como el método a utilizar, intensidad (IDF) de lluvia, determinación de cuencas entre otros.

3.1. Método racional

El método racional para cálculo de caudales fue desarrollado en 1889, es sencillo de utilizar por lo que en la actualidad se sigue usando, utiliza la intensidad de lluvia en la zona de estudio, así como el área de la cuenca y coeficientes de

escorrentía que son determinados por las características de vegetación y uso de suelos.

“La utilización del método racional se debe preferir por encima de otros métodos ya que los resultados que proporciona son de mayor confianza” (Vides, 1981, p. 177). Puesto que el mismo se basa en una conexión directa entre la lluvia que cae en un lugar determinado y el escurrimiento de la misma.

“El método racional es de bastante ayuda para poder determinar el escurrimiento de una precipitación y a través de este diseñar elementos hidráulicos de menor tamaño tales como tuberías de vías terrestres o alcantarillas de tormentas de baja capacidad” (Merritt, 1992, p. 21).

Este método al ser empírico considera que la lluvia es uniforme en toda la cuenca y la descarga máxima se dará cuando la totalidad de la superficie esté drenando, el mismo tiene la limitante de considerar únicamente cuencas de hasta 20 km² de superficie. La ecuación para calcular el máximo caudal es la siguiente.

$$Q = 0.278 * C * i * A \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

Q = Caudal o descarga máxima expresado en m³/s

C = Coeficiente de escorrentía (no tiene dimensional)

i = Intensidad de lluvia expresada en mm/h

A = Área de la cuenca expresada en km²

3.2. Coeficiente de rugosidad C

Este coeficiente varía entre 0 y 1, depende del tipo de suelo, tipo de vegetación y desarrollo del área de la cuenca, a continuación (tabla XIII) se enlistan los valores de C según el tipo de superficie y período de retorno que se estipule para trabajar.

Tabla XIII. Coeficientes de escorrentía

Características de la superficie	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/ techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50 % del área)							
Plano, 0 – 2 %	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2 – 7 %	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente superior a 7 %	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)							
Plano, 0 – 2 %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 – 7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75 % del área)							
Plano, 0 – 2 %	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2 – 7 %	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente superior a 7 %	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de Cultivo”							
Plano, 0 – 2 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2 – 7 %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente superior a 7 %	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0 – 2 %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 – 7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							

Continuación tabla XIII.

Plano, 0 – 2 %	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2 – 7 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior a 7 %	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: SIECA (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura Vial en Centroamérica.*

3.3. Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia es la cantidad de líquido que cae en determinado tiempo, comúnmente se mide esta intensidad en mm/h (milímetros por hora), esta información tiene la finalidad de contribuir al análisis y diseño hidráulico de obras que desfoguen de forma segura la escorrentía proveniente de precipitaciones.

Este parámetro de medición se basa en la observación y análisis de las estadísticas de precipitación (régimen de lluvias) realizadas por estaciones meteorológicas a través del instrumento de medición llamado pluviómetro.

Por medio de la vigilancia de años y las tormentas ocurridas en los mismos se establecen las curvas DIF (duración - intensidad - frecuencia), para disponer de dichas curvas el INSIVUMEH cuenta con un modelo matemático para representarlas, las mismas pueden ser de forma gráfica o tabuladas en una tabla. En la siguiente ecuación 5 se muestra dicha expresión.

$$i_{Tr} = \frac{A}{(B + t)^n} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

I_{Tr} = Intensidad de lluvia (mm/h) para un período de retorno Tr

t = duración de la lluvia expresada en minutos

A, B y n = parámetros de ajuste determinados por Insivumeh

Para obtener los valores de A, B y n, el Insivumeh en el Informe de intensidades de lluvia en Guatemala “expone estos datos para 23 estaciones meteorológicas distribuidas en diferentes regiones del país” (INSIVUMEH, 2003, p. 1). Las cuales se enlistan enseguida en la tabla XIV.

Tabla XIV. Estaciones Meteorológicas Insivumeh

A= Años, T= Tormentas

No.	Código	Nombre	Cuenca	Depto.	Municipio	Elev.	Latitud	Longitud	Registro	A	T
1	01.01.08	Cobán	Cahabon	Alta Verapaz	Cobán	1329	15°28'03"	90°24'23"	1989-2002	9	67
2	02.06.04	San Jerónimo	Salinitas	Baja Verapaz	San Jerónimo	1020	15°03'40"	90°14'05"	1989-2001	8	40
3	03.01.01	Alameda Icta	Motagua	Chimaltenango	Chimaltenango	1793	14°39'36"	90°49'10"	1995-2002	8	61
4	04.04.02	Esquipulas	Olopa	Chiquimula	Esquipulas	1000	14°33'32"	89°20'31"	1990-2001	10	63
5	05.01.14	Sabana Grande	Achiguate	Escuintla	Escuintla	740	14°22'03"	90°48'02"	1990-2002	8	72
6	05.08.01	Puerto de San José	María Linda	Escuintla	San José	2	13°55'04"	90°49'10"	1973-2002	10	39
7	05.10.08	Camantulul	Coyolate	Escuintla	Santa Lucía Cotz.	280	14°19'28"	91°03'27"	1973-2002	11	65
8	06.01.00	Insivumeh	María Linda	Guatemala	Guatemala	1502	14°35'11"	90°31'58"	1940-2002	44	98
9	07.01.03	Huehuetenango	Selegua	Huehuetenango	Huehuetenango	1902	15°19'28"	91°28'05"	1986-2002	13	58
10	08.01.04	Puerto Barrios	Motagua	Izabal	Puerto Barrios	15	15°44'16"	88°35'30"	1994-2002	8	68
11	09.01.02	Potrero Carrillo	Motagua	Jalapa	Jalapa	1800	14°45'50"	89°56'00"	1990-2002	13	75
12	09.03.03	La Ceibita PHC	Ostua-Guija	Jalapa	Monjas	961	14°29'07"	89°53'10"	1990-2001	12	77
13	10.03.01	Asunción Mita	Ostua-Guija	Jutiapa	Asunción Mita	478	14°20'00"	89°42'00"	1990-2001	12	67
14	10.11.02	Montufar	Paz	Jutiapa	Moyuta	10	13°48'19"	90°08'11"	1989-2002	11	86
15	11.01.05	Flores	San Pedro	Petén	Flores	115	16°55'44"	89°53'29"	1999-2002	4	45
16	11.11.02	El Porvenir	Pasión	Petén	Sayaxche	125	16°31'29"	90°28'22"	1981-1989	8	98
17	12.03.01	Morazán	Motagua	Progreso	Morazán	360	14°55'74"	90°09'07"	1990-2001	12	67
18	13.14.03	Labor Ovalle	Samala	Quezaltenango	Olintepeque	2400	14°52'12"	91°31'09"	1955-2002	35	98
19	15.01.01	Retalhuleu	Ocosito	Retalhuleu	Retalhuleu	239	14°32'07"	91°40'40"	1984-2002	15	84
20	18.01.04	Los Esclavos	Los Esclavos	Santa Rosa	Cuilapa	737	14°15'10"	90°16'42"	1990-2002	13	90
21	19.19.04	Santiago Atitlán	Santiago Atitlán	Sololá	Santiago Atitlán	1592	14°37'56"	91°13'53"	1993-2002	9	64
22	22.03.02	La Fragua	Grande de Zacapa	Zacapa	Estanzuela	210	14°57'51"	89°35'04"	1990-2002	10	62
23	22.06.02	La Unión	Motagua	Zacapa	La Unión	1100	14°58'00"	89°17'39"	1991-2001	11	94

Fuente: Insivumeh (2003). *Estudio de intensidades de precipitación en Guatemala.*

Para el presente estudio se utiliza la información de la estación No. 19 la cual se ubica en la cabecera departamental de Retalhuleu a una distancia de 20.5 km del tramo.

Tabla XV. **Características de Estación Meteorológica Retalhuleu**
A = años, T = No. de tormentas.

No	Código	Nombre	Cuenca	Depto.	Municipio	Elev.	Latitud	Longitud	registro	A	T
19	15.01.01	Retalhuleu	Ocosito	Retalhuleu	Retalhuleu	239	14°32'07"	91°40'40"	1,984-2,002	15	84

Fuente: Insivumeh (2003). *Estudio intensidades de precipitación en Guatemala.*

A partir de la definición de la estación que se utilizara se puede generar la información para la intensidad de lluvia y tabular los resultados DIF según los parámetros que el Insivumeh estableció para la estación 19, estos se muestran en la tabla siguiente.

Tabla XVI. **Parámetros A, B, n para estación Retalhuleu**

Estación No. 19, Retalhuleu								
Tr (años)	2	5	10	20	25	30	50	100
A	5,843	1,991	1,150	1,321	1,315	1,221	1,215	1,217
B	25	14	11	13	13	12	12	12
n	1.037	0.769	0.616	0.633	0.63	0.613	0.61	0.609
R2	0.998	0.988	0.976	0.975	0.975	0.974	0.974	0.974

Fuente: Insivumeh (2003). *Estudio intensidades de precipitación en Guatemala.*

Con los datos expuestos en la tabla anterior, se hace uso de la ecuación 5 para calcular la intensidad de lluvia para un período de retorno y tiempo escogido, en las siguientes tablas se tabulan las DIF para períodos de 5, 10 y 25 años.

3.3.1. DIF para período de retorno 5 años

La ecuación de intensidad de lluvia para un período de 5 años con parámetros proporcionados por la estación de Retalhuleu iguales a $A = 1,991$, $B = 14$ y $n = 0.769$ queda de la siguiente manera:

$$i_5 = \frac{1,991}{(14 + t)^{0.769}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Se calculó las DIF para tiempos desde 5 hasta 150 minutos, la tabla XVII tabula los resultados.

Tabla XVII. **Intensidad de lluvia para período de retorno 5 años**

Duración (minutos)	Intensidad (mm/h)
5	206.88
10	172.86
15	149.45
25	118.99
30	108.46
45	86.55
60	72.72
75	63.09
105	50.46
120	46.06
135	42.45
150	39.43

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.2. DIF para período de retorno 10 años

Para 10 años como período de retorno se tienen los parámetros siguientes:

$$A = 1,150$$

$$B = 11$$

$$n = 0.616$$

Sustituyendo estos en la ecuación de intensidad queda de la siguiente forma.

$$i_{10} = \frac{1,150}{(11 + t)^{0.616}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Con la ecuación anterior se obtienen los datos tabulados en la siguiente tabla.

Tabla XVIII. **Intensidad de lluvia para período de retorno 10 años**

Duración (minutos)	Intensidad (mm/h)
5	208.43
10	176.28
15	154.55
25	126.48
30	116.74
45	96.34
60	83.24
75	73.97
105	61.52
120	57.08
135	53.39
150	50.26

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.3. DIF para período de retorno 25 años

Los valores de los parámetros para 25 años como período de retorno son: A = 1,315, B = 13, n = 0.63, sustituyendo en ecuación de intensidad, la misma queda de la siguiente forma.

$$i_{25} = \frac{1,315}{(13 + t)^{0.63}} \quad (\text{Ec. 8})$$

En la siguiente tabla se enlistan los resultados de intensidad para distintos períodos de tiempo derivados de la ecuación 8.

Tabla XIX. **Intensidad de lluvia para período de retorno 25 años**

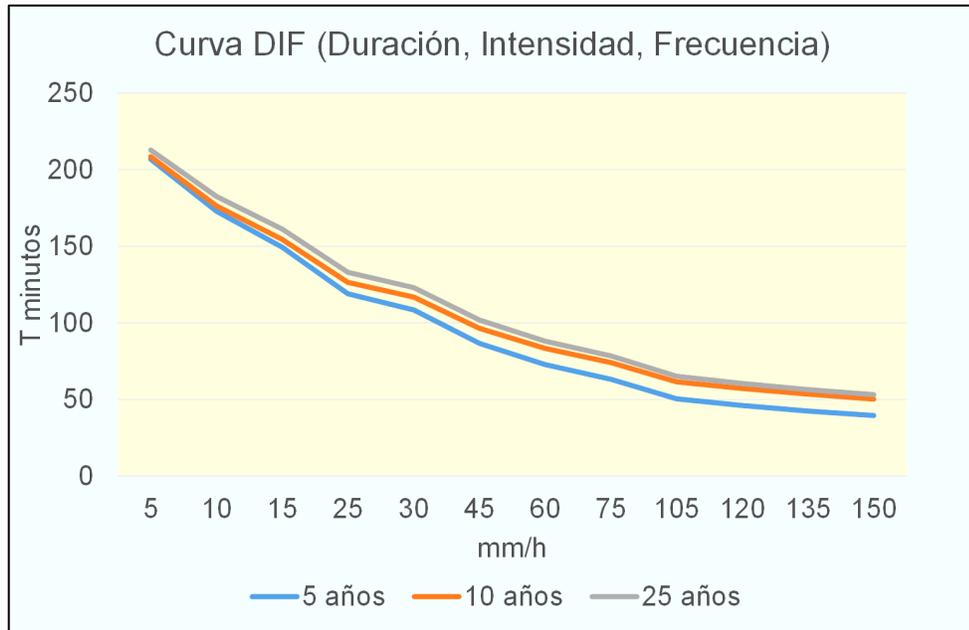
Duración (minutos)	Intensidad (mm/h)
5	212.86
10	182.41
15	161.14
25	132.94
30	122.98
45	101.85
60	88.11
75	78.33
105	65.10
120	60.38
135	56.45
150	53.12

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.4. Gráfica de curvas DIF

En la figura 22 se muestran las curvas DIF para los períodos de retorno descritos en los numerales anteriores, 5, 10 y 25 años.

Figura 22. **Curvas de Intensidad de Lluvia**

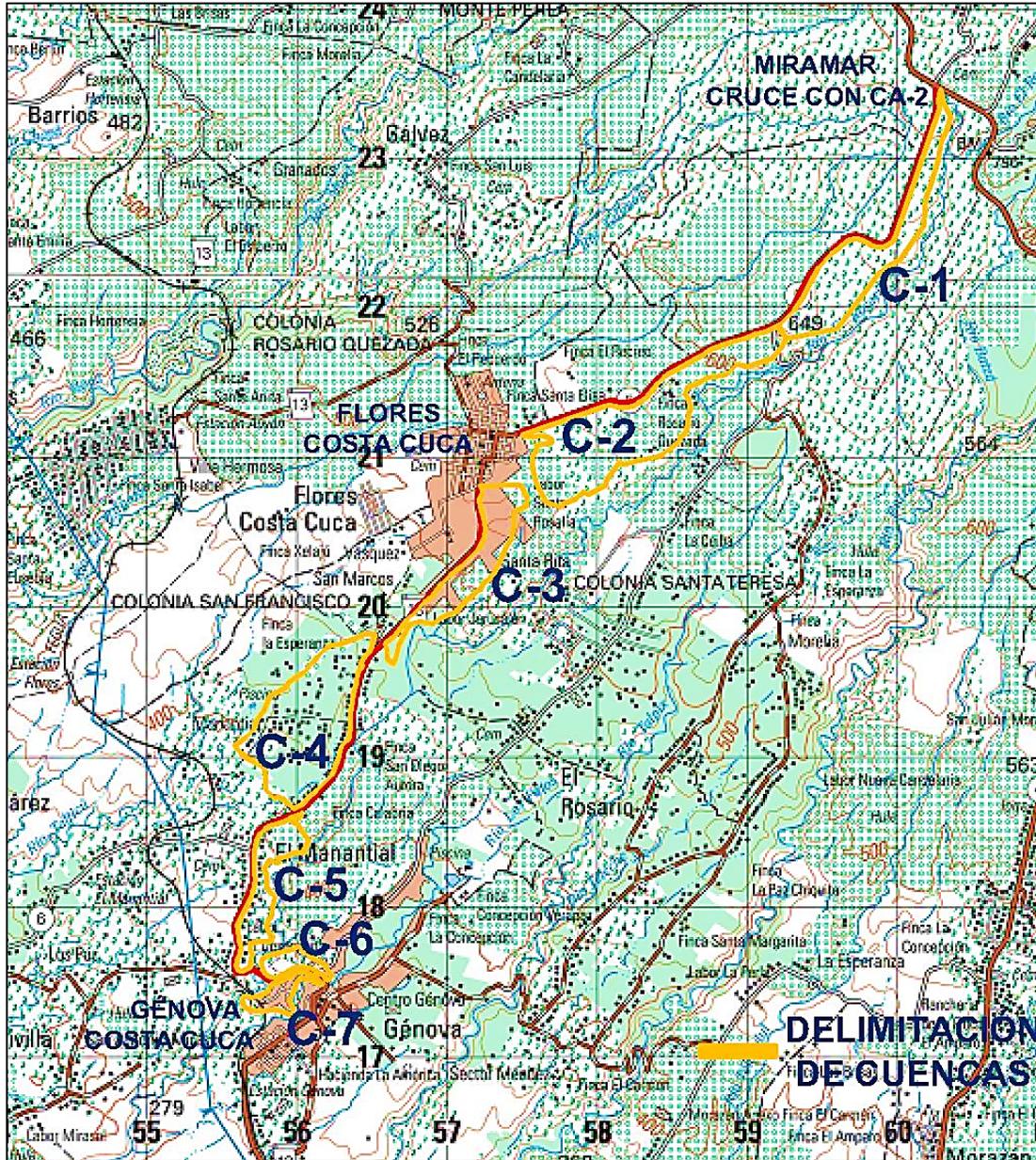


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.4. Delimitación de cuencas hidrográficas

Para definir las cuencas que influyen y aportan al tramo carretero se utilizaron hojas 1:50,000 además de recorrer el tramo carretero para que de forma visual poder delimitar las mismas en las hojas. En la ilustración 23 se muestra como quedaron definidas las cuencas a lo largo del tramo carretero, en total se establecieron siete cuencas.

Figura 23. Delimitación de cuencas hidrográficas



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (2009). 1859 IV (Flores Costa Cuca) y 1860 III (Coatepeque).

En la siguiente tabla se detallan las características de las cuencas mostradas anteriormente.

Tabla XX. **Características de cuencas hidrográficas**

No. cuenca	Lado Cuenca	Lado Drena	Área (m ²)	Área (km ²)	H1 (msnm)	H2 (msnm)	ΔH	Longitud (m)
C-1	Izq.	Der.	360,250	0.360	760	620	140	412.50
C-2	Izq.	Der.	597,500	0.597	620	540	80	613.00
C-3	Izq.	Der.	238,000	0.238	520	420	100	315.00
C-4	Der.	Izq.	518,500	0.519	445	400	45	680.00
C-5	Izq.	Der.	166,000	0.166	420	325	95	329.50
C-6	Izq.	Der.	52,000	0.052	350	325	25	155.00
C-7	Der.	Izq.	57,000	0.057	325	315	10	264.00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La estación (kilometraje) de escorrentía para cada cuenca está dada en la siguiente tabla.

Tabla XXI. **Estación de escorrentía por cuenca**

No. Cuenca	Estación de Escorrentía	Lado Cuenca
C-1	1+960	Izquierdo
C-2	3+970	Izquierdo
C-3	5+320	Izquierdo
C-4	6+690	Derecho
C-5	7+985	Izquierdo
C-6	8+420	Izquierdo
C-7	8+605	Derecho

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.5. Determinación de caudales

Con toda la información explicada y recabada anteriormente se procede a determinar los caudales de cada una de las cuencas, para ello solo se necesita encontrar el tiempo de concentración (T_c) para cada una, ya que este determina la duración de la lluvia en determinado período de retorno como lo explica SIECA (2016).

El tiempo de concentración es el menor tiempo que necesita una cuenca para que todos sus puntos aporten escorrentía hasta el punto de salida de la misma, para poder determinar el tiempo de concentración se hace uso de la ecuación de Kirpich – Ramser la cual se muestra a continuación.

$$T_c = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración expresado en minutos

L = Longitud del cauce principal expresado en metros

ΔH = Diferencia de alturas entre la cota más alta y la cota más pequeña

Extrayendo información de la tabla XX se tienen los tiempos de concentración siguientes.

Tabla XXII. **Tiempos de concentración de cuencas**

No. Cuenca	ΔH (m)	Longitud (m)	Tc. (min)	Tc. (Hrs)
C-1	140	412.50	3.05	0.05
C-2	80	613.00	5.98	0.10
C-3	100	315.00	2.54	0.04
C-4	45	680.00	8.42	0.14
C-5	95	329.50	2.73	0.05
C-6	25	155.00	1.91	0.03
C-7	10	264.00	5.03	0.08

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Con los datos arrojados para cada cuenca se puede establecer el valor más alto que es de 8.42 minutos, con la ayuda de las DIF se puede calcular la lluvia para una intensidad de 10 minutos, no obstante, para este trabajo se establece una intensidad de lluvia de 30 minutos ya que este se ajusta más a la realidad del lugar de estudio.

El período de retorno es aquel tiempo en que es probable que ocurra una precipitación igual o mayor a la intensidad de lluvia que arroja un determinado caudal, Ponce (2008) expone que los períodos de retorno varían entre 10 y 100 años, para áreas menores a 100 hectáreas se asocian lapsos de tiempo de 5 y 10 años llamados también períodos cortos.

Para este estudio se escoge un período de retorno de 10 años ya que las cuencas son relativamente pequeñas.

Para definir el valor del coeficiente C para cada una de las cuencas se hace uso de los valores de la tabla XIII de acuerdo a las características de los terrenos, sabiendo que el tramo tiene una pendiente de 3.7 promedio y para un período de retorno de 10 años.

3.5.1. Caudal para cuenca C-1

La cuenca número uno tiene plantaciones de café y árboles de hule, por lo que es un área de cultivo, el coeficiente $C = 0.41$ (tabla XIII), $A = 0.360 \text{ km}^2$ (tabla XX), $i = 116.74 \text{ mm/h}$ (tabla XVIII período de retorno 10 años e intensidad de 30 min de duración), sustituyendo estos valores en ecuación 4 se obtiene el caudal para C-1.

$$Q_{c-1} = 0.278 * 0.41 * 0.360 * 116.74$$

$$Q_{c-1} = 4.79 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.5.2. Caudal para cuenca C-2

Esta cuenca también cuenta con plantaciones de café y hule por lo que los valores del coeficiente $C = 0.41$, el área es $A = 0.597 \text{ km}^2$ y la intensidad de lluvia es de $i = 116.74 \text{ mm/h}$, sustituyendo estos valores en ecuación 4 se obtiene el caudal para esta cuenca es el siguiente.

$$Q_{c-2} = 0.278 * 0.41 * 116.74 * 0.597$$

$$Q_{c-2} = 7.94 \text{ m}^3/\text{s}.$$

3.5.3. Caudal para cuenca C-3

Esta cuenca tiene la particularidad que tiene dos tipos de superficie, ya que aproximadamente el 60 % de su área es área urbana o desarrollada según la tabla XIII y el restante 40 % es área de cultivo. Para este caso se harán dos cálculos de caudales correspondientes para cada característica de suelo.

Para determinar el caudal del 60 % del área desarrollada se tienen los valores de $C = 0.83$, $i = 116.74$ mm/h, $A = 0.6 \cdot 0.238$ km², se sustituye en ecuación 4 y el caudal es el siguiente.

$$Q_{c-3.1} = 0.278 * 0.83 * 116.74 * 0.6 * 0.238$$

$$Q_{c-3.1} = 3.84 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Definiendo el caudal para el restante 40 % la cual es de cultivo los valores son: $C = 0.41$, $i = 116.74$ mm/h, $A = 0.4 \cdot 0.294$ km², el caudal es el siguiente.

$$Q_{c-3.2} = 0.278 * 0.41 * 116.74 * 0.4 * 0.238$$

$$Q_{c-3.2} = 1.27 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Sumando los dos caudales $Q_{c-3.1}$ y $Q_{c-3.2}$ se obtiene el caudal total Q_{c-3} .

$$Q_{c-3} = Q_{c-3.1} + Q_{c-3.2} \quad (\text{Ec.10})$$

$$Q_{c-3} = 3.84 \text{ m}^3/\text{s} + 1.27 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{c-3} = 5.11 \text{ m}^3/\text{s}.$$

3.5.4. Caudal para cuenca C-4

Esta cuenca tiene la particularidad que es zona parcialmente desarrollada ya que cuenta con viviendas, pero también cuenta con vegetación (cultivos y grama) por lo que en la tabla XIII se escoge el valor de C de áreas desarrolladas, zonas verdes con condición pobre de cubierta del suelo y con promedio de 2 %

a 7 % de pendiente para un período siempre de 10 años. Los valores para determinar el caudal son: $C = 0.43$, $i = 116.74$ mm/h, $A = 0.519$ km². sustituyendo estos valores en ecuación 4 se obtiene el caudal.

$$Q_{c-4} = 0.278 * 0.43 * 116.74 * 0.519$$

$$Q_{c-4} = 7.24 \text{ m}^3/\text{s}.$$

3.5.5. Caudal para cuenca C-5

Esta cuenca cuenta con poca densidad de viviendas y tiene abundante vegetación, entre cultivos y árboles frutales, por lo que el coeficiente $C = 0.41$ correspondiente a un área no desarrollada de cultivo con pendiente entre 2 y 7 %, la intensidad de lluvia para este caso sigue siendo la misma $i = 116.74$ mm/h y el área de la misma es $A = 0.166$ km². sustituyendo estos valores en ecuación 4 se obtiene el caudal.

$$Q_{c-5} = 0.278 * 0.41 * 116.74 * 0.166$$

$$Q_{c-5} = 2.21 \text{ m}^3/\text{s}.$$

3.5.6. Caudal para cuenca C-6

Para esta cuenca que solo cuenta con vegetación y árboles frutales los valores para sustituir en la ecuación 4 son: $C = 0.41$, $i = 116.74$ mm/h, $A = 0.052$ km².

$$Q_{c-6} = 0.278 * 0.41 * 116.74 * 0.052$$

$$Q_{c-6} = 0.70 \text{ m}^3/\text{s}.$$

3.5.7. Caudal para cuenca C-7

La última de las cuencas se encuentra en área desarrollada con concreto y techos por lo tanto los valores para sustituir son: $C = 0.83$, $i = 116.74 \text{ mm/h}$, $A = 0.057 \text{ km}^2$. sustituyendo estos valores en ecuación 4 se obtiene el caudal

$$Q = 0.278 * C * i * A$$

$$Q_{c-7} = 0.278 * 0.83 * 116.74 * 0.057$$

$$Q_{c-7} = 1.54 \text{ m}^3/\text{s}.$$

La siguiente tabla recoge en resumen los valores de caudales para cada una de las cuencas definidas a lo largo del tramo carretero.

Tabla XXIII. **Caudales de cuencas**

No. Cuenca	Caudal m ³ /s
C-1	4.79
C-2	7.94
C-3	5.11
C-4	7.24
C-5	2.21
C-6	0.70
C-7	1.54

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4. PROPUESTA DE OBRAS DE DRENAJE MENOR EN TRAMO CARRETERO

4.1. Determinación de diámetros de tuberías con caudales de cuencas

Para poder determinar los diámetros de tubería adecuados para cada una de las cuencas analizadas en el capítulo anterior, se hizo uso de la ecuación de Manning para flujos de agua la cual se describe enseguida.

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

V = Velocidad m/s

R = Radio hidráulico en m

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

S = Pendiente m/m

También se hará uso de la ecuación para cálculo de caudales desarrollada por Chezy la cual es utilizada para cálculo de cantidades de agua.

$$Q = A * V \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

Q = Caudal en m³/s

A = Área en metros cuadrados

V = Velocidad en m/s

Despejando la ecuación de caudal de Chezy en favor de la velocidad para sustituir en la fórmula de Manning para cálculo de velocidad de un fluido y asumiendo que la tubería trabaja a sección llena se tiene un radio hidráulico igual a radio/2, también sabiendo que el área de una sección circular es de $\pi * \text{radio}^2$ se llega a la expresión que se muestra a continuación.

$$r = \left(0.51 * \frac{Q * n}{S^{1/2}}\right)^{3/8} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

- r = Radio de estructura circular en metros
- Q = Caudal en m³/s
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning
- S = Pendiente m/m

En la tabla siguiente se muestran valores del coeficiente n de Manning para diferentes tipos de material de los conductos que transportan los fluidos.

Tabla XXIV. **Coeficientes n de Manning**

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
Metal			
Acero			
Estriado Soldado	0.010	0.012	0.014
Ribeteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
Hierro fundido			
Recubierto	0.010	0.013	0.014
No recubierto	0.011	0.014	0.016
Hierro forjado			
Negro	0.012	0.014	0.015
Galvanizado	0.013	0.016	0.017

Continuación tabla XXIV.

Metal Corrugado			
Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
No Metal			
Cemento			
Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
Mortero	0.011	0.013	0.015
Concreto			
Alcantarilla recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basura	0.011	0.013	0.014
Bien terminado	0.011	0.012	0.014
Alcantarilla de aguas residuales	0.013	0.015	0.017

Fuente: SIECA (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica.*

Partiendo de lo expuesto de la tabla anterior se toma el coeficiente n para metal corrugado para drenaje de aguas provenientes de lluvias mínimo, el cual es 0.021, también se asumirá una pendiente S de 0.05 para todas las tuberías y el caudal será el calculado para cada una por lo que se procede a calcular las secciones para cada caudal establecido.

Para la cuenca C-1 se tiene un caudal $Q = 4.79 \text{ m}^3/\text{s}$ por lo que sustituyendo en la ecuación para el cálculo de radio (ecuación 13) se procede a determinar el mismo.

$$r = \left(0.51 * \frac{4.79 * 0.021^{3/8}}{0.05^{1/2}} \right)$$

$$r = 0.57 \text{ m}$$

Diámetro = 2 radio
Diámetro = 1.14 m

Diámetro = 45 pulgadas

El diámetro comercial para satisfacer la demanda de esta cuenca es de 48 pulgadas, este procedimiento se repite para cada una de las cuencas restantes, a continuación, se presentan los diámetros de tuberías y los kilometrajes de cada una de las tuberías.

Tabla XXV. **Diámetro de tuberías para cada cuenca**

Cuenca	Caudal m ³ /s	Diámetro m	Diámetro plg	Diámetro comercial plg	Material	Estación	Desfogue
C-1	4.79	1.14	45	48	Metal corrugado	1+960	L/D
C-2	7.94	1.36	54	60	Metal corrugado	3+970	L/D
C-3	5.11	1.20	47	48	Metal corrugado	5+320	L/D
C-4	7.24	1.34	53	60	Metal corrugado	6+690	L/I
C-5	2.21	0.86	34	36	Metal corrugado	7+985	L/D
C-6	0.70	0.55	21	36	Metal corrugado	8+420	L/D
C-7	1.54	0.74	30	36	Metal corrugado	8+605	L/I

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2. Determinación de caudal y sección de cunetas

Para determinar los caudales y por medio de estos las secciones de las cunetas se hizo uso de uno de los métodos expuestos por SIECA (2016) en el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica.

4.2.1. Cálculo de caudal para drenaje longitudinal

Para el cálculo de caudales se emplea la ecuación racional modificada siempre y cuando se utilice para cada una de las áreas que influyen en la longitud de la cuneta según el tipo de superficie que tienen las mismas, así el caudal total será la sumatoria de todos los caudales de las zonas que aportan.

La ecuación racional modificada para drenaje longitudinal es la siguiente:

$$Q = C * i * \frac{L}{3,600,000} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía (tabla XIII según tiempo de retorno)

i = Intensidad de lluvia mm/h según zona

L = longitud (m) por zona.

Para poder establecer la intensidad de lluvia se debe de encontrar el tiempo de concentración por medio de la ecuación que se muestra a continuación.

$$t_c = \frac{527 * b * L^{\frac{1}{3}}}{(C * i)^{\frac{2}{3}}} \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

$$b = \frac{0.0000276 * l + C_r}{S^{\frac{1}{3}}}$$

t_c = Tiempo de concentración (min)

i = Intensidad de lluvia (mm/h)

- L = Longitud de escurrimiento (m)
- C = Coeficiente de escorrentía (K)
- C_r = Coeficiente de retardo de superficie
- S = Pendiente de superficie

Los Coeficientes de retardo (C_r) y de Escorrentía K (C) están dados por en las siguientes tablas.

Tabla XXVI. **Coeficiente de escorrentía K (C)**

Superficie	K
Área residencial Urbana	
-Solo casas residenciales	0.30
-Apartamentos con espacios verdes	0.50
-Áreas de edificios comerciales e industriales	0.90
Áreas boscosas, dependiendo del suelo	0.05 – 0.20
Parques, terrenos agrícolas y pastizales	0.05 – 0.20
Asfalto o pavimento de concreto	0.85

Fuente: SIECA (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica.*

Tabla XXVII. **Coeficiente de retardo Cr según superficie**

Superficie	C _r
Superficies lisas asfálticas	0.07
Pavimento de concreto	0.012
Pavimento de grava	0.017

Continuación tabla XXVII.

Césped muy tupido	0.046
Pastizales	0.060

Fuente: SIECA (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica.*

Con la ecuación de tiempo de concentración de lluvia y sabiendo todas las variables y ecuaciones a sustituir en la misma, como la fórmula de intensidad de lluvia (ecuación 5), se llega a la expresión siguiente.

$$T_c - 527 * \left(0.0000276 * \frac{A}{(B + T_c)^n} + C_r \right) * \left(\frac{L}{S} \right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{1}{\left(\frac{A * K}{(B + T_c)^n} \right)^{\frac{2}{3}}} \right) = 0 \quad (\text{Ec. 16})$$

Se debe de cumplir la relación anterior con un tiempo de concentración (T_c) que sustituido provoque un resultado igual a cero, si el valor de T_c es menor a cinco minutos se usará la intensidad de lluvia igual a cinco, si el valor de T_c es mayor a cinco se utilizará la intensidad igual al valor de T_c que satisfaga dicha relación igual a cero.

Cabe resaltar que el tiempo de retorno T_r a utilizar será el mismo que se utilizó en el cálculo de las tuberías, 10 años.

A continuación, se procede a calcular un tramo de cuneta partiendo de las ecuaciones anteriores (fórmula racional modificada y relación para tiempo de concentración).

El tramo a calcular es el que comprende de la estación 0+300 a 0+520 lado izquierdo, se cuenta con dos tipos de superficies las cuales son: superficie de la cuenca y superficie de asfalto. La pendiente promedio de la carretera es de 6.80, los coeficientes K y C_r se deducen de las tablas XXV y XXVI respectivamente. La pendiente del terreno en este tramo se calcula por medio de las curvas de nivel de las hojas 1:50,000 para establecer la cota máxima y mínima estas son $h_1 = 715$ msnm y $h_2 = 685$ msnm para hacer una diferencia de 30 metros, la longitud que es la misma a la longitud del asfalto.

Para asfalto se tienen los datos siguientes:

$L = 220$ m
 $S = 6.80$
 $K = 0.85$
 $C_r = 0.007$
 $A = 1,150$
 $B = 11$
 $n = 0.616$

Se procede a sustituir en ecuación 16.

$$T_c - 527 * \left(0.0000276 * \frac{1150}{(11 + T_c)^{0.616}} + 0.007 \right) * \left(\frac{220}{0.068} \right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{1}{\left(\frac{1150 * 0.85}{(11 + T_c)^{0.616}} \right)^{\frac{2}{3}}} \right) = 0$$

El valor de tiempo de concentración para satisfacer la fórmula es de 3.11 minutos, por lo que se utilizará en la ecuación racional modificada el valor de intensidad de lluvia para cinco minutos para un período de retorno de 10 años.

Para la cuenca se tienen los datos siguientes:

L = 220 m
 S = 0.14
 K = 0.10
 Cr = 0.060
 A = 1,150
 B = 11
 n = 0.616
 ΔH = 30 m

Se procede a sustituir en ecuación 16.

$$T_c - 527 * \left(0.0000276 * \frac{1150}{(11 + T_c)^{0.616}} + 0.060 \right) * \left(\frac{220}{0.14} \right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{1}{\left(\frac{1150 * 0.10}{(11 + T_c)^{0.616}} \right)^{\frac{2}{3}}} \right) = 0$$

El valor de tiempo de concentración para satisfacer la fórmula es de 117.08 minutos, por lo que se utilizará en la ecuación racional modificada el valor de intensidad de lluvia para 105 minutos para un período de retorno de 10 años.

Con los resultados anteriores se procede a calcular los caudales que aportan cada una de las regiones (asfalto y cuenca) con la ayuda de la ecuación racional modificada (ecuación 14), para cada una de las superficies se tomará el coeficiente de escorrentía para cada superficie de la tabla XIII para un período de retorno de 10 años.

Caudal para superficie de asfalto: se tiene un valor de C = 0.81, una intensidad de lluvia para 105 minutos i = 208.43 mm/h (tabla XVIII) y una longitud de 220.00 m, estos se sustituyen en la ecuación 14.

$$Q_{asfalto} = 0.81 * 208.43 * \frac{220}{3,600,000}$$

$$Q_{asfalto} = 0.010 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal para superficie de la cuenca: se tiene un valor de $C = 0.44$ (se escogió el valor para área de cultivo con una pendiente superior a 7 % para diez años), una intensidad de lluvia para 5 minutos $i = 61.52 \text{ mm/h}$ (tabla XVIII) y una longitud de 220.00 m, estos se sustituyen en la ecuación 14.

$$Q_{asfalto} = 0.44 * 61.52 * \frac{220}{3,600,000}$$

$$Q_{cuenca} = 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal de diseño será:

$$Q_{Total} = Q_{cuenca} + Q_{asfalto} \quad (\text{Ec. 17})$$

$$Q_{total} = 0.010 + 0.002$$

$$Q_{Total} = 0.012 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2.2. Cálculo de sección de cuneta

Con este caudal se procede a calcular las dimensiones de la cuneta con ayuda de la ecuación de Manning (ecuación 11) y de Chezy para cálculo de caudales (ecuación 12).

Se realizó el cálculo para una sección cuadrada cuyo radio hidráulico es:

$$R_h = \frac{b * y}{b + 2y} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

Rh = Radio hidráulico (m)

b = Base (m)

y = Altura mojada (m)

El área para una sección cuadrada es base por altura (b * y), sustituyendo la ecuación de Chezy en la de Manning se llega a la siguiente expresión.

$$b * y * \left(\frac{b * y}{b + 2y} \right)^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}} \quad (\text{Ec. 19})$$

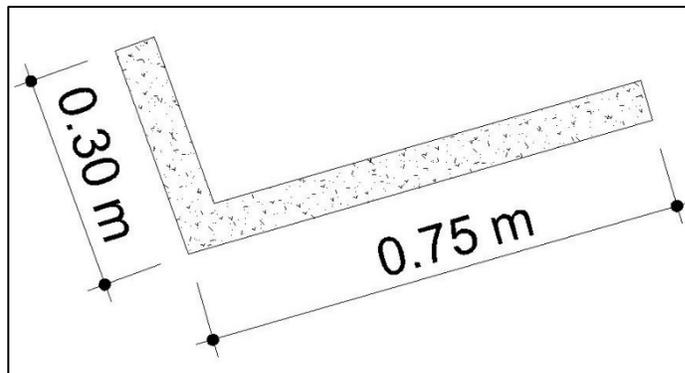
Asumiendo una base de 0.20 m para la sección rectangular, una pendiente de 6.5 que garantiza no generar problemas de erosión ni azolvamiento dentro del canal como se explicó en el numeral 1.2.1., un factor de rugosidad n de Manning de 0.016 según el material de la superficie (tomado de tabla II) y el caudal calculado que es Q = 0.012 m³/s, se procede a sustituir valores en la ecuación anterior para encontrar la altura “mojada” de la sección.

$$0.20 * y * \left(\frac{0.20 * y}{0.20 + 2y} \right)^{2/3} = \frac{0.012 * 0.016}{0.065^{1/2}}$$

Despejando para y, se tiene un valor de 0.05 m para satisfacer la expresión anterior, por lo que la sección de canal rectangular para el tramo es de 0.20 m de base por 0.10 m de altura ya que los 0.05 m que arrojó el cálculo es la altura máxima del fluido dentro del canal. Las medidas hacen que la sección en metros cuadrados sea de 0.02 m².

Para esta longitud se propone una sección tipo L de dimensiones: respaldo de cuneta = 0.30 m y piso de cuneta = 0.75 m. Las dimensiones se plantean según experiencia en campo y características del lugar de estudio, además cumple con el área requerida por el fluido que es de 0.02 m² y con la sección propuesta se cuenta con un área de 0.11 m².

Figura 24. **Sección de cuneta propuesta estación 0+300 a 0+520 L/I**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

De la misma forma como se analizó el tramo de 220 m de longitud de cuneta se realizó para todos los tramos propuestos a continuación.

4.3. Propuesta de estructuras

A continuación, se presenta cada uno de los elementos de drenaje menor que se hacen necesarios dentro del tramo carretero para que la evacuación del agua sea óptima.

4.3.1. Hombro

El tramo carretero en toda su longitud no cuenta con hombro en los laterales de la misma, siendo este elemento un protector de las orillas del asfalto que evita la filtración de agua cerca de la subestructura del pavimento, además de evitar que la vegetación crezca en los extremos, se propone un hombro de 0.30 m a lo largo de los ocho kilómetros y setecientos treinta y cuatro metros que tiene la carretera.

4.3.2. Tuberías

En la siguiente tabla se contabilizan y ubican las tuberías necesarias dentro del tramo carretero.

Tabla XXVIII. Listado total de tuberías propuestas

No.	Estación	Diámetro plg	Punto Entrada	Punto Salida	Descripción	Observaciones
1	0+520	36	L/I	L/D	Existente/Reemplazo	Sin Esviaje
2	0+990	36	L/I	L/D	Existente/Reemplazo	Sin Esviaje
3	1+430	36	L/I	L/D	Existente/Reemplazo	Sin Esviaje
4	1+960	48	L/I	L/D	Nueva/fluido cuneta	Esviaje a la derecha
5	2+500	36	L/I	L/D	Nueva/fluido cuneta	Esviaje a la derecha
6	3+020	36	L/I	L/D	Nueva/fluido cuneta	Esviaje a la derecha
7	3+400	36	L/I	L/D	Existente/Reemplazo	Sin Esviaje
8	3+800	36	L/I	L/D	Existente/Reemplazo	Sin Esviaje
9	3+970	60	L/I	L/D	Existente/Reemplazo/fluido cuneta	Sin Esviaje
10	4+600	36	L/I	L/D	Nueva/fluido cuneta	Esviaje a la derecha
11	4+900	36	L/I	L/D	Nueva/fluido cuneta	Sin esviaje
12	5+320	48	L/I	L/D	Nueva/fluido cuneta	Sin Esviaje
13	5+665	42	L/D	L/I	Existente/sin reemplazo	Sin Esviaje
14	5+800	36	L/D	L/I	Existente/Reemplazo	Sin Esviaje
15	6+160	36	L/D	L/I	Nueva/fluido cuneta	Esviaje a la izquierda
16	6+690	60	L/D	L/I	Nueva/fluido cuneta	Esviaje a la izquierda
17	7+360	36	L/I	L/D	Existente/Reemplazo	Sin Esviaje
18	7+985	36	L/I	L/D	Nueva/fluido cuneta	Esviaje a la derecha
19	8+420	36	L/I	L/D	Nueva/fluido cuneta	Esviaje a la izquierda
20	8+605	36	L/D	L/I	Nueva/fluido cuneta	Esviaje a la izquierda

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El material de las tuberías es metal corrugado, el tramo carretero en la actualidad cuenta con 9 tuberías por lo que con la propuesta se incrementa en 122 % la cantidad de las mismas siendo el diámetro menor de 36 pulgadas y el mayor de 60 pulgadas. Se pasa de contar con una densidad de 1.03 tuberías por km. a 2.3 tuberías por km.

4.3.3. Cunetas

A continuación, se muestran las áreas de cunetas, así como las secciones propuestas para cada uno de los tramos.

Tabla XXIX. **Propuesta de áreas de cunetas lado izquierdo**

De estación	A estación	Longitud (m)	Tipo	Dimensiones (m)
0+520	0+660	140	L	0.30 x 0.75
0+660	0+990	330	L	0.30 x 0.75
1+100	1+430	330	L	0.30 x 0.75
1+560	1+960	400	L	0.30 x 1.00
2+160	2+500	550	L	0.30 x 1.00
2+600	3+020	420	L	0.30 x 1.00
3+200	3+400	200	L	0.30 x 0.75
3+600	3+970	370	L	0.30 x 1.00
4+200	4+600	400	Rectangular	0.30 x 0.20
4+600	4+900	300	Rectangular	0.30 x 0.20
4+900	5+320	420	Rectangular	0.30 x 0.25
5+320	5+665	345	Rectangular	0.30 x 0.20
5+665	5+800	144	Rectangular	0.30 x 0.20
5+800	6+160	360	Rectangular	0.40 x 0.20
6+160	6+690	530	Rectangular	0.40 x 0.25
6+850	7+360	510	Rectangular	0.40 x 0.25
7+500	7+985	485	Rectangular	0.40 x 0.25
8+000	8+130	130	Rectangular	0.30 x 0.20
8+200	8+350	150	Rectangular	0.30 x 0.20
8+420	8+560	140	Rectangular	0.30 x 0.20
8+560	8+605	45	Rectangular	0.30 x 0.20

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXX. **Propuesta de áreas de cunetas lado derecho**

De estación	A estación	Longitud (m)	Tipo	Dimensiones (m)
1+080	1+200	120	L	0.30 x 0.75
1+280	1+440	160	L	0.30 x 0.75
1+600	1+760	160	L	0.30 x 0.75
2+000	2+400	400	L	0.30 x 1.00
2+700	3+020	320	L	0.30 x 1.00
3+350	3+680	330	Rectangular	0.30 X 0.20
3+700	3+800	100	L	0.30 x 0.75
3+850	3+970	120	L	0.30 x 0.75
4+200	4+600	400	Rectangular	0.30 X 0.20
4+650	4+900	250	Rectangular	0.30 X 0.20
4+950	5+320	370	Rectangular	0.30 X 0.25
5+350	5+665	315	Rectangular	0.30 X 0.25
5+700	5+800	100	Rectangular	0.30 X 0.20
5+850	6+160	310	Rectangular	0.30 X 0.20
6+200	6+690	490	Rectangular	0.30 X 0.25
6+850	7+360	510	Rectangular	0.30 X 0.25
7+500	7+985	485	Rectangular	0.30 X 0.25
8+050	8+100	50	Rectangular	0.30 X 0.20
8+400	8+560	160	Rectangular	0.30 X 0.20
8+560	8+605	45	Rectangular	0.30 X 0.20

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Cada tramo fue diseñado atendiendo todas las variables que influyen para determinar las dimensiones de las mismas, las cunetas rectangulares están propuestas en áreas donde el uso del suelo ha cambiado, es decir en la orilla de la carretera hay una cantidad grande de viviendas por lo que el caudal es mayor, también se tomó en cuenta que este tipo de cunetas se adaptan para que en la parte superior se pueden colocar rejillas o pequeñas losas de concreto para favorecer el ingreso de los vehículos a las residencias.

En el lado izquierdo se propone una longitud total de cunetas de 6,699 m lo que eleva en un 57 % más en comparación con los 1,751 m con que cuenta en la actualidad.

Del lado derecho se hace la propuesta de una longitud de cunetas de 5,195 m lo que equivale al 60 % del largo del tramo carretero y eleva en un 33 % en comparación con la cantidad que actualmente hay construidas de este lado.

4.3.4. Cajas y cabezales

Estos elementos estructurales que le dan soporte a las tuberías y ayudan a encauzar el agua hacia la misma dependen del diámetro del tubo, así como las características de colocación (si tiene esviaje o no) así como de la particularidad del terreno sobre el cual se va a construir.

A continuación, se enlistan los puntos donde se colocarán cada una de las estructuras.

Tabla XXXI. **Propuesta de cajas y cabezales**

No.	Estación	Diámetro plg	L/I	L/D
1	0+520	36	Caja	Cabezal
2	0+990	36	Caja	Cabezal
3	1+430	36	Caja	Cabezal
4	1+960	48	Cabezal	Cabezal
5	2+500	36	Caja	Cabezal
6	3+020	36	Caja	Cabezal
7	3+400	36	Caja	Cabezal
8	3+800	36	Caja	Cabezal
9	3+970	60	Caja	Cabezal
10	4+600	36	Caja	Cabezal
11	4+900	36	Caja	Cabezal
12	5+320	48	Cabezal	Cabezal
13	5+665	42	Cabezal / existente / condiciones aceptables	Caja / existente / condiciones aceptables
14	5+800	36	Cabezal	Caja
15	6+160	36	Cabezal	Caja
16	6+690	60	Cabezal	Cabezal

Continuación tabla XXXI.

17	7+360	36	Caja	Cabezal
18	7+985	36	Cabezal	Cabezal
19	8+420	36	Cabezal	Cabezal
20	8+605	36	Cabezal	Cabezal

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.3.5. Disipadores de energía

Estas estructuras evitarán erosión de suelos en la salida de agua en determinados puntos a lo largo del tramo carretero. Es importante mencionar que las dimensiones de los disipadores dependen de la sección de desfogue (cuneta o tubería) que vaya a conectar, debe de considerarse que el área de la sección del derramadero debe ser igual o mayor que el área del elemento a desfogar.

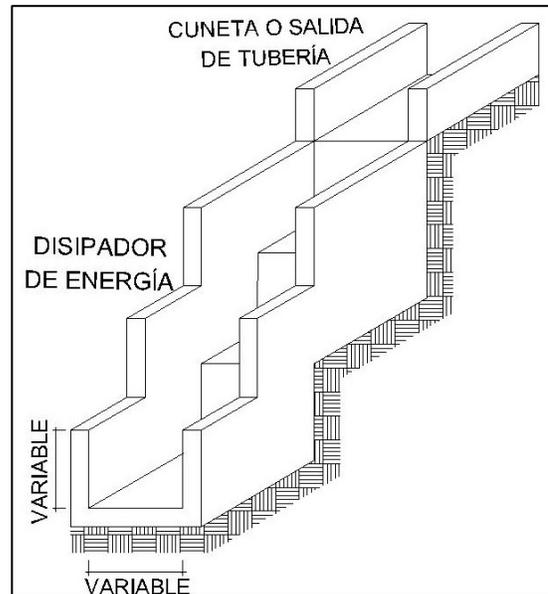
A continuación, se enumeran los estacionamientos donde se requerirá la construcción de estas obras.

Tabla XXXII. **Propuesta de puntos de disipadores de energía**

No.	Estación	Lado	Estructura a desfogar
1	5+320	Derecho	Tubería de 48"
2	5+665	Izquierdo	Tubería de 42"
3	5+800	Izquierdo	Tubería de 36"
4	6+160	Izquierdo	Tubería de 36"
5	6+690	Izquierdo	Tubería de 60"
6	8+130	Izquierdo	Cuneta
7	8+200	Izquierdo	Cuneta
8	8+100	Derecho	Cuneta
9	8+400	Derecho	Cuneta

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 25. **Ejemplo de disipador de energía**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

4.4. Mantenimiento

Para el correcto funcionamiento de los distintos elementos estructurales de drenaje menor propuestos anteriormente, es importante hacerles periódicamente servicios de mantenimiento para que estos cumplan su cometido de mantener alejada el agua de la estructura del pavimento.

4.4.1. Hombros

Al estar estos elementos en las orillas del pavimento y comúnmente los vehículos los utilizan para estacionarse y/o salirse de la carretera, se ven dañados de la superficie, ya sea que estén contruidos de mezcla asfáltica o concreto, la mayoría de las veces se ven con hundimientos o quebrados. Se debe

de procurar repararlos rápidamente ya que entre las grietas se produce el crecimiento de vegetación que evita que el agua sea eliminada rápidamente.

4.4.2. Tuberías

Los puntos de entrada y de salida deben de estar completamente despejados de todo material sólido que represente un impedimento para que el flujo de agua pueda transitar por la transversal de forma libre y rápida.

También se debe de limpiar la parte baja de la tubería de cualquier azolvamiento de suelo que pueda generarse en la misma, además se debe de revisar periódicamente la misma en toda su estructura ya que no debe de haber ningún tipo de depresión o deformación en toda su circunferencia a lo largo de la misma.

Se debe revisar que la tubería no presente ningún tipo de corrosión, quebradura, grieta o rasgadura según el material de la misma ya que se debe evitar en todo momento la filtración de líquido que pueda dañar la estructura del pavimento.

4.4.3. Cunetas

Regularmente las cunetas están construidas de concreto clase 2,000 psi y es común que el tipo *L* muchas veces las utilicen para parquear automotores sobre las mismas provocando grietas en las mismas y en el peor de los casos resultan quebradas.

Cuando una cuneta se encuentra quebrada, esta debe ser reconstruida en el área afectada ya que las grietas facilitan la filtración de agua que puede provocar socavación del material por debajo de la misma.

Las cunetas deben ser limpiadas antes del ingreso del invierno y durante el mismo ya que no deben tener dentro de la sección materiales sólidos que provoquen obstrucción, taponamiento o generen azolvamiento en la misma ya que estos elementos deben garantizar el retiro rápido de agua de las cercanías del pavimento.

En las áreas donde se encuentran cunetas de sección rectangular y existan ingresos peatonales o vehiculares hacia las viviendas a orillas de la carretera, en los tramos donde existen los pasos (planchas de concreto, rejillas) instalados por encima de la cuneta por ningún motivo deben de ser tapados o deben tener materiales sólidos que impidan el paso de la escorrentía.

4.4.4. Cajas y cabezales

Las cajas siempre se ven afectadas por los residuos sólidos que las personas arrojan en la vía por lo que éstas en su interior se ven invadidas y provocan azolvamiento en la misma por lo que la libre circulación del agua se ve afectada, por tal motivo las mismas deben de limpiarse antes y durante el invierno de cualquier residuo que pueda provocar que su funcionamiento no sea el óptimo.

Los cabezales están expuestos a que sus bases se ven socavadas por la fuerza y flujo desordenado del agua, por lo que regularmente debe revisarse el suelo en el que están contruidos para verificar que no haya ninguna parte de la cimentación expuesta, el colapso de un cabezal puede provocar en determinado momento el colapso de la sección del pavimento. Cualquier irregularidad

observada en toda la estructura debe ser reparada o protegida para evitar un daño mayor a la misma.

4.4.5. Disipadores de energía

Estos elementos al ordenar y reducir la fuerza de la caída del agua de diferencia de alturas considerables deben de estar libres de cualquier obstáculo dentro la estructura para evitar que el agua salte fuera de la misma.

Al construirse regularmente de concreto ciclópea clase 2,000 psi se debe de verificar en verano que no presente ningún tipo de grieta o quebradura que favorezca la filtración de agua ya que esto puede provocar socavamiento por debajo del elemento y colapsar el mismo. Si se observan desperfectos en la sección de los disipadores, estos deben de repararse para que cuando ocurra la circulación de agua esta misma no coopere a empeorar el daño.

Para realizar de una mejor manera el trabajo de mantenimiento en las diferentes estructuras de drenaje menor, se deben seguir las indicaciones de la sección 100 (Derecho de vía), sección 500 (hombros) y sección 800 (drenajes) de (SIECA, 2010) y la sección I de la Unidad Ejecutora de Conservación de Carreteras (2001). Aplicando las indicaciones de estos manuales se garantiza el correcto funcionamiento del sistema de drenaje menor en el tramo carretero.

CONCLUSIONES

1. Se pudo constatar que para diseñar un sistema de drenaje menor en un tramo carretero, es necesario tener en cuenta todas las variables que influyen en el mismo, ya que el caudal de escorrentía no depende únicamente de la intensidad de lluvia en el lugar, también depende del uso del suelo que tienen las áreas paralelas a la carretera ya que por medio de esto se determina el coeficiente de escorrentía que se aplica a la ecuación del método racional, además de tener bien delimitada el área de las cuencas que aportan a la carretera.
2. Por medio de los recorridos que se hicieron al tramo carretero se pudo evidenciar que el sistema de drenaje menor en el mismo es insuficiente, obsoleto y la mayoría de los mismos no tienen funcionamiento por estar azolvados.
3. A lo largo de la carretera principalmente en las zonas cercanas a los poblados, el uso del suelo ha cambiado, ya que los municipios han crecido a lo largo de la carretera por lo que estas áreas son catalogadas como zonas urbanas para el establecimiento de los coeficientes de escorrentía en los cálculos hidrológicos e hidráulicos.
4. En el área del invierno en los meses de mayo a octubre, se presenta la mayor cantidad de precipitación. En cuanto a la intensidad de lluvia, esta es mayor durante los primeros cinco minutos y disminuye conforme pasa el tiempo.

5. Para realizar un buen trabajo de mantenimiento de las diferentes estructuras de drenaje menor que forman parte de un tramo carretero, tomar en cuenta el Manual de Procedimientos de Conservación de Carreteras de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial del Ministerio de Comunicaciones, infraestructura y vivienda.

RECOMENDACIONES

1. Bachar dentro de los límites de la carretera respetando los peraltes en rectas, ya que él mismo hace que el agua escurra hacia los laterales y no circule el agua por mucho tiempo encima del pavimento.
2. Mantener los extremos de la carretera libres de vegetación en exceso mientras la misma no cuente con estructura de hombro en las orillas, ya que la misma tiene un factor de escurrimiento muy bajo lo que hace que el agua se filtre al subsuelo y ponga en riesgo la estructura del pavimento.
3. Limpiar y darles mantenimiento a todas las estructuras de drenaje antes de que el invierno haga su entrada cada año, ya que teniendo el sistema en óptimas condiciones garantizará que el mismo no colapse y dañe la carretera.
4. Concientizar a las autoridades locales y a las personas en general para que no consideren las distintas obras de drenaje menor como basureros, ya que objetos sólidos son un obstáculo para la libre circulación de escorrentía dentro de los elementos.
5. Capacitar a los habitantes para que las entradas a sus viviendas que se encuentran a orillas de la carretera no sean un obstáculo para la escorrentía dentro de la cuneta, y así el agua no salga de la misma y no ocasione problemas de erosión al terreno cercano al pavimento.

6. Involucrar a la entidad gubernamental encargada del mantenimiento de las carreteras del país para que haga un mapeo de los tramos carreteros con alta densidad poblacional en los alrededores, ya que esto genera un cambio en el uso del suelo y por consiguiente una variación en los coeficientes de escorrentía.

REFERENCIAS

1. Aroche, K. (16 de septiembre, 2021). Las zonas climáticas de Guatemala. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://aprende.guatemala.com/historia/geografia/zonas-climaticas-de-guatemala/>.
2. Castro, P. B. (2014). *Diseño de alcantarillas transversales en vías terrestres para soportar el arrastre de materiales por fenómenos naturales en el estacionamiento 90+222, Tecpán, Chimaltenango, para cuencas con área ideal, utilizando el método racional*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
3. Chow, V. T. (1994). *Hidraulica de Canales Abiertos*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
4. Cultura10. (s.f.). *Calzada Romana, Caminos que conducen a la unificación imperial*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.cultura10.org/romana/calzada/>.
5. Dirección General de Caminos (2001). *Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes*. Guatemala: Autor.
6. Ecología. (04 de junio, 2017). Glosarios. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://glosarios.servidor-alicante.com/ecologia/bocacosta>.

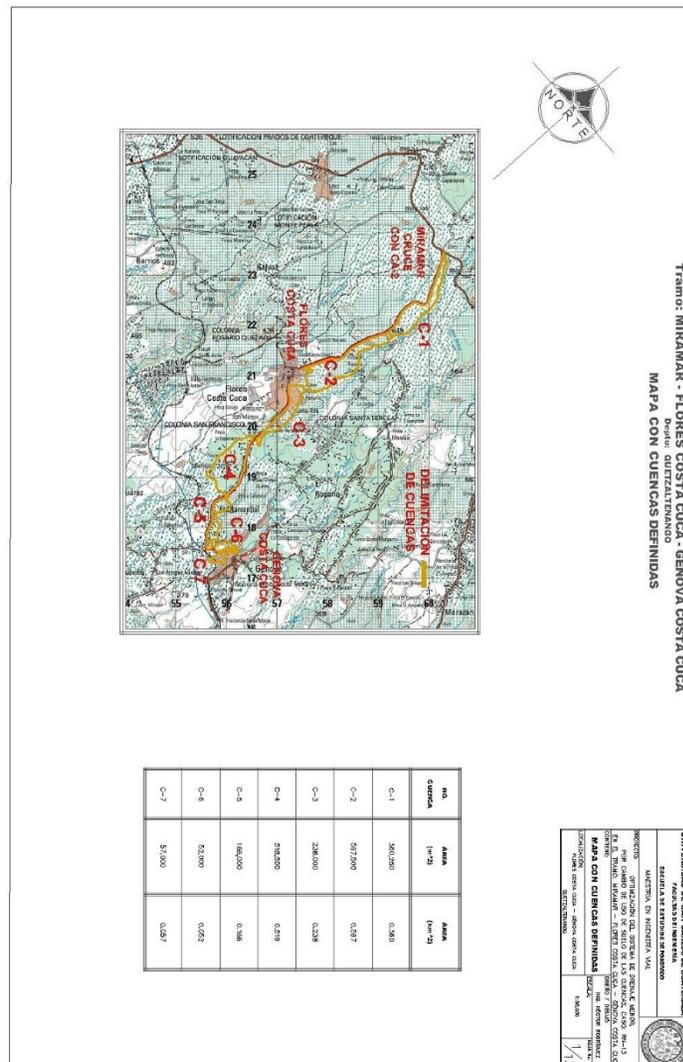
7. Estación meteorológica Xoluta (2021). *Reporte de precipitación promedio*. Guatemala: Autor.
8. Estación meteorológica Xoluta (2021). *Reporte de temperatura, humedad y viento*. Guatemala: Autor.
9. Giles, R., Evett, J. y Liu, C. (1994). *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*. Madrid, España: McGraw-Hill.
10. Gutiérrez, O. y Valdés, J. (2005). *Ubicación espacial de las ciudades prehispánicas en la bocacosta de Guatemala (estudio)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de http://ihaa.usac.edu.gt/archivohemerografico/wpcontent/uploads/2017/11/50_estudios_2005_gutierrez.pdf.
11. Instituto Geográfico Nacional (2009). *1859 IV (Flores Costa Cuca) y 1860 III (Coatepeque)*. Guatemala: Autor.
12. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2003). *Estudio de Intensidades del lluvia en Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://www.insivumeh.gob.gt/folleto/INFORME%20de%20intensidades%20de%20lluvia%20Guatemala.pdf>.
13. Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático (2015) *Estaciones Meteorológicas*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://redmet.icc.org.gt/>.

14. Kraemer, C., Rossi, S. y Pardillo, M. (2004). *Ingeniería de Carreteras (tomo II)*. Madrid, España: McGraw-Hill.
15. Linsley, R., Kohler, M. y Paulhus, J. (1993). *Hidrología para Ingenieros*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
16. McCormac, J. (2005). *Topografía*. México: Limusa Wiley.
17. Medina Carlos. (6 de octubre, 2017). *Primeras Carreteras del Mundo*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://motorydominio.com.mx/investigaciones/primeras-carreteras-del-mundo#.YSXib45KhPY>.
18. Meteorología y climatología de Navarra. (s.f.). *Viento*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://meteo.navarra.es/definiciones/viento.cfm>.
19. Merritt, F. S. (1992). *Manual del Ingeniero Civil*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
20. Ponce, V. M. (14 de mayo, 2008). Preguntas y respuestas sobre el período de retorno a ser usado para diseño. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: http://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html.
21. Ponce, V. M. (2018). *Manual de Drenaje de Carreteras*. San Diego, Estados Unidos: Autor.

22. Prensa Libre (02 de septiembre, 2019). Mapa de Guatemala y sus departamentos por regiones. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://prensalibre.com/vida/escenario/mapa-de-guatemala-y-sus-departamentos-por-regiones/>.
23. Sanz, J. M. (17 de diciembre, 2015). Los Ilustres: Pierre Marie Jérôme Trésaguet. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://ingeniaviarum.wordpress.com/2015/12/17/pierre-marie-jerome-tresaguet-1717-1796/>.
24. Secretaría de Integración Económica Centroamericana (2010). *Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras*. Guatemala: Autor.
25. Secretaría de Integración Económica Centroamericana (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. El Salvador: Autor.
26. Tecnología. (15 de noviembre, 2020) Delhipages. [Mensaje en un blog] Recuperado de <https://delhipages.live/tecnologia/automoviles-y-otros-vehiculos/road>.
27. Unidad Ejecutora de Conservación de Carreteras (2001). *Manual de Procedimientos de Conservación de Carreteras*. Guatemala: Autor.
28. Vides, A. (1981). *Construcción de Carreteras*. Guatemala, Guatemala: Piedra Santa.

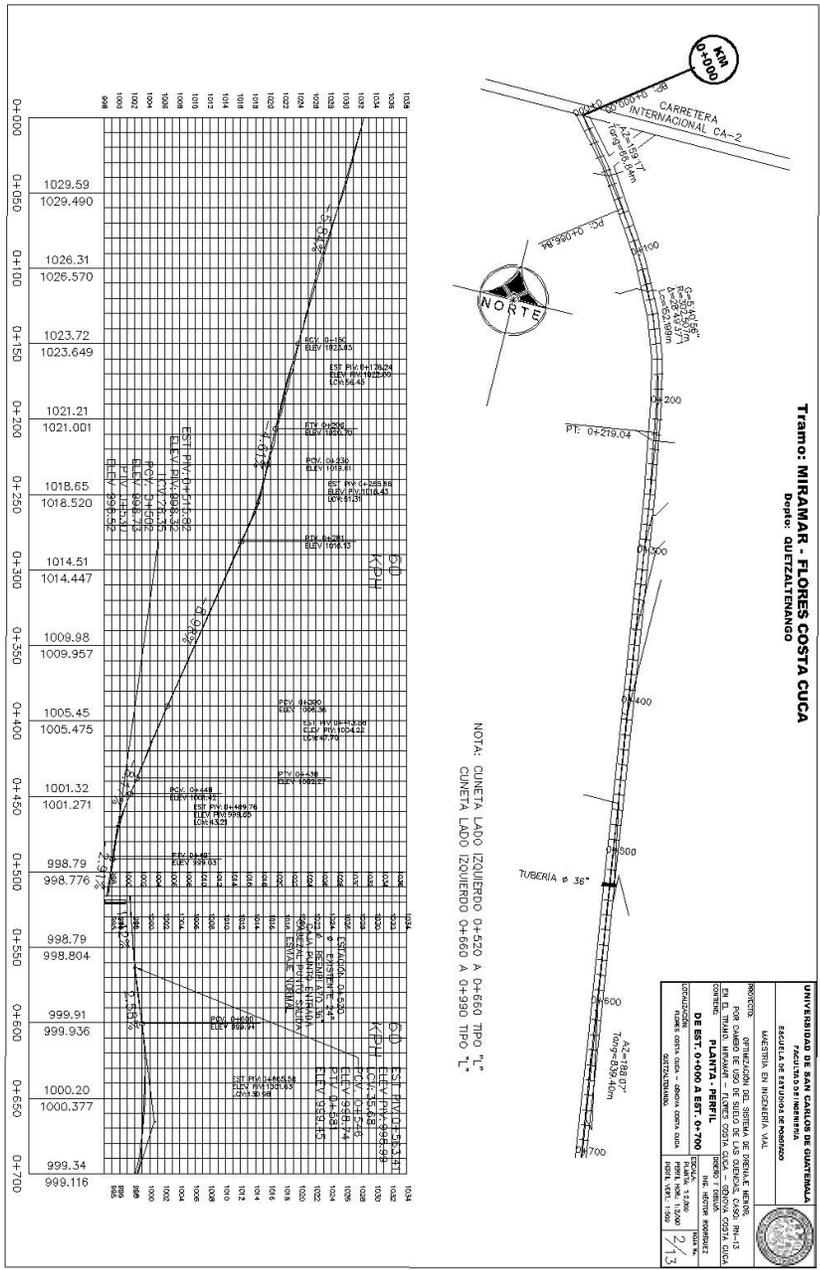
APÉNDICES

Apéndice 1. Plano: Mapa con Cuencas definidas, tramo: Miramar – Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca



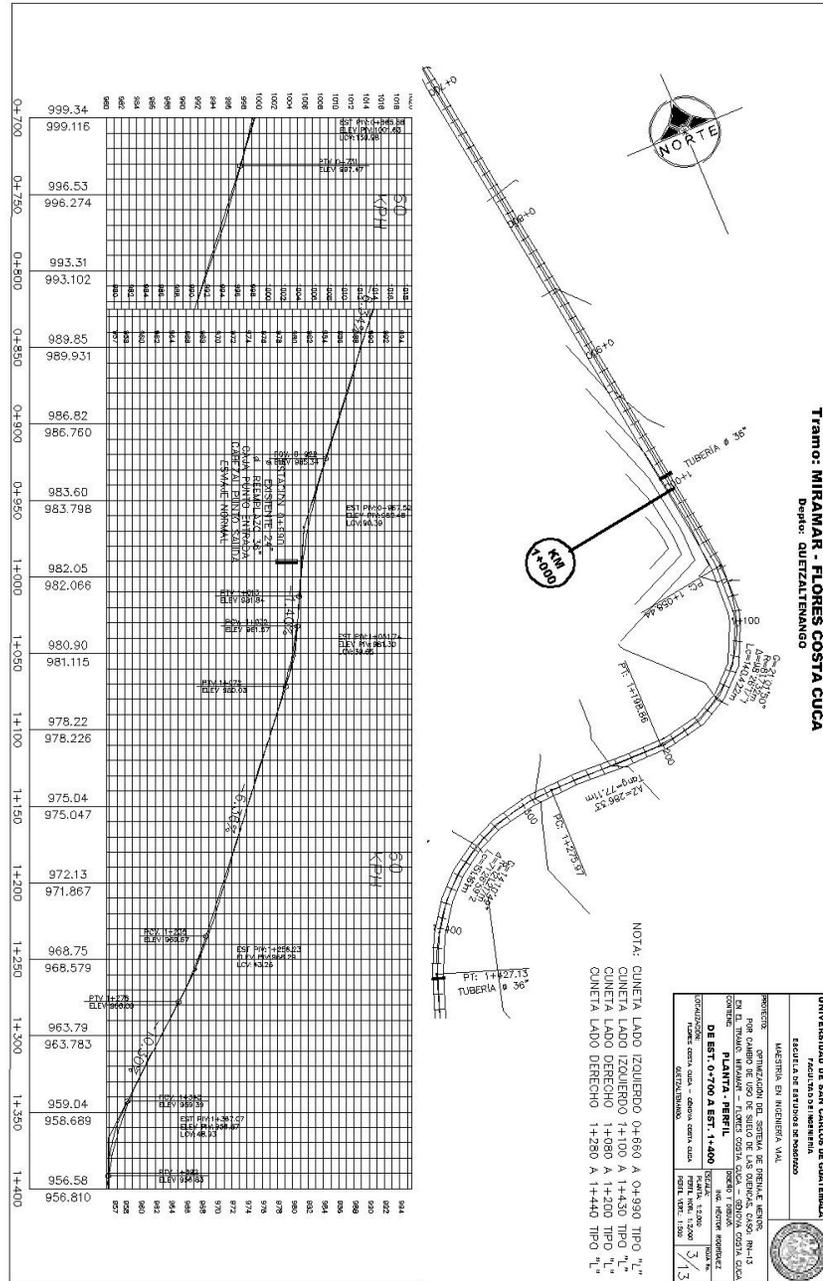
Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Apéndice 2. **Plano: Planta – Perfil. Estación 000+000 a 000+700, tramo: Miramar – Flores Costa Cuca**



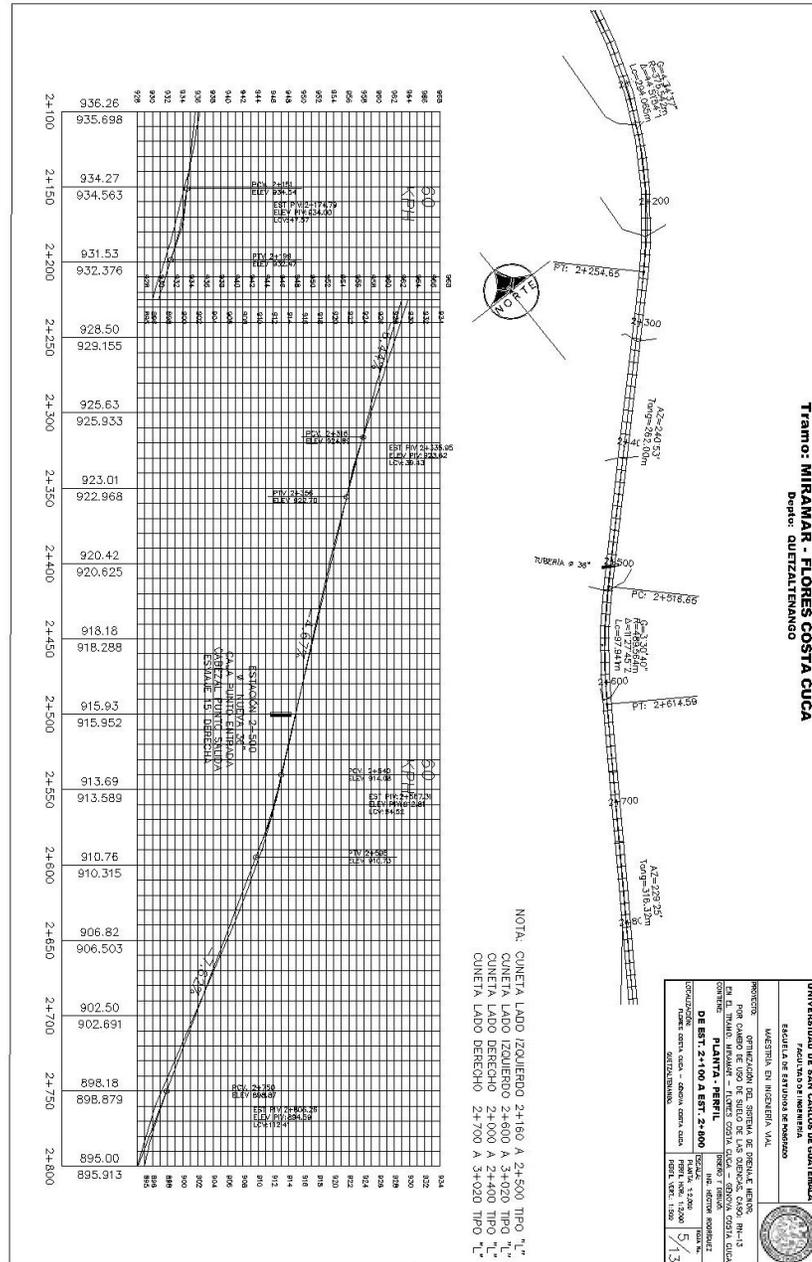
Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Apéndice 3. **Plano: Planta – Perfil. Estación 000+700 a 001+400, tramo: Miramar – Flores Costa Cuca**



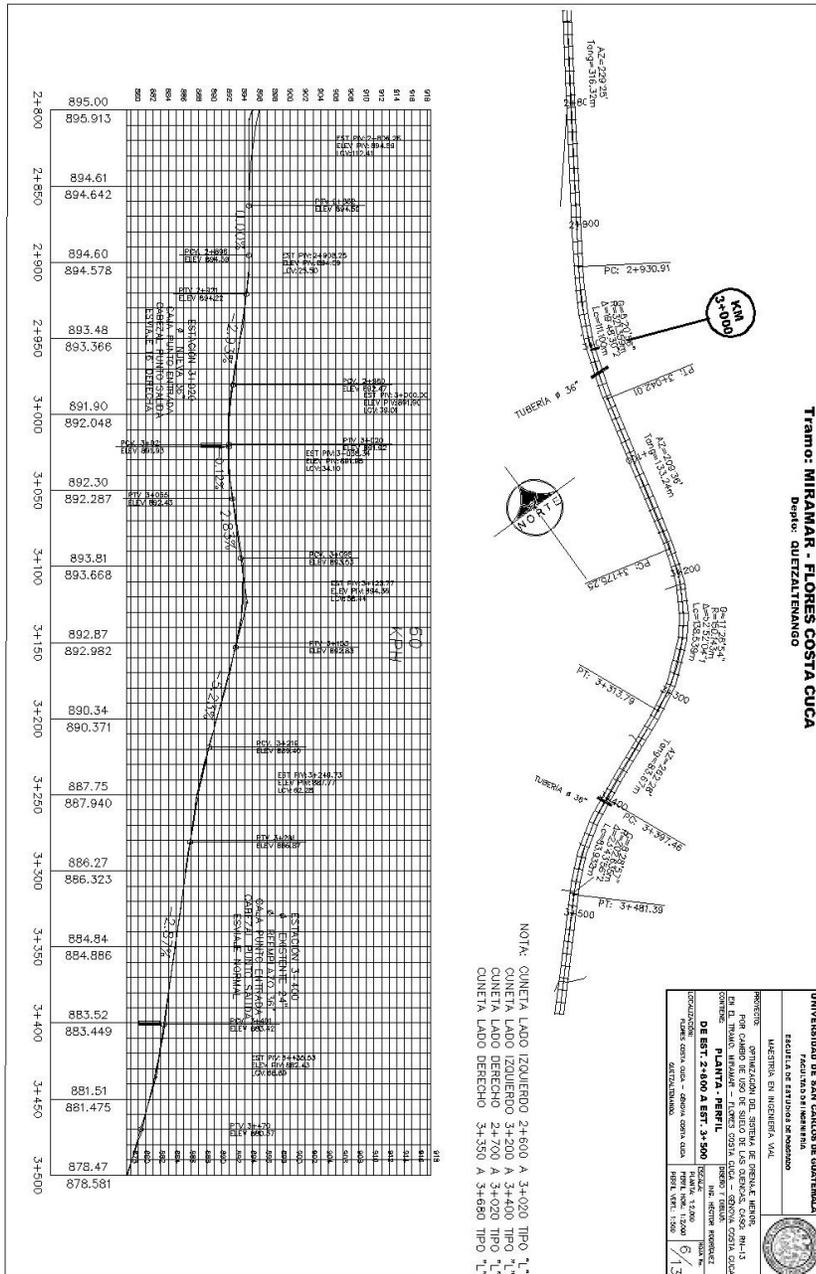
Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Apéndice 5. **Plano: Planta – Perfil. Estación 002+100 a 002+800, tramo: Miramar – Flores Costa Cuca**



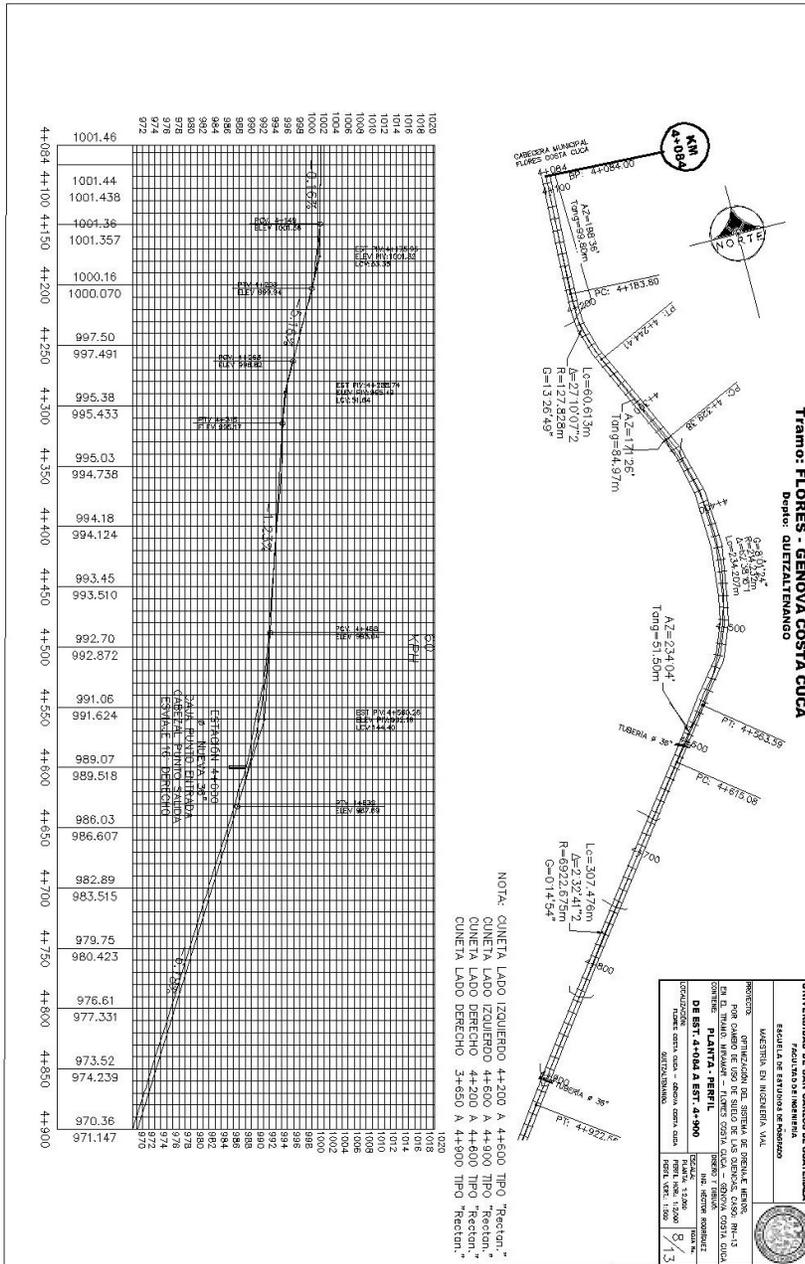
Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Apéndice 6. **Plano: Planta – Perfil. Estación 002+800 a 003+500, tramo: Miramar – Flores Costa Cuca**

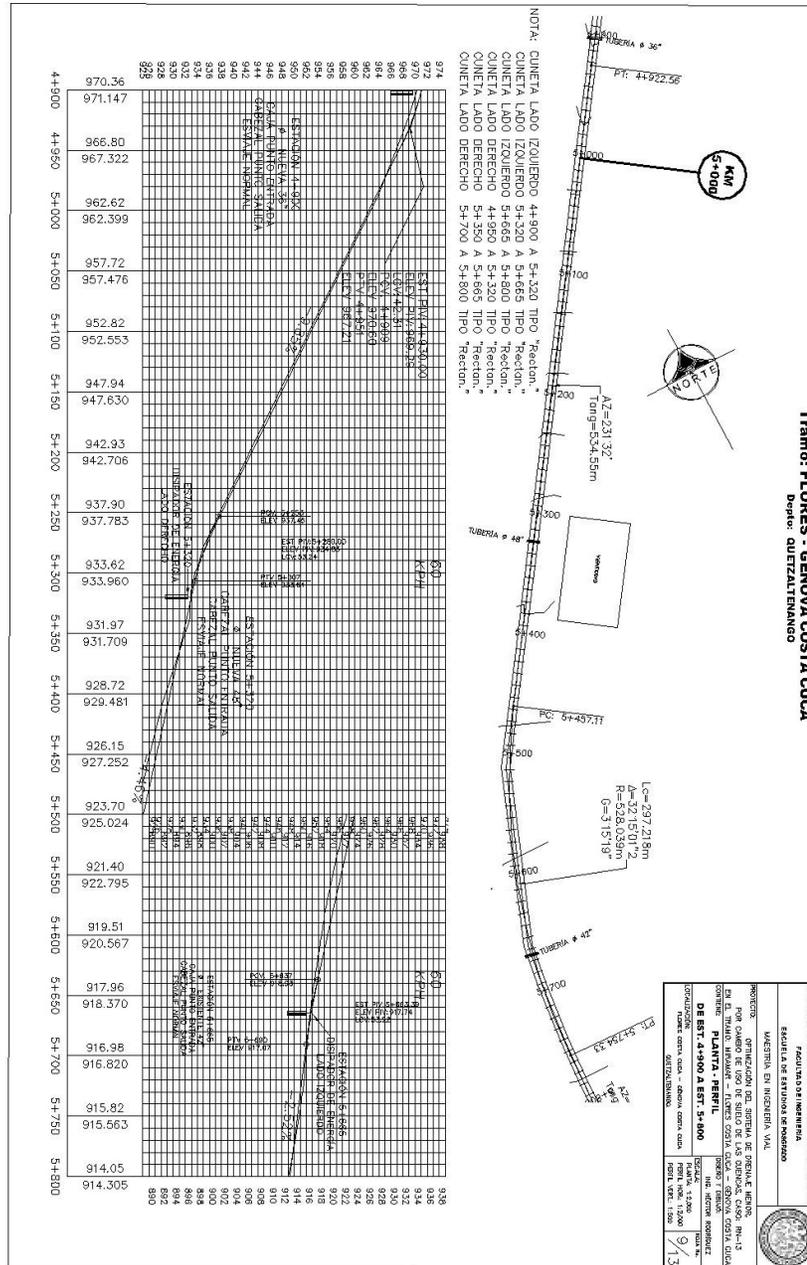


Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Apéndice 8. Plano: Planta – Perfil. Estación 004+084 a 004+900, tramo:
Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca

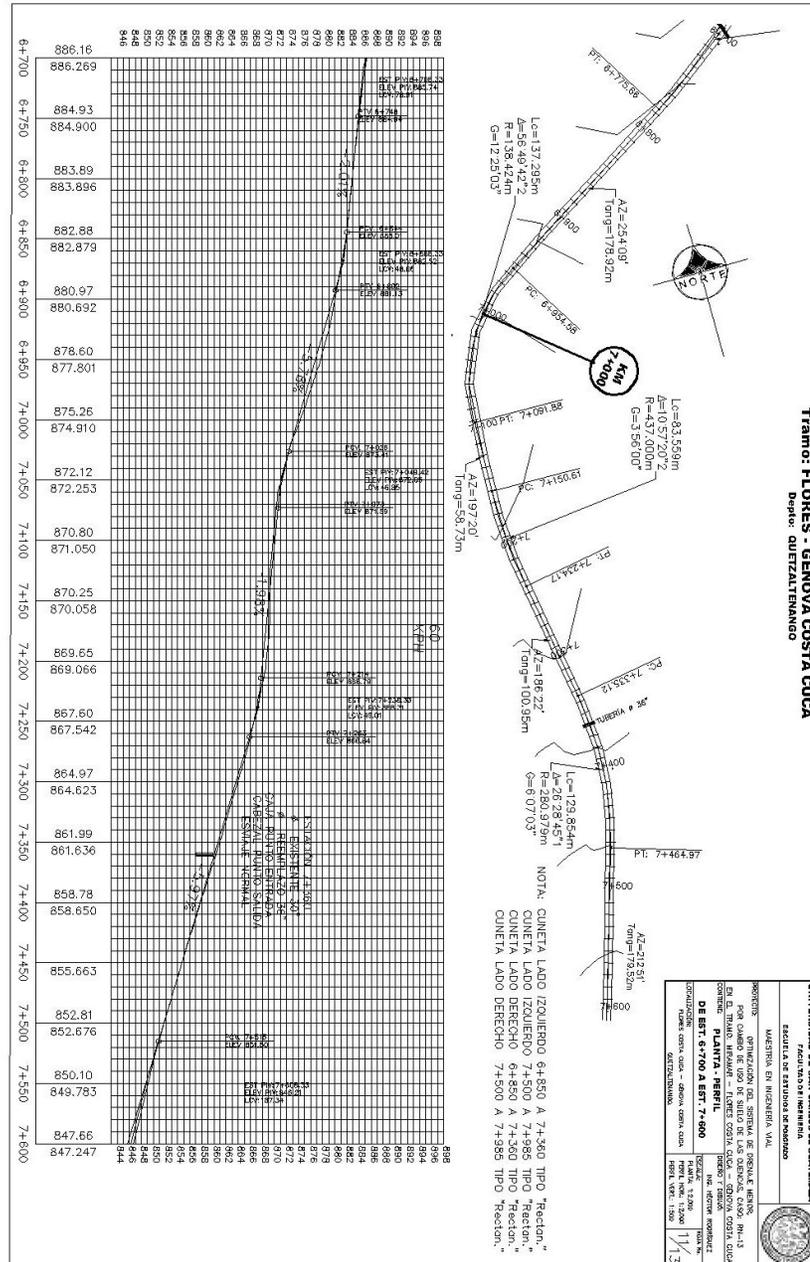


Apéndice 9. **Plano: Planta – Perfil. Estación 004+900 a 005+800, tramo: Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca**



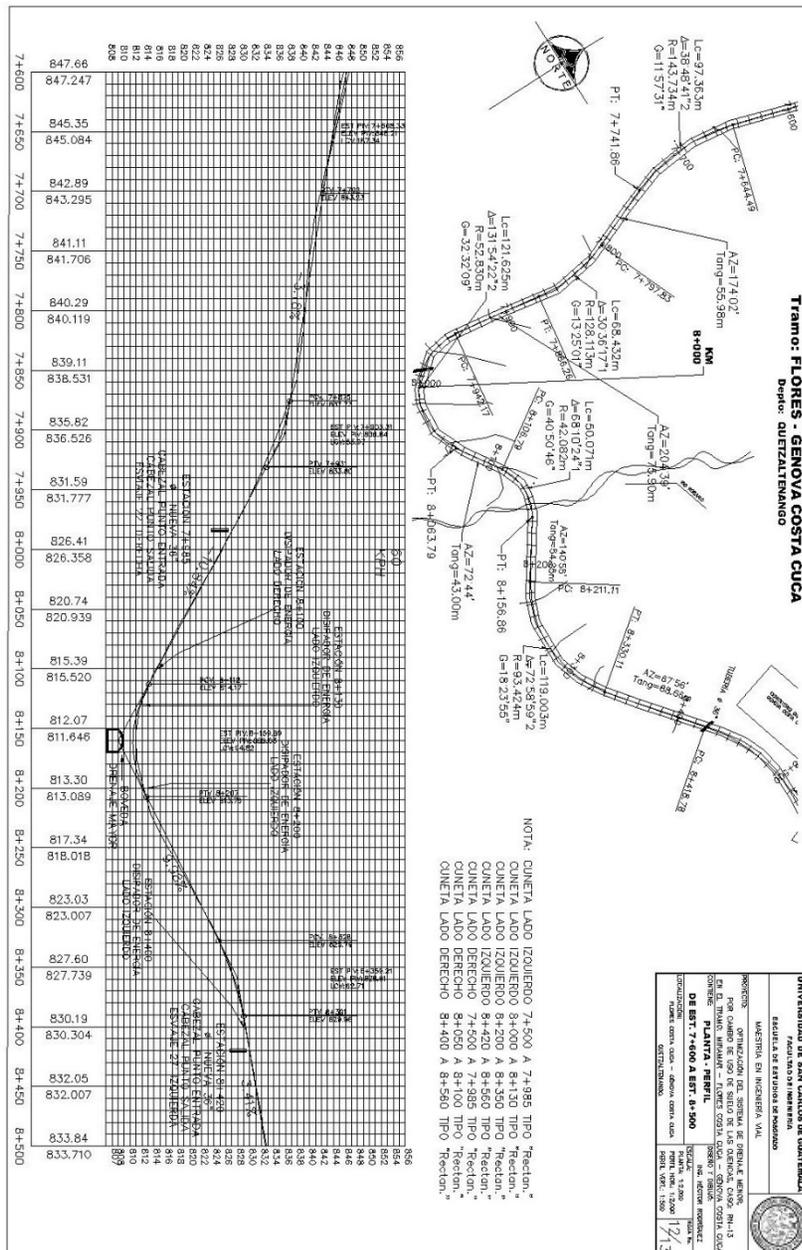
Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Apéndice 11. Plano: Planta – Perfil. Estación 006+700 a 007+600, tramo:
Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

Apéndice 12. Plano: Planta – Perfil. Estación 007+600 a 008+500, tramo:
Flores Costa Cuca – Génova Costa Cuca



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk Civil 3D 2020.

