



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

**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**

Ing. Pedro Baudilio Castro Aguirre

Asesorado por el MSc. Ing. Carlos Arnoldo Morales Rosales

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ING. PEDRO BAUDILIO CASTRO AGUIRRE

ASESORADO POR EL MSC. ING. CARLOS ARNOLDO MORALES ROSALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	MA. Ing. Efraín Antonio de León
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Tesis de la Maestría en Ingeniería en Ingeniería Vial titulado: **“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”**, presentado por el Ingeniero Civil **Pedro Baudilio Castro Aguirre**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, agosto de 2014.



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado
Teléfono 2418-9142

La Directora 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 y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **“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”** presentado por el Ingeniero Civil **Pedro Baudilio Castro Aguirre** apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora



Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Agosto de 2014.

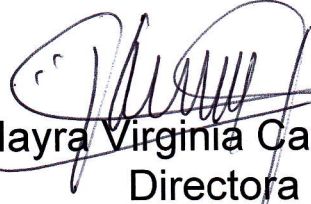
Cc: archivo
/la



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado
Teléfono 2418-9142

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería Vial del Trabajo de Tesis titulado **“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”**. Presentado por el Ingeniero Civil **Pedro Baudilio Castro Aguirre**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Agosto de 2014.

Cc: archivo
/la



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado
Teléfono 2418-9142

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Vial y revisor del Trabajo de Tesis titulado **“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”**, presentado por el Ingeniero Civil **Pedro Baudilio Castro Aguirre** apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Armando Fuentes Roca



MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Agosto de 2014.

Cc: archivo
/la

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitir con su omnipotencia, llevarme a culminar los estudios de la carrera profesional a nivel de postgrado.
- Mis padres** Manuel de Jesús Castro Gordillo (q.e.p.d.) y Adela Aguirre Mérida de Castro, con todo el amor del mundo, recompensando sus ilusiones y sacrificios.
- Mi esposa** Marlene de Jesús Guevara de Castro, por su amor, comprensión, apoyo y atención, durante el tiempo utilizado para la obtención de este logro.
- Mis hijos** Pedro Emmanuel y Manuel de Jesús Castro Guevara, con mucho amor. Espero que este logro los motive en sus estudios para mejorar cada día.
- Mis hermanos** Ada (q.e.p.d.), Rubén (q.e.p.d.), Sara, Adelita, Manuel y Magda Castro, con mucho amor; porque entre nosotros las penas y éxitos son de todos.
- Mis sobrinos** Porque este logro sea motivación para ellos y logren culminar con éxito sus estudios.

Toda la familia

Con mucho cariño.

Todas las personas

Que de una u otra manera han tenido incidencia en mi vida profesional y han contribuido al desarrollo de mi carrera; mil gracias.

AGRADECIMIENTOS A:

- Ing. José Leonel Aguilar Girón** Por motivarme a continuar, con mis estudios de maestría y por sus sabias enseñanzas en las aulas de la universidad como en los proyectos en que hemos trabajado.
- Ing. MSc. Carlos Morales** Por compartir sus conocimientos para el desarrollo de este trabajo y por su leal amistad.
- Ing. MSc. Luis Saravia** Porque desde la época de estudiantes de pregrado hemos compartido tanto nuestros éxitos, como nuestras penas en el camino de la ingeniería.
- Ing. Oscar Aguirre** Por ser siempre un ejemplo de profesionalismo y dedicación en la noble carrera de ingeniería.
- Raúl Reyes C** Por su apoyo en el desarrollo de este trabajo y por su amistad incondicional.
- Los ingenieros de la sexta cohorte de Ingeniería Vial** Por compartir sus experiencias y por los momentos agradables que se vivieron cada sábado de nuestro tiempo de especialización.

1.3.2.1.	Modificación de propiedades mecánicas para alcantarillas de diámetros mayores	8
1.4.	Aplicaciones mediante tecnología	9
1.4.1.	En campo	9
1.4.2.	Equipo para la instalación.....	10
1.5.	Propiedades típicas de materiales estabilizados para cimentación de alcantarillas	13
1.6.	Beneficios de la estabilización de los suelos para la cimentación de alcantarillas	14
2.	FACTORES QUE SE CONSIDERAN PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLA	17
2.1.	Factores utilizados actualmente	17
2.1.1.	Estudio de la cuenca o microcuenca	18
2.1.2.	Cálculo del caudal de aporte de la cuenca o microcuenca	20
2.1.3.	Cálculo de la alcantarilla de acuerdo con el caudal y los materiales de arrastre que actualmente se consideran	23
2.2.	Determinación de los factores extras a considerar, por cambio de uso del suelo.....	25
2.2.1.	Inspección visual e identificación de tipos de material durante el levantamiento topográfico que se hizo a la cuenca en estudio	28
2.2.2.	Clasificación del material	28
2.2.3.	Materiales reciclables	28
2.2.4.	Materiales no reciclables	28
2.2.5.	Rocas y material orgánico	29

2.2.6.	Maderas y material proveniente de cultivos.....	31
2.2.7.	Determinación de zonas limitantes en una cuenca o microcuenca	32
3.	DISEÑO DE ALCANTARILLAS DE GRAN TAMAÑO UTILIZANDO FACTORES EXTRAS POR CAMBIO DE USO DEL SUELO	35
3.1.	Factores a considerar	35
3.2.	Incidencia de cada factor para el cálculo de la alcantarilla	36
3.2.1.	Determinación de los factores a utilizar	37
3.2.2.	Determinación del factor número para el cálculo de la alcantarilla.....	40
3.3.	Tipos de alcantarillas	40
3.3.1.	Características físicas generales de las alcantarillas.....	41
3.3.2.	Consideraciones para la selección de alcantarillas a utilizar	43
3.4.	Determinación de la o las fórmulas de diseño, considerando los factores por cambio de uso del suelo	45
3.5.	Procedimiento de cálculo para alcantarillas de diámetros grandes.....	46
3.6.	Presentación de resultados	47
4.	PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE DIÁMETROS MAYORES	49
4.1.	Equipo de trabajo	49
4.2.	Proceso de armado	50
4.3.	Compactación del relleno estructural	53
4.4.	Control de calidad.....	56

4.5.	Medidas de seguridad	60
4.5.1.	Personal que arma la bóveda.....	61
4.5.2.	De los cortes.....	61
4.5.3	Del tránsito	61
5.	EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	63
5.1.	Cuenca ubicada en el kilómetro 90+22, Ruta Interamericana.....	63
6.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	67
6.1.	Resultados obtenidos en el campo.....	67
6.1.1.	De la topografía	67
6.1.2.	Del análisis de laboratorio	69
6.1.3	De las mediciones de los factores que pueden incidir en el funcionamiento de la alcantarilla	70
6.2.	Resultados obtenidos en gabinete	70
6.2.1.	De la alcantarilla, sin la utilización de factores extra.....	71
6.2.2.	De la alcantarilla, utilizando factores extras.....	72
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	ANEXOS.....	85
	APÉNDICES	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Armado de tubería de diámetro mayor.....	11
2.	Laterales de media sección de la tubería, ya compactados.....	12
3.	Infiltración acumulada versus raíz cuadrada del tiempo	15
4.	Material de arrastre que provoca taponamiento.....	26
5.	Visión de la correntada de agua sobre la pista al producirse el colapso de la tubería	26
6.	Rocas desprendidas de talud adyacente	27
7.	Formulario de granulometría practicada al lecho de la corriente en la cuenca	30
8.	Bosque talado adyacente a la cuenca, para utilizarlo como área de cultivo y construcción	31
9.	Instalación de bóveda	52
10.	Chequeo de compactaciones para relleno de tubería.....	55
11.	Transporte de bóveda	58
12.	Control de calidad del relleno.....	60
13.	Delimitación de la zona de trabajo	62
14.	Levantamiento topográfico cuenca 90+222	68
15.	Análisis granulométrico	69

TABLAS

I.	Sistema de clasificación AASHTO	14
II.	Cálculo de intensidad de lluvia, período de retorno de 5 años	20
III.	Cálculo de intensidad de lluvia, período de retorno de 25 años	21
IV.	Cálculo de intensidad de lluvia, período de retorno de 50 años	21
V.	Coeficiente de escorrentía para distintos usos del suelo	22
VI.	Cálculo de factor sugerido por la presencia de árboles.....	38
VII.	Cálculo de factor sugerido por la presencia de rocas.....	38
VIII.	Cálculo de factor sugerido por la presencia de basura	39
IX.	Cálculo de factor sugerido por la presencia de agregados en el lecho de la cuenca 90+222	39
X.	Factores e incidencias en el cálculo de la alcantarilla	40
XI.	Rangos de factor de los estudios granulométricos	47
XII.	Factores que inciden en el funcionamiento de la alcantarilla	70

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
Q	Caudal
n	Coefficiente de rugosidad de Manning
Z	Constante de arrastre
ϕ	Diámetro de la tubería
C	Factor de escorrentía
Ha	Hectárea
I	Intensidad de lluvia
Km	Kilómetro lineal
Km²	Kilómetro cuadrado
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
mm	Milímetro
S	Pendiente de la cuenca
R	Radio de la tubería
R_H	Radio hidráulico de la tubería

GLOSARIO

AASHTO	Del inglés <i>American Association Standard and Transport</i> .
Absorción	Capacidad de un material de retener un líquido.
Alcantarilla	Son los conductos que se construyen por debajo de la subrasante de una carretera u otras obras viales, con el objeto de evacuar las aguas superficiales.
Azolvamiento	Fenómeno que ocurre cuando un material de arrastre se posa en una alcantarilla, provocando taponamiento.
Cabezal de concreto	Obra complementaria que sirve para darle estabilidad a una alcantarilla y encauzar la corriente de entrada como de salida.
Cambio climático	Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Constante de arrastre	Número que reúne todos los factores que intervienen en la funcionalidad de una alcantarilla.
Copante	Antiguamente se utilizaba para la conducción de agua y consistía en una caja horizontal con paredes de piedra en sus cuatro lados.
Cuenca endorreica	Es un área en la que el agua no tiene salida fluvial hacia el océano; también son denominadas sistemas de drenaje interno.
Cuencas exorreicas	Son aquellas cuyas aguas llegan hasta el océano.
Cuenca hidrográfica	Es el ámbito lógico para planificar el uso y manejo de los recursos naturales, buscando la sustentabilidad de los sistemas de producción; contribuyendo así a la seguridad alimentaria y nutricional.
Cuneta	Zanja de cada uno de los lados de la carretera, que sirve para recoger el agua de lluvia.
Derramadero especial	Son obras que se construyen cuando las pendientes por las que pasa un fluido son bastante fuertes y sirven para disminuir la velocidad de dicho fluido.

Dragado	Extracción de arena, piedras o cualquier otro material de un río, puente o cualquier zona navegable.
Estación pluviométrica	Es la estación principal encargada de medir la lluvia, muchas veces dentro de una estación meteorológica mayor. Básicamente se utiliza el medidor de lluvia conocido como pluviómetro, un tipo de instrumento utilizado por los meteorólogos e hidrólogos para recoger y medir la cantidad de precipitación líquida durante un período determinado de tiempo.
Estación pluviográfica	Utiliza grabaciones mecánicas para grabar las intensidades de lluvia, y registrarlas en gráficas que pueden ser utilizadas por los hidrólogos para calcular las intensidades y caudales de lluvia en una cuenca determinada.
Factor de arrastre	Se refiere a la cifra sin unidades que manifiesta la capacidad de un cuerpo, para generar resistencia a un fluido.
Flujo de agua	Corriente de agua que atraviesa una alcantarilla.

Mapa geográfico	Es un dibujo que representa la superficie de la Tierra o una parte de ella. Representación de un área geográfica, usualmente una porción de la superficie de la Tierra, que se dibuja o se pinta sobre una superficie plana.
Material deletéreo	Material no recomendable para usarse como relleno, ya que es dañino para la alcantarilla.
Material no reciclable	Es aquel cuya composición química u orgánica, imposibilitan aplicarle un proceso para volver a utilizarse.
Material reciclable	Material sobre el cual se puede aplicar un proceso, para pueda volver a utilizarse.
Método racional	Es el método más utilizado para la estimación del caudal máximo. Se utiliza normalmente en el diseño de obras de drenaje urbano y rural; tiene la ventaja de no requerir de datos hidrométricos para la determinación de caudales máximos.

Microcuenca

Se refiere a una pequeña cuenca de primer o segundo orden, en donde vive un cierto número de familias (comunidad) utilizando y manejando los recursos del área, principalmente el suelo, agua, vegetación, incluyendo cultivos, vegetación nativa, fauna, (incluyendo animales domésticos y silvestres). Es el ámbito lógico para planificar el uso y manejo de los recursos naturales, buscando la sustentabilidad de los sistemas de producción, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y nutricional.

Muro de concreto

Es el concreto simple en cuya masa se incorporan grandes piedras o bloques; y que no contiene armadura. Está complementado con piedras de tamaño máximo de 10", cubriendo hasta el 30 %, como máximo del volumen total; estas deben ser introducidas previa selección y lavado, con el requisito indispensable de que cada piedra en su ubicación definitiva debe estar totalmente rodeada de concreto simple.

Muro de gaviones

Están formados por la superposición de cajas de forma prismática, fabricadas generalmente de enrejado de alambre, en cuyo interior se colocan rocas de pequeño tamaño.

Sedimentos

Material que se posa en el piso o fondo de la alcantarilla.

Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno, y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

RESUMEN

La falta de prevención para cubrir desastres naturales por cambios climáticos, es evidente en los países altamente vulnerables, como el caso particular de Guatemala; la poca cultura de los habitantes en el manejo de los bosques, cultivos adyacentes y uso de la tierra dentro de las cuencas, han producido el colapso de las carreteras al provocar taponamientos en las tuberías cuando el material de arrastre se aloja en estas, las cuales no fueron diseñadas para el paso de materiales diferentes al agua.

Por tal razón, en el presente trabajo, se analizó un ejemplo típico de esta problemática en donde los materiales de arrastre que llegan a una alcantarilla, ubicada en la estación 90 + 222, de la Ruta Interamericana Occidente, jurisdicción de Tecpán, Chimaltenango, ocasionaron el colapso de la estructura de pavimento, debido a la obstrucción del flujo de agua por la tubería.

Tomando como base el cálculo del caudal que escurre por una cuenca, utilizando el método racional, el cual arroja buenos resultados en cuencas menores a 400 Ha y utilizando ensayos de laboratorios se analizaron los materiales existentes en la cuenca, que deriven en la obtención de un factor que debe tomarse en cuenta en la fórmula del método racional y así aumentar en forma lógica el diámetro de las alcantarillas transversales, que permitan en alguna medida el paso de material de arrastre y contribuyan al mejor mantenimiento de las mismas.

Con base en los resultados obtenidos, se presenta una comparación de la fórmula del método racional sin el factor encontrado y con el factor encontrado, para hacer un análisis de la factibilidad de utilizar el método, agregando el factor llamado de arrastre.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

En los últimos años, cuando el territorio guatemalteco ha sido azotado por regímenes de lluvias prolongados o intensos, se ha manifestado un problema común en varios puntos a lo largo de las carreteras existentes del país; en esos puntos las tuberías existentes han colapsado, lo que ha causado la interrupción de la circulación del tránsito vehicular debido al desplome de varios tramos carreteros, en algunos casos fallaron tuberías que llevaban varios años de estar en servicio y nunca habían presentado problemas, en otros casos fallaron tuberías de reciente colocación y diseño, representando un alto costo para el estado su reparación.

Esto ha originado una exhaustiva revisión y evaluación de las metodologías de diseño de tuberías de drenaje transversal, con el fin de poder determinar los factores que han colaborado en el mal funcionamiento de las tuberías colapsadas, entre esos factores se pueden citar: la deforestación, el cambio del uso del suelo, el mal uso que se le han dado a las cuencas utilizándolas de botaderos de basura, entre otros.

Según el estudio de la dinámica de la cobertura forestal de Guatemala, 2001 – 2006, la cobertura boscosa de Guatemala cambio de 4,15 millones de hectáreas a 3,87 millones de hectáreas, con una tasa de deforestación anual de 48,084 hectáreas. Adicionalmente, según este mismo estudio, el sistema de áreas protegidas logra abarcar 52 % de los bosques guatemaltecos (Castellanos, 2006).

El problema con las vías de comunicación de Guatemala, especialmente las carreteras, surgió cuando estas vías se vieron afectadas por los grandes caudales que corrían por las cuencas, esto debido a que el suelo se ha ocupado para otras actividades y han ido desapareciendo los bosques que son las principales fuentes de absorción del agua de lluvia por medio de las raíces de sus árboles.

Por otro lado, está la elevada inversión del gasto público que se necesita en la recuperación de la infraestructura vial, que podría utilizarse en la construcción de más kilómetros de carreteras pavimentadas que hacen falta para el desarrollo de las comunidades; como se ha mencionado anteriormente, existen varios factores que intervienen en el funcionamiento de las alcantarillas, tales como arrastre de sólidos y sedimentos que provocan el problema de azolvamiento en las tuberías, sin embargo el problema principal es de cultura de conservación de las obras de infraestructura, derivado esto es que se tiene la idea de que una vez terminada la obra debe funcionar sin ninguna clase de mantenimiento.

¿Se están tomando en cuenta todos los factores que inciden en el cálculo de una alcantarilla para su buen funcionamiento?

¿Existen nuevos factores que hoy en día afectan el buen desempeño de una alcantarilla, que anteriormente en su diseño no se tomaban en cuenta?

¿Las entidades como el INAB han velado por la reforestación de las áreas circundantes a las cuencas para que los desperdicios de la deforestación no causen problemas a la alcantarilla?

¿Debe considerarse que la construcción de proyectos de infraestructura, los cuales vienen a solucionar los requerimientos de transporte, luz eléctrica, agua potable, etc., de las comunidades, ha contribuido con la pérdida de la cobertura boscosa del país?

¿Está preparado el Estado para solventar de emergencia la reconstrucción de un tramo inmediatamente después de haber colapsado por el taponamiento de una alcantarilla?

¿Ha dado el mantenimiento constante y adecuado a las alcantarillas la unidad de conservación vial, a fin de evitar su colapso?

OBJETIVOS

General

Identificar las causas que han provocado que la alcantarilla transversal ubicada en la estación 90+222 de la carretera Interamericana de Occidente colapse con mayor frecuencia en comparación con los años anteriores y proponer una solución técnica que minimice la obstrucción del drenaje, evitando daños a la estructura de pavimento en esa ubicación.

Específicos

1. Determinar el factor de incidencia de los materiales de arrastre de la cuenca en estudio mediante ensayos de laboratorio y mediciones de campo.
2. Evaluar el comportamiento del diámetro de la tubería diseñado utilizando el factor de arrastre al cálculo del caudal de una cuenca, con el fin de permitir el desfogue de agua pluvial incluyendo ciertos materiales de arrastre.
3. Diseñar nuevas alcantarillas utilizando el factor de arrastre, para eliminar el problema que presentan las alcantarillas actualmente, ya que el diámetro actual no es suficiente para desfogar los materiales de arrastre que taponan la tubería, provocando el colapso de las mismas.

4. Evaluar los tipos de materiales y siembras que se presenten en determinada cuenca, a partir de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio y mediciones de campo, elaborando tablas en donde se presenten los factores de cada material, para integrarlo a un solo factor de arrastre, de acuerdo con la cantidad de materiales presente.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

Científica: Basado en los estudios e informes sobre material de arrastre, se consultó la bibliografía referente al tema, y se logró establecer que los factores que más inciden en el funcionamiento de la alcantarilla son los que se tomaron en cuenta, para integrar la constante de arrastre propuesta para la cuenca de la estación 90+222 de la Ruta Interamericana Occidente.

De Laboratorio: Como se propuso cuando surgió la idea de realizar este trabajo, se entrevistó con profesionales especialistas en la materia fue así como el Dr. Carlos Humberto Rivera, en charlas sostenidas con su persona, nos dio lineamientos, y sugerencias de hacerle ensayos de laboratorio a lecho de la cuenca, para determinar el desgaste del mismo que provoca azolvamiento de material, regularmente en la entrada de la alcantarilla, fue así como se llevó a cabo el estudio granulométrico del lecho en mención.

De Campo: Se integró una cuadrilla de topografía, para que midiera el área de la cuenca, además de tomar las elevaciones que permitieran determinar la pendiente de la misma y se trabajaron secciones transversales para determinar las áreas de paso de agua y de material de arrastre.

Con la misma cuadrilla, se midió con cinta el perímetro de los arboles adyacentes, para calcular su radio y posteriormente su área suponiendo que cada árbol tiene una forma circular, también se midieron las piedras y se tomaron en forma elíptica para calcular su área, se midieron los promontorios de basura, y se estimó el material que llega a la cuenca de un banco cercano pero se integró al lecho de la cuenca.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país multicultural, multiétnico, plurilingüe, con grandes diferencias en cuanto a su cosmovisión, debido a su desarrollo histórico y a la distribución desigual de la tierra y de las riquezas. Es por todos sabido que se ha dado una serie de problemas entre sus habitantes por diversas ideologías desarrolladas a través del tiempo. Con la firma de los Acuerdos de Paz en 1996, gran parte de los efectivos, que componían las principales fuerzas de lucha, tanto del ejército como de la guerrilla, se vieron en la necesidad de ceder en cuanto al conflicto por el que atravesaba el país; por esta razón, gran cantidad de gente de ambas partes se vieron de la noche a la mañana, sin una actividad para emplear su tiempo.

Como el Estado no contaba con políticas de desarrollo que los integrara a la vida productiva, gran parte se dedicó a siembra de productos agrícolas tradicionales, cambiando el uso del suelo de una forma desordenada, que en principio parecía resolver el problema de ocupación de la gente. Por otro lado, también, se produjo una pérdida de tierra por deslizamientos y arrastres, que vino a contribuir al azolvamiento de las alcantarillas, reduciendo su área hidráulica y provocando los problemas de taponamiento, que hacen fallar el comportamiento habitual de estas.

Con base en lo anterior, se investigaron los factores que ayuden a menguar los daños ocasionados por los efectos de arrastre de desperdicios agrícolas, rocas, basura, etc., que llegan a las cuencas, y que pasan por las alcantarillas que se han visto insuficientes, lo que ha provocado el colapso en muchas ocasiones de las rutas del país.

Para el efecto se analizó el comportamiento de una cuenca que sirve de base y como modelo de toda cuenca que presente este tipo de problema, para poder diseñar sus alcantarillas con las precauciones necesarias, a fin de que su funcionamiento durante los períodos de lluvia, sea eficiente.

1. USO DE ALCANTARILLAS DE GRAN TAMAÑO

1.1. Antecedentes

El diseño de alcantarillas transversales en vías terrestres ha sido analizado en diversos estudios de la ingeniería civil en la República de Guatemala, confirmando que la colocación de la tubería adecuada, acompañada del mantenimiento necesario para esta, proporciona una mayor durabilidad y protección a las carreteras.

La Dirección General de Caminos, analizando que en la construcción de carreteras a su cargo es cada vez más complicado dar mantenimiento a las alcantarillas debido a los arrastres de materiales adyacentes a las cuencas y microcuencas, eliminó la colocación de tuberías de 24" de diámetro y especificó que el diámetro mínimo debería de ser de 30"; esta decisión se consideró con base en la facilidad de limpieza y mantenimiento de las tuberías.

Debido a la gran importancia que conlleva determinar la influencia del manejo adecuado de cuencas y la relación con el diámetro de la tubería para la construcción de alcantarillas, las cuales permitan soportar materiales de arrastre dentro del flujo de agua para el cual fue diseñada la tubería, se han desarrollado varios estudios a nivel mundial, los cuales se resumen a continuación.

(HEN, Lester; BOSSY, Herberth; RÚHLE, Federico., 1974), presentaron un estudio sobre *gráficos hidráulicos para el diseño de alcantarillas, con el apoyo de Bureau of Public Roads*, en Estados Unidos de Norte América Este estudio fue asesorado y aprobado por la Dirección Nacional de Vialidad.

(Carciente, 1985), en Caracas, Venezuela, realizó una investigación sobre carreteras, en la cual analizó todos los elementos que constituyen la misma; dicha investigación lleva por nombre “*Carreteras: estudios y proyecto*” (pág. portada). En la misma incluye el tema sobre alcantarillas transversales y el diseño correcto de acuerdo con la topografía del lugar.

(Ceballos, 2004), efectuó un estudio comparativo entre la utilización de alcantarilla de metal corrugado y alcantarilla de material plástico en drenajes menores de carreteras de Guatemala. En su investigación, define los diversos tipos de alcantarilla y los elementos que la conforman.

(Alonso, 2005), realizó un estudio sobre los principios hidráulicos fundamentales involucrados en el diseño de alcantarillas, cuya metodología de diseño debe basarse en los requerimientos del proyecto. Él propuso que “el diseño de alcantarillas consiste en determinar el tipo de sección, material y embocadura de alcantarilla que, para la longitud y pendiente que posee, sea capaz de evacuar el caudal de diseño, provocando un nivel de agua en la entrada que no provoque peligro, tanto de índole estructural como funcional, a la estructura que se desea atravesar, optimizando los recursos disponibles. Es decir, buscar la solución técnico-económica más conveniente”. (pág. 2)

Como parte del programa piloto de apoyos forestales directos (PPAFD/PARPA), con el apoyo de FAO-Facility, (López, 2009), realizó un estudio sobre el reconocimiento económico al servicio ambiental hídrico, como una alternativa para la conservación y restauración de la biodiversidad natural, mediante la protección de bosques naturales, enfatizando en la microcuenca del río Xayá, Tecpán, Guatemala.

En este estudio se resalta que el mal uso del suelo en relación con la deforestación y una serie de cultivos no planificados, con base en las características del suelo, puede incidir en inundaciones y derrumbes que afecten las vías de comunicación. Se concluye que es necesario “reducir la erosión mediante diferentes estructuras de conservación del suelo y de bosques de galería, poniendo especial atención en la recuperación de áreas degradadas, con riesgo de deslizamiento de tierras”. (pág. 8)

Con anterioridad se han hecho estudios de los daños inducidos a las carreteras por efecto del paso de diferentes fenómenos naturales, y se han cuantificado las pérdidas provocadas a la agricultura, el comercio, la infraestructura en general del país, etc.; llegando a la conclusión de que dichos daños han sido consecuencia de la intensidad de lluvia, el deterioro del medio ambiente, y la sobrepoblación, ya que al construirse urbanizaciones, calles, techos, plazas y otras infraestructuras, se ha impermeabilizado el suelo, permitiendo que las aguas de lluvia corran con mayor velocidad por no poder filtrarse en la tierra.

Las causas anteriores son valederas, sin embargo esto no es más que una solución parcial del problema; para la solución completa también debe haber una legislación que sea respetada íntegramente, dentro de lo que se puede mencionar la aprobación de derecho de vía, que vendría a solucionar la parte de estabilización de taludes, respetar los márgenes de los ríos, cuencas y microcuencas, prohibiendo construcciones adyacentes que pongan en peligro la vida humana.

1.2. Alcantarillas de gran tamaño

Históricamente, se han utilizado las alcantarillas de gran tamaño para la conducción de desechos sólidos o para el paso de afluentes conocidos de líquido, como ríos, desfogue de presas etc.

Comúnmente las redes de alcantarillado de las ciudades son de gran tamaño, ya que deben recaudar y conducir los desechos sólidos para llevarlos a una planta de tratamiento, en donde se separan los líquidos de los sólidos, y así por diferentes métodos se purifica el agua para poderla utilizar en actividades que signifiquen beneficio para el ser humano.

La consideración que se ha tomado en cuenta para hablar de alcantarillas de gran tamaño, tiene como base la alcantarilla de diámetro mínimo, aceptada por la Dirección General de Caminos, la cual debe ser de 30"; claro está que tampoco se especifica el diámetro máximo y pueden ser diseñadas de diversos diámetros, hasta alcanzar un tamaño que hoy en día se conoce como bóvedas.

1.2.1. Razón del incremento del diámetro

Como se ha tratado con anterioridad, la razón por la que una alcantarilla debe ser expandida, es para cubrir con las necesidades al funcionamiento requerido, según sea el caso, para este estudio deberá de ser capaz de desfogar, el material de arrastre que es trasladado aguas abajo, atravesando una vía de comunicación que para este estudio es una carretera.

1.2.2. Tiempo de vida media

El tiempo de vida media de una alcantarilla debe interpretarse como el periodo en que la misma presta un servicio eficiente para el cual fue diseñada, o cuando por circunstancias de las zonas en donde son colocadas, presentan algún deterioro en su estructura, ya sea porque han sido sometidas a cargas de impacto o por corrosión inducida por los materiales y líquidos que deben conducir.

1.3. Aplicaciones en las carreteras

En las carreteras, el uso principal que se les da a las alcantarillas es el desfogue de agua que debe atravesar por la vía; sin embargo se han utilizado, para desviar el agua con el fin de poder hacer algún trabajo que se necesite en el área, libre de saturaciones; incluso para colocar una alcantarilla que será la encargada de desfogar el agua que se ha desviado. También se han utilizado tuberías de diámetros pequeños, para la construcción de subdrenajes que desfogan en una caja recolectora conectada a una alcantarilla principal, que debe desfogar así las aguas subterráneas que pueden afectar la estructura del pavimento, reduciendo la vida útil de la carretera.

1.3.1. Distancia requerida entre alcantarillas

De acuerdo con las Especificaciones Generales de la Construcción de Carreteras y Puentes (2001), en la sección 601.02, “las alcantarillas deben colocarse, de acuerdo con los puntos que ordene el delegado residente, quien deberá hacer un análisis de los puntos cóncavos de la carretera para ordenar alcantarillas de diámetros mayores, y de diámetro intermedio, cuando las pendientes sean prolongadas”. (pág. 601.1)

1.3.1.1. Diámetros mínimos requeridos

La sección 208 de las Especificaciones Generales de la Construcción de Carreteras y Puentes (2001, pág. 41)), establece que el diámetro mínimo de las alcantarillas debe ser de 30 pulgadas, y en la subsección 208.02.1 de las mismas especificaciones, requiere un calibre alcantarillas de metal corrugado No.14.

1.3.1.2. Obras complementarias de las alcantarillas

Cuando se va a colocar una tubería en un punto de la carretera, deben colocarse varias obras complementarias para optimizar el desfogue del agua que se va a evacuar, dichas obras complementarias son:

- Cabezales
 - De entrada: su función principal es encauzar la entrada del agua a la tubería, además de estabilizar dicha tubería, manteniéndola rígida para que ningún movimiento pueda hacerla colapsar.

- De salida: contribuye también a la estabilidad de la tubería y encauza el agua hacia el desfogue final.
- Derramaderos especiales, entradas y salidas de la tubería: se deben construir derramaderos especiales o disipadores de energía que disminuyan la velocidad con la que el agua ingresa a la tubería y eviten el socavamiento en la salida, ya que esto puede hacer colapsar el cabezal y por consiguiente la tubería; además debe prepararse un área ideal para que el agua en la entrada tome su cauce sin forzarse, para lograr una corriente sin sobresaltos. Deberá protegerse las áreas aledañas a los cabezales en la parte superior, para evitar que se filtre el agua y provoque socavamiento en las cimentaciones, tanto de la tubería como de los cabezales.

1.3.1.3. Preparación de áreas de desfogue

Para evitar daños colaterales que pueda causar una corriente que viene de una microcuenca, aguas arriba, deberá prepararse el área de desfogue iniciando con un levantamiento topográfico, que permita tomar la decisión de qué obras de construcción son las más adecuadas, para poder reducir energía a la corriente de agua.

Entre las obras que pueden construirse están los derramaderos especiales, muros de concreto ciclópeo, muros de gaviones, cunetas tipo canal y cunetas especiales; para la llegada de agua al cauce natural que tomará la corriente, deberá evitarse el azolvamiento en el lecho, haciendo un dragado constante.

1.3.2. Estabilización de suelos

Consiste en modificar las características de los suelos agregando un producto químico o por medio de la aplicación de un tratamiento físico; sirve esencialmente para corregir alguna deficiencia que se presente en el suelo que se quiere trabajar, alcanzando así una mayor resistencia o reduciendo la plasticidad del mismo. Existen tres formas de estabilizar un suelo: mecánica, física y química.

1.3.2.1. Modificación de propiedades mecánicas del suelo para alcantarillas de diámetros mayores

Inicialmente, para conocer las propiedades del suelo en donde se va a colocar una alcantarilla de diámetro mayor, deben hacerse ensayos de laboratorio, para tener certeza de las propiedades físicas de la subrasante; de estos resultados se tomará la decisión acerca de qué tipo de estabilización se requiere para lograr el valor soporte, que sea capaz de soportar las cargas tanto vivas como muertas, aplicadas a la alcantarilla; o si será necesario ejecutar un trabajo extra para que la alcantarilla tenga una cimentación adecuada.

1.4. Aplicaciones mediante tecnología

De acuerdo con entrevistas realizadas a directores de la Dirección General de Caminos e ingenieros que se han dedicado por varios años a la construcción de carreteras, “los métodos para desfogar el paso del agua en las carreteras, inicialmente, fueron por medio de copantes y tuberías de concreto, la aplicación de la tecnología para la sustitución de estos métodos comenzó a partir de 1950, aproximadamente, después de la Segunda Guerra Mundial; con la utilización de alcantarillas de metal, se fueron perfeccionando y ya a finales de los años 80 y principios de los 90, se inició con la colocación de alcantarillas de material plástico. (Sánchez, 2013, pág. entrevista)

“El desarrollo de tecnología en la fabricación de alcantarillas de diámetros mayores, incluso ha llegado a sustituir puentes de longitudes menores”. (Sánchez, 2013, pág. entrevista).

1.4.1. En campo

Con la necesidad, de optimizar los tiempos en la colocación de las alcantarillas, por el fuerte parque vehicular que se ha desarrollado en la República de Guatemala, cuando la alcantarilla es de metal corrugado se ha planificado la instalación de un carril inicialmente, para luego colocar su complemento; si la alcantarilla es de plástico se trata de colocarla toda, utilizando para el efecto la maquinaria y el equipo de instalación.

1.4.2. Equipo para la instalación

Cuando se ha definido correctamente el lugar de la carretera en donde se colocará la alcantarilla, utilizando el equipo apropiado de topografía, antes de iniciar con los trabajos se debe seleccionar cuidadosamente la maquinaria que se va a utilizar en la instalación y excavación; cuando las zanjas no son tan profundas se usa una retroexcavadora 460, y las conchas de la alcantarillas cuando son diámetros de hasta 48 pulgadas; estas son bajadas por el mismo personal. Para el efecto se usarán cables cuyo diámetro sea hasta de 1 ½ pulgadas.

Cuando las zanjas son profundas, debe utilizarse una excavadora 330 o 345, ya que estas máquinas también servirán para bajar las conchas de la tubería y ayudar al personal a centrar los agujeros por donde pasan los pernos para la sujeción y formación de la misma.

La herramienta necesaria para la colocación de las conchas y su sujeción por medio de los pernos, puede consistir en juegos de llaves, barrenos, compresor de aire y algún tipo de material a utilizar como grasa.

Esta instalación se llevará a cabo, toda vez esté nivelada la superficie en donde se colocará la alcantarilla, y se hayan chequeado por medio de ensayos de laboratorio de campo, juntamente con los datos del laboratorio de gabinete, las especificaciones que debe de cumplir para soportar las cargas de diseño.

Figura 1. Armado de tubería de diámetro mayor



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222, Carretera Interamericana de Occidente.

Cuando la alcantarilla ya ha sido colocada se procederá al relleno estructural de los lados, que debe hacerse con rodos manuales si lo permite el espacio, o con vibrocompactadoras manuales (bailarinas) en capas no mayores de 15 cm., como lo establecen las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos. A la misma deberán realizarse ensayos de compactación.

Cuando la compactación ha superado el lomo de la alcantarilla en 60 cm., deberá emplearse un rodo vibratorio de 10 toneladas para la compactación, hasta llegar a donde inicia la estructura del pavimento.

Figura 2. Laterales de media sección de la tubería, ya compactados



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222, Carretera Interamericana de Occidente.

1.5. Propiedades típicas de materiales estabilizados para cimentación de alcantarillas

Según lo establecen las (Las Especificaciones Generales de la Construcción de Carreteras y Puentes, 2001), de la Dirección General de Caminos, en la sección 206.03, los requisitos de los materiales que se deben utilizar para el relleno estructural de las alcantarillas deben cumplir con lo siguiente: ser material granular de libre drenaje, libre de exceso de humedad, turba, terrones de arcilla, raíces, césped, u otro material deletéreo y cumplir con lo siguiente:

- Dimensión máxima: 50 milímetros
- Material que pasa por el tamiz de 75 mm AASHTO T 27 Y T11 15 % máximo
- Límite líquido AASHTO T 89: 30 % máximo

Además, si se quiere tener un porcentaje de mayor seguridad por ser alcantarillas de diámetros mayores, se puede a criterio del constructor y del supervisor, utilizar la clasificación AASHTO.

Un suelo bueno para la cimentación de alcantarillas debe estar comprendido como mínimo, en los suelos de clasificación A - 2, es decir los suelos A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7.

Tabla I. Sistema de clasificación AASHTO

Clasif. General	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla n° 200)						Limos y Arcillas (35% pasa malla n° 200)				
Grupos	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Subgrupos	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A-7-5/A-7-6
% que pasa tamiz :											
N° 10	50 máx										
N° 40	30 máx	50 máx	51 mín								
N° 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	
Caract. Bajo N° 40											
LL				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
IP	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
IG	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos arcillosos	
Terreno fundación	Excelente		Excelente	Excelente a bueno				Regular a malo			

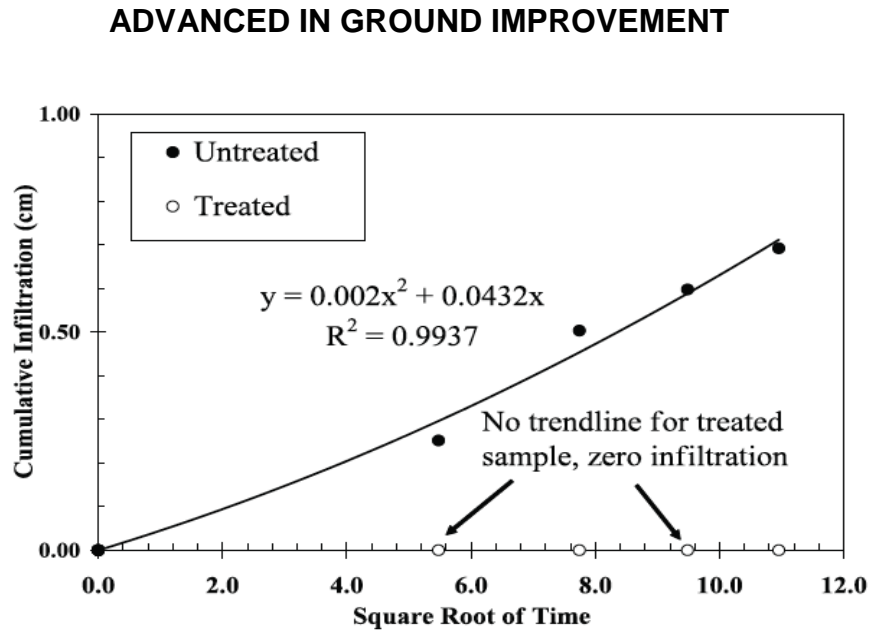
El índice de Plasticidad del subgrupo A - 7 - 5 es menor o igual a (LL - 30)
El índice de Plasticidad del subgrupo A - 7 - 6 es mayor a (LL - 30)

Fuente: HYDRATES. (Clasificación de suelos sistema AASHTO, s/f, pág. 6).

1.6. Beneficios de la estabilización de los suelos para la cimentación de alcantarillas

(OptimaSoil, 2014) Ha establecido que un suelo estabilizado presenta múltiples ventajas técnicas, las cuales se manifiestan en un mejor comportamiento mecánico, una mayor duración y resistencia a la fatiga, así mismo una fácil colocación en obra.

Figura 3. **Infiltración acumulada versus raíz cuadrada del tiempo**



Fuente: <http://www.estabilizaciondesuelos.com/8-descripcion-del-sistema>.

Consulta: febrero de 2014.

En la figura 1 se puede observar la permeabilidad obtenida en un suelo tratado y sin tratar. El tratamiento convierte los agregados en repelentes al agua, por lo que las permeabilidades se reducen en órdenes de magnitud.

De acuerdo con (OptimaSoil, 2014), empresa española que se dedica a la Investigación, Desarrollo y Comercialización de nano materiales y polímeros destinados a la estabilización de suelos, entre las características de los suelos que pueden mejorarse mediante una estabilización están las siguientes:

- Incremento de UCS, compresión no confinada, módulos, etc.
- Aumenta el índice CBR
- Incremento de densidades
- Mejora la adherencia con polímeros y betún
- Evita la absorción por capilaridad
- Minimiza los efectos del hielo y deshielo
- Previene las reacciones químicas
- Minimiza la expansividad del suelo
- Evita movimiento de finos

El suelo en condiciones secas, no sufrirá la expansión y contracción de los ciclos hielo-deshielo, que tanto afectan a la pérdida de densidad del suelo y su consiguiente fallo.

2. FACTORES QUE SE CONSIDERAN PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLA

De acuerdo con (Alonso, 2005), una alcantarilla es una estructura que tiene como objetivo principal sortear un obstáculo al paso del agua. En la mayoría de los casos se aplican al diseño vial, es decir, cuando el flujo es interceptado por un camino o una vía de ferrocarril. Cuando se realiza el diseño geométrico de un camino, el mismo, normalmente se interpone en el movimiento natural de escurrimiento de las aguas de la zona de emplazamiento. En la ladera de una montaña, se interpone en el camino de escurrimiento de las aguas que bajan por ella. Cuando atraviesan un arroyo, un río, o cualquier otro canal, y aún en los paisajes más llanos, la topografía del terreno obliga al movimiento del agua en alguna dirección.

2.1. Factores utilizados actualmente

Habitualmente, para diseñar una alcantarilla se adopta el “caudal producido por una tormenta con un tiempo de retorno de 25 a 50 años, dependiendo básicamente del grado de daños que podría ocasionar una falla funcional de la alcantarilla” (Alonso, 2005, pág. 1).

Igualmente, se deben tomar en cuenta otros factores como la estructura del camino, que incluye capas de distintos materiales y densidades. En general, conviene evitar el contacto del agua con dicha estructura. Por esta razón se exige que el nivel del agua en la entrada de la alcantarilla no supere un cierto límite asociado a la conservación física del camino.

Es importante también considerar la resistencia de la alcantarilla para que pueda soportar el peso de las capas de relleno estructural, que la confinan. Esto podría condicionar el material empleado en la alcantarilla.

Con base en lo planteado por (Alonso, 2005), existen varios factores que se utilizan en el dimensionamiento hidráulico de las alcantarillas, factores que se analizan en cada caso particular, y que están fuertemente ligados a la experiencia del diseñador. También el factor económico desempeña un rol importante en la selección del tipo de alcantarilla que se va a utilizar.

En síntesis, el diseño de alcantarillas consiste en determinar el tipo de sección, material y embocadura de alcantarilla que, para la longitud y pendiente que posee sea capaz de evacuar el caudal de diseño, provocando un nivel de agua en la entrada que no ponga en peligro la falla estructural ni funcional de la estructura que se desea atravesar, optimizando los recursos disponibles.

Además de los factores mencionados, puede variarse la ubicación y posición de la alcantarilla, lo cual modifica longitudes y pendientes, etc. El criterio y buen juicio del ingeniero dará la última palabra.

2.1.1. Estudio de la cuenca o microcuenca

El diagnóstico, análisis y evaluación de las condiciones imperantes de las obras de drenaje de una vía, rigen el comportamiento hidráulico de dichas obras, de tal manera que permiten establecer en forma objetiva las necesidades de mejora, ampliación o sustitución de los sistemas de drenaje.

En el presente trabajo se presenta un resumen de los estudios hidrológicos e hidráulicos realizados para el diseño de la obra de drenaje mayor ubicado en la estación 90+222, de la ruta interamericana de Occidente, jurisdicción de Tecpán, Guatemala, departamento de Chimaltenango. La razón es que mediante las obras que se diseñen, las aguas de lluvias se desalojan en forma rápida segura y económica en beneficio de los usuarios de la vía. Pero principalmente el fin primordial es proteger la estructura de la carretera en toda su vida útil. El estudio hidrológico aporta información valiosa y de gran utilidad para el diseño de alcantarillas entre las que se destacan:

- Estimar el caudal de las avenidas máximas de conducción de las diferentes quebradas que afectan el área del proyecto, objeto de estudio.
- Estimar los niveles máximos y la velocidad máxima para la avenida de diseño para el drenaje mayor.
- Revisar hidráulicamente la sección de la descarga de los drenajes existentes.
- Diseñar las nuevas obras de drenaje necesarias, así como las obras de protección contra la erosión.
- También se ha complementado el estudio hidrológico con trabajos de campo y de gabinete tales como:
- Recopilación de información meteorológica y cartográfica
- Análisis de la información disponible

- Estimación de caudales máximos
- Reconocimiento de los cauces de los ríos y quebradas, en el área de estudio
- Preparación de información técnica

2.1.2. Cálculo del caudal de aporte de la cuenca o microcuenca

Para el cálculo del caudal de aporte de la cuenca ubicada en la estación 90+222, objeto de estudio, se utilizará la tabla de intensidad de lluvia medida por la estación pluviográfica ubicada en Santa Cruz Balanyá, ya que se encuentra a una elevación similar a la del tramo de la carretera en estudio y se localiza en las proximidades de la ubicación de la cuenca. De acuerdo con las características del lugar se utilizó una intensidad de lluvia de 45 minutos, para un periodo de retorno de 25 años, y el coeficiente de escorrentía correspondiente a suelos limosos cultivados.

Tabla II. **Cálculo de intensidad de lluvia con periodo de retorno de 5 años**

Duración		Intensidad (mm/hora)	Lámina mm	P de Retorno (Años)
(Horas)	(Minutos)			
0.0830	5	239.575	19.9646	5
0.1667	10	176.761	29.4602	5
0.2500	15	143.191	35.7977	5
0.4167	25	106.923	44.5513	5
0.5000	30	95.789	47.8947	5
0.7500	45	74.394	55.7953	5
1.0000	60	61.84	61.8403	5
1.2500	75	53.452	66.8156	5
1.7500	105	42.773	74.8525	5
2.0000	120	39.119	78.2383	5
2.2500	135	36.144	81.3251	5
2.5000	150	33.668	84.1697	5

Fuente: (INSIVUMEH, Estación pluviográfica Santa Cruz Balanya). Estación pluviográfica Santa Cruz Balanyá, 2010.

Tabla III. **Cálculo de intensidad de lluvia con periodo de retorno de 25 años**

Duración		Intensidad (mm/hora)	Lámina mm	P de Retorno (Años)
(Horas)	(Minutos)			
0.0830	5	329.812	27.4843	25
0.1667	10	226.545	37.7576	25
0.2500	15	179.731	44.9327	25
0.4167	25	133.218	55.5076	25
0.5000	30	119.532	59.7662	25
0.7500	45	93.736	70.3024	25
1.0000	60	78.785	78.7846	25
1.2500	75	68.813	86.0156	25
1.7500	105	56.072	98.1258	25
2.0000	120	51.686	103.3729	25
2.2500	135	48.100	108.2259	25
2.5000	150	45.102	112.7542	25

(INSIVUMEH, Estación pluviográfica Santa Cruz Balanya). Estación pluviográfica Santa Cruz Balanyá , 2010.

Tabla IV. **Cálculo de intensidad de lluvia con periodo de retorno de 50 años**

Duración		Intensidad (mm/hora)	Lámina mm	P de Retorno (Años)
(Horas)	(Minutos)			
0.0830	5	369.102	30.7585	50
0.1667	10	246.803	41.1339	50
0.2500	15	194.583	48.6458	50
0.4167	25	144.017	60.0071	50
0.5000	30	129.316	64.6581	50
0.7500	45	101.744	76.3081	50
1.0000	60	85.807	85.8072	50
1.2500	75	75.179	93.9736	50
1.7500	105	61.582	107.7681	50
2.0000	120	56.892	113.7847	50
2.2500	135	53.053	119.3685	50
2.5000	150	49.838	124.5942	50

(INSIVUMEH, Estación pluviográfica Santa Cruz Balanya) Estación pluviográfica Santa Cruz Balanyá , 2010.

Tabla V. **Coefficiente de escorrentía para distintos usos del suelo**

Coefficientes de escorrentía para distintos usos del suelo	
Uso del suelo/Tipo de superf.	Rango de valores de C*
Zona comercial centro ciudad	0,70 to 0,95
Industria pesada	0,60 to 0,90
Unidades residenciales adosadas	0,60 to 0,75
Industria ligera	0,50 to 0,80
Negocios en barrios residenciales	0,50 to 0,70
Suelos limosos cultivados	0,40 to 0,45
Barrio con casas aisladas	0,25 to 0,40
Jardín de juegos	0,20 to 0,35
Terrenos baldíos	0,10 to 0,40
Parques, jardines y cementerios	0,10 to 0,25
Bosques de suelos arenosos	0,10 to 0,15

* El coeficiente C es adimensional.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/RUNOFF>. Consulta: marzo de 2014.

En vista que no existen series de registro de caudales máximos en las quebradas del área, el análisis estadístico de esta serie de caudales no puede ser llevado a cabo, por lo que es necesario utilizar un modelo de escurrimiento del tipo lluvia – escorrentía. Uno de los modelos aplicable para cuencas pequeñas es la utilización del método racional. Este método asume que la distribución de la precipitación es uniforme en toda la cuenca y por lo tanto el escurrimiento también lo es. La fórmula racional se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 0.278 \text{ CIA}$$

En donde:

Q = caudal máximo instantáneo en m³/seg

C = coeficiente de escorrentía; (adimensional)

I = intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración y periodos de retorno determinados en mm/hora

A = área de la cuenca en Km²

Entonces dimensionando todas las variables queda:

I = 93.736 mm/hora

C = 0.40 por el suelo existente adimensional

A = 1.83433 Km²

Q = 0.278 (0.40) (93.736) (1.83433)

Q = 19.12 m³/seg

2.1.3. Cálculo de la alcantarilla de acuerdo con el caudal y los materiales de arrastre que actualmente se consideran

Con los datos conocidos, para el cálculo de la alcantarilla se utilizará la fórmula de Manning que es la siguiente:

$$Q = 1/n A (R_h)^{2/3} S^{1/2}$$

En donde:

R_h = radio hidráulico en m, función del tirante hidráulico

n = parámetro que depende de la rugosidad de la pared

Q = caudal que pasa por la tubería en $m^3/seg.$

A = área de la sección del flujo de agua m^2

S = pendiente de la línea de agua en m/m

Entonces despejando las variables que interesa encontrar:

$$\frac{Q \times n}{S^{1/2}} = A (R_H)^{2/3}$$

$$A (R_H) = \frac{19.12 \cdot 0.037}{0.025^{1/2}} = \frac{0.70744}{0.158113883} = 4.4742$$

Si se calcula a sección llena, el radio hidráulico = radio de la tubería

$$R_T^2 (R_T)^{2/3} = 4.4742$$

Luego de desarrollar la ecuación algebraicamente queda:

$$R_T = \left(\frac{4.4742}{\pi} \right)^{3/8} = 1.14179$$

$$R_T = 114.18 \text{ cm} / 2.54 \text{ pulg} / \text{cm} = 44.95 \text{ pulg.}$$

Entonces el diámetro $D = 89.90$ pulgadas

Para efectos de cálculo directo se usará un diámetro igual a 89,90 pulgadas, con el conocimiento que no hay alcantarillas de este diámetro, y se ajustará al diámetro que distribuyen los productores, cuando se le apliquen los factores que intervienen en el cálculo para desfogar el material de arrastre.

2.2. Determinación de los factores extras a considerar, por cambio de uso del suelo

Para el cálculo del transporte de sedimentos, la información básica necesaria es de dos tipos: una de tipo granulométrico del material del lecho del cauce (diámetros característicos) y otra de tipo hidráulico, a través de las características del flujo. Mediante el muestreo de campo y la obtención de curvas granulométricas, se establecen las características del material del fondo “*bed load*”.

Además, debe considerarse que áreas adyacentes a la cuenca fueron deforestadas y utilizadas para cultivos, lo que incrementa la probabilidad de taponamiento de las alcantarillas.

Figura 4. Material de arrastre que provoca el taponamiento



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222, Carretera Interamericana de Occidente.

Figura 5. Visión de la correntada de agua sobre la pista al producirse el colapso de la tubería



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222, Carretera Interamericana de Occidente.

2.2.1. Inspección visual e identificación de tipos de material durante el levantamiento topográfico que se le hizo a la cuenca en estudio

Se observaron rocas desprendidas de los taludes y arrastradas aguas abajo, material tipo talcoso probablemente de algún banco de material, ubicado en la parte de arriba de la montaña, gran cantidad de basura, desperdicios de cultivos troncos y ramas de árboles, neumáticos y dos animales muertos (dos perros).

Esto evidencia las consecuencias del mal manejo de suelos y cómo cualquier fenómeno natural puede causar cualquier tipo de desastre.

Figura 6. Rocas desprendidas de talud adyacente



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222, Carretera Interamericana de Occidente.

2.2.2. Clasificación del material

Esta clasificación se refiere al material encontrado en la cuenca en estudio, y servirá principalmente para determinar qué material es el que contribuye más con el taponamiento de las tuberías, y poder hacer recomendaciones básicas para su manejo y evitar daños mayores que puedan provocar el colapso de las alcantarillas y por consecuencia de las carreteras.

2.2.3. Materiales reciclables

Entre los materiales reciclables que se observaron se encuentran los restos de latas y metales, envases de vidrio, botellas de plástico, madera y hojas que en estado de descomposición pueden llegar a funcionar como abono de otras siembras, etc.

2.2.4. Materiales no reciclables

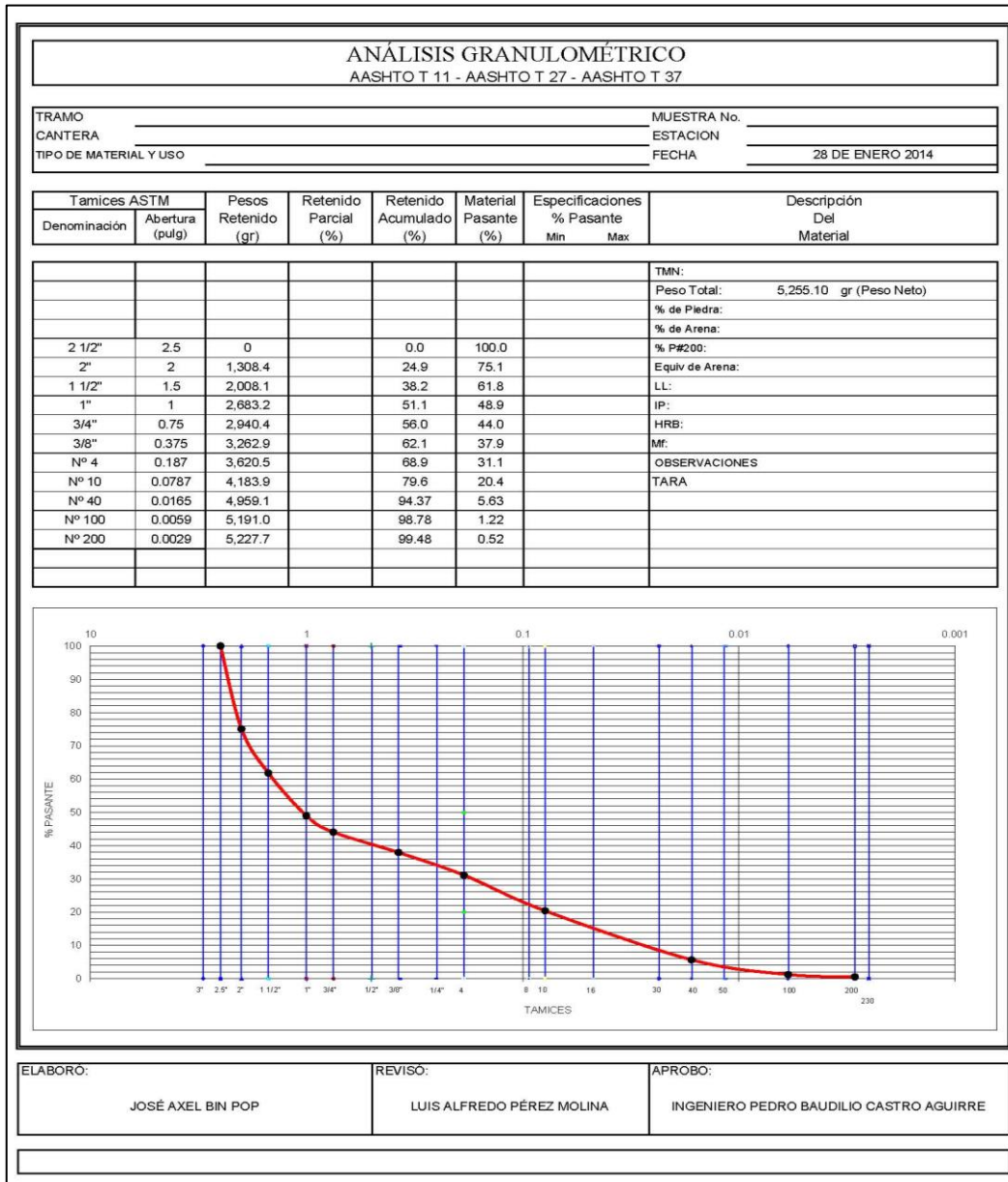
De los materiales no reciclables que se encontraron y que son bastante dañinos para el paso de las tuberías están los neumáticos, que por su estructura es difícil que pueda una corriente desprenderlos si ya se afianzaron a una área determinada, revistas y catálogos, papel utilizado en la cocina y servilletas, papel higiénico, vasos de plástico usados, bombillas, tubos fluorescentes, tazas, textiles, macetas y objetos en general de cerámica, que por la zona específica, los habitantes se dedican a la elaboración de recuerdos de este material, tirando el desperdicio a la cuenca.

Tecpán se ha caracterizado por contar con muchos talleres de tejidos de lana, el sobrante de la elaboración de prendas de vestir y telas también es llevado a la cuenca.

2.2.5. Rocas y material orgánico

Se tomaron las muestras del lecho de la corriente de la cuenca y luego se efectuaron los ensayos del laboratorio para determinar el material de arrastre natural que se produce con la corriente original, ya que es un factor de incidencia en el funcionamiento de las alcantarillas, los resultados se presentan a continuación.

Figura 7. Formulario de la granulometría practicada al lecho de la corriente en la cuenca

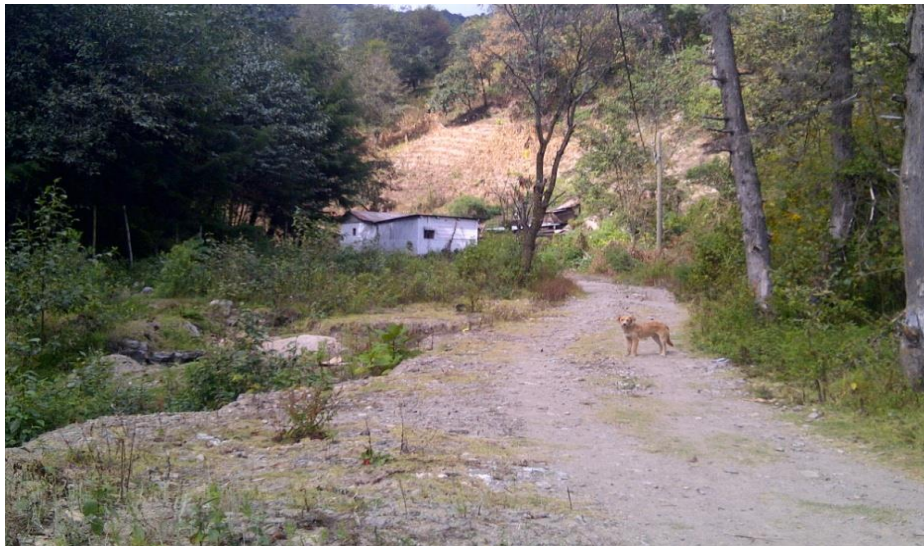


Fuente: elaboración propia, (Análisis Granulométrico, 2014) con equipo de laboratorio de suelos con certificación de equipo calibrado.

2.2.6. Maderas y material proveniente de cultivos

Se observó que los bosques adyacentes a la cuenca han sido deforestados en gran cantidad, por lo que la madera sobrante de las piezas que son utilizadas en la fabricación de muebles, van a dar a la cuenca para que cuando llueva, según los habitantes, se lleve la ramazón, corteza y piezas pequeñas de madera (astillas), aguas abajo.

Figura 8. Bosque talado adyacente a la cuenca, para utilizarlo como área de cultivo y construcción



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222, Carretera Interamericana de Occidente.

Estas áreas deforestadas han sido utilizadas para la siembra de milpa, hierbas, legumbres, hortalizas; cuando los pobladores hacen la limpia, los tallos de las milpas y demás siembras son colocados en el paso de la corriente, lo que ha provocado que las tuberías que han sido diseñadas para el paso de agua, no sean suficientes y sufran taponamientos.

Estos taponamientos en general originan el problema que el agua, al no encontrar un desfogue adecuado, encuentra en la pista el paso para trasladarse de lugar, provocando socavamientos que han causado el colapso de las carreteras, interrumpiendo la libre circulación y causando grandes pérdidas económicas y a veces humanas al país.

2.2.7. Determinación de zonas limitantes en una cuenca o microcuenca

Los criterios que se utilizaron son estrictamente los demarcados naturalmente y son los siguientes:

- Identificación y delineamiento de los límites de las aguas a partir de una inspección ocular de curvas de nivel y modelos del relieve: utilizando los datos obtenidos de la estación pluviográfica o pluviométrica más cercana disponible; se despliegan sobre las curvas de nivel y los modelos del terreno sombreados. Es así como las divisorias o parte aguas separan las diferentes áreas de las cuencas, junto sus delimitaciones naturales exclusivas de cada cuenca.

- Para el cálculo de la cuenca ubicada en la estación 90+222 de la Ruta Interamericana de Occidente, se tomó en cuenta que no estuviera contenida dentro de otra cuenca.
- Se observó que la cuenca en estudio es de carácter endorreico, ya que no conecta a ningún lago, río o mar para desfogar sus aguas.
- Por último, se detectaron sistemas hidrográficos o lluvias de poca intensidad que desaparecen en el interior de los límites de circulación de la cuenca.

3. DISEÑO DE ALCANTARILLAS DE GRAN TAMAÑO UTILIZANDO FACTORES EXTRAS POR CAMBIO DE USO DEL SUELO

El principal objetivo del presente trabajo es establecer una constante, que agregada a la fórmula racional, aumente el valor de un caudal ficticio, para el cálculo de una alcantarilla por la fórmula de Manning, y que sea capaz de evacuar, tanto el líquido en sí, como también el material de arrastre que llega a la alcantarilla, proveniente por diversas situaciones.

Esta constante deberá ser capaz de aumentar el caudal de tal forma que, aunque el material de arrastre sea grande, podrá dejar un área hidráulica de la tubería por donde circule el agua proveniente de las lluvias provocadas por un invierno normal o fenómeno atmosférico (huracanes, tormentas tropicales, depresiones tropicales, etc.) eventual.

3.1. Factores a considerar

Entre los factores que más incidencia tienen en el problema de conservación de las cuencas, con el fin de que una corriente de agua circule sin ningún problema, se pueden mencionar los siguientes:

- La poca manejabilidad que las municipalidades del interior han dado al problema de la basura, debido a que, al no contar con basureros establecidos, los pobladores toman las cuencas como tiradero, sin percatarse del daño tanto ecológico como de la infraestructura pública que se provoca.
- La deforestación desmedida de los bosques: estas áreas han sido utilizadas en ocasiones para cultivo de siembras tradicionales de la región, y en otras simplemente para el uso de la madera, lo que ha provocado que en algunos casos la intemperización del suelo tenga menos filtración de agua y la contribución de las laderas hacia la cuenca sea mayor, aumentando los caudales y arrastrando los desechos de la madera que no se utiliza, contribuyendo así que el material de arrastre sea mayor y dificulte la circulación de agua de un punto hacia otro.

3.2. Incidencia de cada factor para el cálculo de la alcantarilla

Todo factor no considerado en el diseño de un elemento ingenieril tendrá una incidencia en la estructura, entre los que se pueden citar las cimentaciones, estructuras, losas, muros etc.; por lo tanto debe de tomarse en cuenta la mayor cantidad de factores que actúan sobre los elementos diseñados; en este caso particular, el arrastre de troncos de árboles, rocas de tamaño considerable, basura y desperdicios de siembras aledañas a la cuenca, tendrán una gran incidencia en el funcionamiento de la alcantarilla diseñada.

Es necesario tomar en cuenta que la cantidad de material de arrastre que se produzca en determinado fenómeno natural, incide en el funcionamiento de la alcantarilla para desfogar el agua y así proteger la estructura de la carretera, evitando que en determinado momento llegue al colapso.

Con base en lo anterior, se recomienda la utilización de un factor como porcentaje en función del área de la tubería diseñada con los factores actuales y la integración de una constante que reúna la incidencia de cada factor extra por material de arrastre.

3.2.1. Determinación de los factores a utilizar

Para determinar los factores extras que inciden en el comportamiento de las alcantarillas, se realizó el trabajo de campo consistente en la medición de los diámetros de los árboles, diámetros de rocas, muestreo del material del lecho de la corriente, medición de áreas de basura, consideración del área de maleza que puede aportar al material de arrastre, tomando como ejemplo el área de influencia en la estación 90+222 de la Ruta Interamericana, lugar en donde se encuentra la cuenca objeto del presente estudio, siendo los resultados de las mediciones los que se detallan en las siguientes tablas

Tabla VI. **Cálculo de factor sugerido por la presencia de árboles**

BASURA	POSICION		AREA (m)	DIAMETRO DE LA TUBERIA (m)	AREA DE LA TUBERÍA	FACTOR SUGERIDO POR BASURA
	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL				
Papel	X	X	0.5000	2.2809	4.0859	0.1224
Metal	X	X	1.2500	2.2809	4.0859	0.3059
Plasticos	X	X	0.6000	2.2809	4.0859	0.1468
Maleza	X	X	1.2500	2.2809	4.0859	0.3059
Madera	X	X	0.7500	2.2809	4.0859	0.1836
Telas	X	X	0.9000	2.2809	4.0859	0.2203
Desperdicio de Siembras	X	X	2.6100	2.2809	4.6768	0.5581
Colchones	X	X	1.2600	2.2809	4.6758	0.2695
Animales Muertos	X	X	1.2500	2.2809	4.6758	0.2673

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Cálculo de factor sugerido por la presencia de rocas**

ARBOLES	POSICION		DIAMETRO ARBOL (m)	DIAMETRO DE LA TUBERIA (m)	AREA DE LA TUBERÍA	AREA ARBOL TRANSVERSAL	AREA ARBOL LONGITUDINAL	FACTOR SUGERIDO TRANSVERSAL	FACTOR SUGERIDO LONGITUDINAL
	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL							
Pino	x	x	1.19	2.2809	4.0859	2.714271	1.1122	0.6643	0.2722
Pino	x	x	0.44	2.2809	4.0859	1.003596	0.1520	0.2456	0.0372
Encino	x	x	0.22	2.2809	4.0859	0.501798	0.0380	0.1228	0.0093
Encino	x	x	0.28	2.2809	4.0859	0.638652	0.0616	0.1563	0.0151
Encino	x	x	0.19	2.2809	4.0859	0.433371	0.0284	0.1061	0.0069
Encino	x	x	0.16	2.2809	4.0859	0.364944	0.0201	0.0893	0.0049
Encino	x	x	0.29	2.2809	4.0859	0.661461	0.0661	0.1619	0.0162
Encino	x	x	0.22	2.2809	4.0859	0.501798	0.0380	0.1228	0.0093
Encino	x	x	0.21	2.2809	4.0859	0.478989	0.0346	0.1172	0.0085
Encino	x	x	0.24	2.2809	4.0859	0.547416	0.0452	0.1340	0.0111
Encino	x	x	0.23	2.2809	4.0859	0.524607	0.0415	0.1284	0.0102
Encino	x	x	0.12	2.2809	4.0859	0.273708	0.0113	0.0670	0.0028
Encino	x	x	0.19	2.2809	4.0859	0.433371	0.0284	0.1061	0.0069
Encino	x	x	0.1	2.2809	4.0859	0.22809	0.0079	0.0558	0.0019

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Cálculo de factor sugerido por la presencia de basura**

ROCAS	POSICION		DIAMETRO(1) ROCA (m)	DIAMETRO(2) ROCA	DIAMETRO DE LA TUBERIA (m)	AREA DE LA TUBERÍA	AREA APROX. ROCA	FACTOR SUGERIDO PARA ROCA
	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL						
Caliza	x	x	2.60	1.75	2.2809	4.0859	3.5735	0.8746
Caliza	x	x	1.98	1.29	2.2809	4.0859	2.0013	0.4898
Caliza	x	x	1.75	1.14	2.2809	4.0859	1.5634	0.3826
Caliza	x	x	1.25	0.81	2.2809	4.0859	0.7977	0.1952
Caliza	x	x	1.15	0.75	2.2809	4.0859	0.6751	0.1652
Caliza	x	x	1.15	0.75	2.2809	4.0859	0.6751	0.1652
Caliza	x	x	1.10	0.72	2.2809	4.0859	0.6177	0.1512
Solida	x	x	1.25	0.81	2.2809	4.0859	0.7977	0.1952
Solida	x	x	1.25	0.81	2.2809	4.0859	0.7977	0.1952
Solida	x	x	1.25	0.81	2.2809	4.0859	0.7977	0.1952
Solida	x	x	1.25	0.81	2.2809	4.0859	0.7977	0.1952
Poma	x	x	1.00	0.65	2.2809	4.0859	0.5105	0.1249
Poma	x	x	1.00	0.65	2.2809	4.0859	0.5105	0.1249
Poma	x	x	0.90	0.59	2.2809	4.0859	0.4135	0.1012

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Cálculo de factor sugerido por la presencia de agregados en el lecho de la cuenca 90+222**

TIPO DE AGREGADO	POSICION		DIAMETRO (m)	DIAMETRO DE LA TUBERIA (m)	AREA DE LA TUBERÍA	AREA DEL AGREGADO PROPORCIONAL A LA MUESTRA	FACTOR SUGERIDO POR BASURA
	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL					
Agregado Grueso	X	X	0.0635	2.2809	4.0859	0.3167	0.0775
Agregado Grueso	X	X	0.0508	2.2809	4.0859	0.1522	0.0373
Agregado Grueso	X	X	0.0381	2.2809	4.0859	0.0705	0.0172
Agregado Grueso	X	X	0.0254	2.2809	4.0859	0.0248	0.0061
Agregado Grueso	X	X	0.0191	2.2809	4.0859	0.0126	0.0031
Agregado Grueso	X	X	0.0095	2.2809	4.0859	0.0027	0.0007
Arena	X	X	0.0047	2.2809	4.0859	0.000540	0.0001
Arena	X	X	0.0020	2.2809	4.0859	0.000064	0.0000
Arena	X	X	0.0004	2.2809	4.0859	0.000636	0.0002
Arena	X	X	0.00015	2.2809	4.0859	0.000000022	0.0000
Arena	X	X	0.00007	2.2809	4.0859	0.000000020	0.0000

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Determinación del factor número para el cálculo de la alcantarilla

Como medida de seguridad se tomará la incidencia mayor de cada uno de los factores para integrar la constante que se sugerirá aplicar en la fórmula racional para aumentar el caudal ficticio, el cual servirá para absorber el material de arrastre que llegue a la alcantarilla, El factor integrado se presenta en la tabla siguiente.

Tabla X. Factores e incidencias en el cálculo de la alcantarilla

FACTOR	INCIDENCIA
Maderas	0,6643
Rocas	0,8746
Basura	0,5581
Agregados y arenas	0,0775
Constante a considerar	2,1745

Fuente: elaboración propia.

Esta constante deberá multiplicarse con la fórmula racional, específicamente para la cuenca de la estación 90+222, de la Ruta Interamericana.

3.3. Tipos de alcantarillas

- De tubos de concreto reforzado
- De metal corrugado
- Alcantarillas de material plástico

3.3.1. Características físicas generales de las alcantarillas

En la revista Construcción y Tecnología en Concreto (2012), se publicó que los principales atributos del tubo de concreto aplican a alcantarillados sanitarios y pluviales. Muchos de estos también podrían aplicarse a secciones en caja utilizadas para el drenaje pluvial, alcantarillas en caminos, túneles, puentes, y sistemas de detención subterránea.

Como ya se sabe, el tubo de concreto es un tubo rígido que ofrece tanto una estructura, como un conducto al colocarse en el sitio. Actualmente, el tubo de concreto es consecuencia del diseño asistido por computadora, del diseño avanzado de las mezclas de concreto, de los lotes automatizados y controlados por computadora; del refuerzo de varilla fabricada con precisión; de las técnicas de manufactura con calidad, de las uniones herméticas mejoradas, así como de las nuevas normas de instalación.

Investigaciones llevadas a cabo en la Universidad del Estado de Utah (1996) demuestran que los sistemas de tubería de alcantarillado pluvial ULTRA FLO son mejores que la tubería de concreto reforzado en cuanto a sus características hidráulicas. El Centro de Investigación del Agua de esta misma universidad, efectuó las pruebas hidráulicas de los tubos ULTRA FLO con corrugado espiral continuo de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ " x 7-1/2", con flujo máximo, el coeficiente de Manning fue de 0.012.

El tubo *Smooth Cor* tiene pared interior lisa y pared exterior corrugada de acero. Consta de tubo de acero corrugado estándar que constituye su capa exterior y un revestimiento liso para efectos hidráulicos.

El revestimiento se fija en la pared exterior por todo lo largo de la costura engrapada. El tubo *Smooth Cor* se fabrica de acuerdo con lo que se establece en la norma AASHTO M36, tipo A; el de la forma abovedada correspondiente al tipo IIA. Las características de las alcantarillas de material plástico son similares a las restantes y pueden resumirse con base en la información de los fabricantes de tuberías PVC en lo siguiente:

- Son de menor peso
- Son resistentes a la corrosión producida por aguas contaminadas
- Elimina la obstrucción en los tubos como resultado de la formación de residuos y óxidos, manteniendo la sección hidráulica de los tubos permanentemente.
- Presenta una superficie interior hidráulicamente lisa.
- Resistentes al ataque de roedores y termitas.
- Resistentes a los efectos del golpe de ariete, producido por el cambio de presión en el tubo.
- Más resistentes a los efectos de clima hostil como las heladas.
- No son afectadas por los efectos de las corrientes vagabundas y telúricas.
- Favorecen la limpieza evitando el desarrollo de algas y hongos.

3.3.2. Consideraciones para la selección de alcantarillas a utilizar

Para la selección de la alcantarilla que se va a utilizar debe evaluarse el material del que está hecha y revisar si cumple con las condiciones de durabilidad, resistencia, rugosidad, condiciones del terreno, abrasión e impermeabilidad; dependerá del suelo, el agua y de la facilidad de adquisición de los materiales en el lugar de la instalación.

Se considera la idea que la vida útil de una alcantarilla es cuando presta el servicio sin ningún contratiempo o deterioro en su estructura. En las especificaciones técnicas generales para el diseño de puentes y drenajes se establece que la vida útil de las alcantarillas se clasifica de acuerdo con el tipo de servicio y lugar en que serán colocadas, por ejemplo:

- Autopistas y rutas primarias > 50 años
- Colectores y locales > 30 años
- Desarrollo > 10 años

Cuando se trate de carreteras pavimentadas, la alcantarilla incluso debe recubrirse con un material bituminoso a modo de lograr su impermeabilización, para que evite la saturación de los terraplenes vecinos y de la estructura del pavimento.

Cuando las alcantarillas se colocan arriba de los cinco metros de profundidad se recomienda que sean de concreto armado por la dificultad que presenta reemplazarlas.

El costo de las alcantarillas está altamente influenciado por la selección del material, forma y sección de ellas. En la elección del tipo de alcantarillas se considerarán los siguientes factores:

- Factores físicos y estructurales
 - Durabilidad
 - Altura disponible para la alcantarilla
 - Carga de tierra sobre ella
 - Condiciones de apoyo
 - Rigidez de la alcantarilla
 - Resistencia al impacto
 - Tipo de terreno existente

- Factores hidráulicos, tales como:
 - Caudal de diseño
 - Forma, pendiente y área del cauce
 - Velocidad de aproximación
 - Carga hidráulica total admisible
 - Arrastre de sedimentos y otros materiales (basura, rocas, árboles, etc.)
 - Condiciones de entrada y salida
 - Pendiente de la alcantarilla
 - Rugosidad del conducto
 - Longitud y tamaño de la alcantarilla
 - Sección transversal

- Factores de construcción y mantenimiento:
 - Accesibilidad del lugar
 - Disponibilidad de materiales
 - Costos de la obra

3.4. Determinación de la o las fórmulas de diseño, considerando los factores por cambio del uso del suelo

Inicialmente, con los datos proporcionados por las estaciones pluviográficas ubicadas lo más cercano a las cuencas, se utilizarán las intensidades de lluvia para calcular el caudal, siempre y cuando la cuenca esté dentro de lo permitido para utilizar la fórmula racional que se describe así:

$$Q = 0.278 CIA$$

En donde:

Q = caudal máximo instantáneo en m³/seg.

C = coeficiente de escorrentía; (adimensional)

I = intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración y periodos de retorno determinado en mm/hora

A = área de la cuenca en Km²

Una vez que se ha determinado el caudal, se utilizará la fórmula de Manning para el cálculo de la alcantarilla.

$$Q = 1/n A (R_h)^{2/3} S^{1/2}$$

En donde:

R_h = radio hidráulico en m, función del tirante hidráulico

n = parámetro que depende de la rugosidad de la pared

Q = caudal que pasa por la tubería en m^3/seg .

A = área de la sección del flujo de agua m^2

S = pendiente de la línea de agua en m/m

Habiendo calculado el diámetro de la alcantarilla, se multiplicará por la constante de arrastre, que se le llamará Z y que será la integración de los factores sugeridos de árboles, rocas, basura y materiales finos existentes en el lecho de la corriente de la cuenca, quedando la fórmula de Manning así:

$$Q = 1/n A (R_h)^{2/3} S^{1/2} Z$$

3.5. Procedimiento de cálculo para alcantarillas de diámetros grandes

El procedimiento para el cálculo de la alcantarilla será inicialmente como una alcantarilla normal, luego deberá de hacerse un estudio de campo, identificando los factores que puedan afectar la circulación del agua de un lugar a otro; una vez identificados los factores, deberá de medirse los diámetros de los árboles, rocas, hacer ensayos de granulometría, estimar la cantidad de basura que pueda llegar a la cuenca y algún otro factor importante que evite la libre circulación del agua.

Deberán de construirse las tablas relacionando las áreas de árboles más grandes, rocas granulometrías y basura, con el área de la tubería, sin aplicarle ninguno de estos factores; luego se tomarán los factores más grandes que provocan cada uno de los elementos considerados y se suman obteniendo la constante Z , que será la que se multiplicará con el diámetro de la tubería. Esto con el fin de poder soportar en determinado momento el efecto producido por

todos estos factores juntos; sin embargo debe considerarse que este procedimiento es solo para cuencas y microcuencas bien marcadas.

Las alcantarillas que se colocan a lo largo de la carretera, deben seguir siendo calculadas de acuerdo con la longitud y aportación de caudal que le provee la pista de rodadura.

3.6. Presentación de resultados

Dentro de los estudios granulométricos y las mediciones de campo, tanto topográficas como de radios y tamaños de los elementos considerados, se tienen los siguientes resultados:

Tabla XI. Rangos de factor de los estudios granulométricos

ELEMENTO	RANGO DE FACTOR
Árboles en colocación transversal	0.0558 – 0.6643
Árboles en colocación longitudinal	0.0019 – 0.2722
Rocas	0.1012 – 0.8746
Basura	0.1224 – 0.5581
Agregados	0.0000 – 0.0775

Fuente: elaboración propia.

4. PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE DIÁMETROS MAYORES

4.1. Equipo de trabajo

Basados en la experiencia referente a la colocación de tuberías de gran tamaño o bóvedas, a lo largo de las carreteras, se ha observado que el equipo básico para el armado de dichas estructuras de hierro galvanizado corrugado es el siguiente:

- Una retroexcavadora 330 para la colocación de la tubería en el lugar de trabajo y de las conchas o planchas metálicas de la tubería en el proceso de armado.
- Cables de acero de 1 o 1 ½ pulgada de diámetro, que se fijan a las planchas de acero y al cucharón de la máquina para poder maniobrarla.
- Compresor de aire con su respectiva pistola, para la sujeción de los pernos de la tubería.
- Puntas de acero para alinear los agujeros de las láminas, en caso presenten alguna mínima desviación.
- Andamios metálicos, escaleras y tablas de madera, por el diámetro de la tubería, para poder ajustar los pernos en la parte alta.

- Juegos de llaves de copas para ajustar los pernos.
- Guantes, cascos, chalecos reflectivos y señalización adecuada para el área de trabajo.

4.2. Proceso de armado

Para la instalación de alcantarillas de metal corrugado se debe respetar lo que se indica en los planos de construcción y diseño de obra y en las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, edición 2001, las cuales deben ser consultadas cuando se tenga cualquier duda respecto del proceso de armado; estas se resumen a continuación:

- Las planchas de los tubos circulares elípticos tienen que ser estructurales, capaces de soportar la presión, y por su condición de cascarones estructurales, tienen la particularidad de absorber las presiones actuantes en las mismas.
- Los agujeros de los pernos deben hacerse en forma de zetas (*zigzag*) con cinco centímetros de separación una de la otra, debiendo hacerse una fila en la parte cóncava y otra en la parte convexa de la corruga.
- Las juntas a lo largo de los bordes deben contener los agujeros y no estar separados a más de 30 centímetros; la distancia entre el centro del agujero y el borde de la plancha no debe ser menor de 0.75 del diámetro del perno; el diámetro de los agujeros debe ser de 3.2 mm (1/8") más grande que el de los pernos.

- Para la colocación de la alcantarilla, el ingeniero delegado residente, junto con sus inspectores, verificará que las zanjas fueron excavadas con los requerimientos especificados en la orden de campo correspondiente y que los lechos superficiales de cimentación tienen la compactación indicada en los planos de construcción.
- La colocación de la alcantarilla debe iniciar en la parte más baja o salida de la misma, hacia la parte más alta o entrada de la alcantarilla. Cuando las alcantarillas tengan recubrimiento en el nivel, deben ser colocadas con este en la parte de abajo.
- Si en los planos de construcción se pide apuntalamiento, debe hacerse de acuerdo con el porcentaje que indiquen los planos. El apuntalamiento se hará de un lado a otro de la alcantarilla y por partes, para que no sufra cambios bruscos en su diámetro.
- No es recomendable realizar apuntalamiento en las alcantarillas de arcos en los arcos.
- Cuando se van a instalar estructuras de planchas estructurales, el ejecutor deberá de entregar al ingeniero delegado residente toda la documentación relacionada con esta actividad, debiendo cumplir con todas las recomendaciones que el fabricante y el delegado residente le hagan para la instalación y transporte

Figura 9. **Instalación de bóveda**



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222, Carretera Interamericana de Occidente.

Si las aleaciones de aluminio están en contacto con otros materiales, las partes en contacto deberán de recubrirse con materiales bituminosos para evitar contactos directos con dichos materiales. Deben de aplicarse torques a los pernos de acero, de acuerdo con lo que se indica en las especificaciones mencionadas. Cuando se coloquen estructuras con luz grande, se utilizarán cables apuntalamiento o material de relleno, y las planchas deben estar alineadas adecuadamente.

Por ninguna causa se debe utilizar equipo sobre o cerca de la estructura que pueda alterar su forma. Deberá tenerse una cuadrilla de topografía para chequear contantemente la instalación de la estructura, revisando movimientos de deflexiones; se deberá tener muy en cuenta los límites de deflexión que recomienda el fabricante.

4.3. Compactación del relleno estructural

Para la compactación de relleno estructural de alcantarillas se debe respetar lo que se indica en los planos de construcción y diseño de obra y en las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, las cuales están especificadas en las páginas 205-4, 205-6, 205-7, 206, 206-2, 206-3, 603-2, 603-3, 603-4 y 603-5, que se resumen a continuación, recomendando consultar las especificaciones antes mencionadas para solventar cualquier duda que se tenga referente al proceso de compactación del relleno estructural:

- Es recomendable que para formar una buena cimentación en la parte donde va ir colocada la tubería, las primeras capas sean de un concreto pobre conocido en el ámbito de carreteras como un lodocreto.
- La excavación estará formada desde la parte donde se inicia la construcción de la cimentación de la alcantarilla a la altura original del terreno o subrasante.
- Si el material de la excavación no cumple con las especificaciones para un relleno estructural, se utilizará material que sí cumpla, de otro banco. Pueden utilizarse piedras en el relleno estructural siempre y cuando se mezcle un material que llene los vacíos entre estas y que dé oportunidad de compactarse.
- Para utilizar roca en los rellenos debe ser seleccionada y cumplir con los requerimientos de los planos de obra, si lo indican, o las especificaciones especiales para la construcción de carreteras y puentes.

- Cuando los rellenos sobre el nivel del agua, detrás de estructuras especiales y subestructuras deben ser horizontales, el espesor de las capas dependerá de la propuesta que el contratista haga al delegado residente para que decida dicho espesor, después de evaluar el equipo de compactación con que cuenta el ejecutor.
- Las capas deben ser compactadas al 90 % como mínimo de la densidad máxima que se esté utilizando. En el último metro debajo de la subrasante, la compactación mínima tiene que ser al 95 % de la densidad máxima que se esté utilizando.
- Si el material de relleno es depositado en agua no se medirá la densidad para las capas, hasta después de un metro, cuando el material esté seco, y se compactará por apisonamiento.
- Para evitar la acumulación de agua alrededor de la cimentación, se debe hacer el relleno inmediatamente hasta la altura de la superficie.
- En donde las excavaciones tengan áreas limitadas, las compactaciones se harán con compactadoras de mano o por apisonamiento. De igual forma cuando se utilicen compactadoras de mano, se utilizarán los mismos materiales que se extrajeron en la excavación estructural si es adecuado; de no serlo se utilizará de otro banco, el cual debe tener la aprobación del Ingeniero delegado residente.

- De acuerdo con la práctica, se debe construir un muro de piedra informal, y deberá retirarse cuando el relleno estructural esté completado para dar inicio con la construcción de los estribos y alas de los muros que encerrarán la tubería y el relleno estructural.
- Los rellenos que van alrededor de las estructuras para sujetar la alcantarilla deben ser compactados a la vez y con el mismo número de capas. Se debe rellenar una estructura de concreto hasta que este fragüe y tenga la resistencia requerida para soportar la compactación. Todo relleno en general debe hacerse cuando se considere que las juntas ya alcanzaron la resistencia requerida.

Figura 10. **Chequeo de compactaciones para relleno de tubería**



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222 Carretera Interamericana de Occidente.

Cuando el material de relleno que se debe colocar en la corona de la alcantarilla no cumple con los requisitos establecidos en los planos o en las especificaciones especiales, el ingeniero delegado residente puede ordenar que se utilice material de otro banco que sí cumpla con los requisitos requeridos. Las capas de compactación no deben ser mayores de 15 cm y se deben hacer a la vez en ambos lados de la alcantarilla.

Se recomienda que para lograr una mejor compactación se utilicen compactadoras mecánicas, sin embargo se podrán utilizar compactadoras de mano que sean adecuadas para alcanzar las condiciones requeridas. Las vibrocompactadoras de rodo pesado no deben utilizarse en el relleno lateral de la alcantarilla sino por sobre la misma, una vez que se logró la compactación de como mínimo 60 cm por arriba de la corona.

Cuando se utilice arena de río como material de compactación se tiene que tener cuidado con la humedad que se le está dando al relleno, para no provocar que la alcantarilla flote; este material será utilizado únicamente si lo autoriza el ingeniero delegado residente. Los rellenos de las bóvedas deben estar en capas sucesivas debidamente confinadas con la estructura, respetando la inclinación de los taludes de $1 \frac{1}{2}$ a 1, que quiere decir $1 \frac{1}{2}$ metros de altura por 1 metro de ancho.

4.4. Control de calidad

El acabado de las alcantarillas debe tener una buena terminación en su fabricación y transporte, debiendo cumplir con los siguientes requisitos:

- Traslapes en buen estado
- Que su circunferencia no presente ningún tipo de alteración
- Debe tener la línea del eje central en perfecto estado
- Sus bordes no deben presentar ningún daño
- Tanto los pernos como los agujeros deben ser adecuados y que correspondan el uno al otro
- Que la marca del fabricante sea fácil de identificar
- Todas las láminas tienen que estar en buen estado aun después del transporte y el traslado al lugar en donde se armara la alcantarilla.
- Las marcas del fabricante deben ser legibles y en un lugar fácil de localizar para su chequeo.

La Dirección General de Caminos establece que toda alcantarilla para que pueda ser utilizada, deberá de cumplir con lo siguiente:

- Nombre del fabricante de las láminas o planchas
- Marca y clase del metal básico
- Calibre o espesor
- Peso del galvanizado

El delegado residente deberá revisar los certificados que le proporcione el contratista para autorizar o no el uso de determinada alcantarilla. Podrá realizar una visita con su equipo de trabajo a la fábrica en donde se producen las planchas para las alcantarillas y pedir cualquier tipo de análisis referente a las mismas, para corroborar los estándares de calidad de los materiales.

No se puede aceptar ningún metal si antes no se presenta el certificado de calidad y garantía del fabricante.

En relación con el manejo, transporte, entrega y almacenamiento, el constructor será el encargado de velar porque el fabricante le entregue la alcantarilla en planchas en buenas condiciones, porque aun cuando salieron sin ningún problema de la fábrica, si en el transporte sufren alguna alteración a sus condiciones físicas, pueden ser rechazadas en la obra.

Figura 11. **Transporte de bóveda**



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222 Carretera Interamericana de Occidente.

Cuando el contratista le haga llegar al ingeniero delegado residente toda la información referente a las alcantarillas, este realizará una inspección y aprobará o no su uso. Para la instalación, el contratista debe requerir de la empresa productora de la alcantarilla, un curso sobre instalación, que deberá ser impartido al personal encargado de la misma en la obra.

En este curso se le proveerá tanto al personal del contratista como al de la empresa supervisora, todos los lineamientos para una mejor utilización del equipo que se empleará para la construcción de la alcantarilla.

Se debe tener cuidado que la cimentación y los taludes de corte tengan una buena preparación antes de colocar la alcantarilla, para no tener ninguna clase de imprevistos, luego se tiene que iniciar con la colocación de la alcantarilla de la parte que se considera la salida hacia la parte superior, es decir la entrada.

Cuando se utilicen brocas y palancas para hacer coincidir los agujeros de las planchas, se debe tener especial cuidado para no dañar las láminas, porque si se considera que el daño puede afectar el funcionamiento de la alcantarilla, será rechazado inmediatamente.

En relación con los rellenos para estructuras, cada capa se debe compactar como mínimo al 90 % de la densidad máxima, determinada según el método AASHTO T 180; los últimos 300 milímetros superiores deben compactarse como mínimo al 95 % de la densidad máxima, determinada por el método citado.

La compactación se comprobará en el campo, de preferencia mediante el método AASHTO T 191 (ASTM D 1556). Con la aprobación escrita del delegado residente, se pueden utilizar otros métodos técnicos, incluyendo los no destructivos.

Figura 12. **Control de calidad de relleno**



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222 Carretera Interamericana de Occidente.

De acuerdo con la Dirección General de Caminos, el contratista debe de controlar el contenido de humedad adecuado, calentando el material y determinando la humedad a peso constante, o por el método del carburo de calcio, AASHTO T 217, a efecto de obtener la compactación especificada. Cada capa debe ser compactada con equipo apropiado para asegurar una compactación uniforme y no se debe proseguir la compactación de una nueva capa, hasta que la anterior llene los requisitos de compactación especificados.

4.5. Medidas de seguridad

En todas las áreas de trabajo, es necesario tomar medidas de seguridad para evitar cualquier tipo de percance que provoque daños tanto al personal que labora, como a las demás personas que transiten por las mismas.

4.5.1. Personal que arma la bóveda

- Zapatos industriales
- Guantes de cuero
- Breizas en buen estado (andamios)
- Cascos plásticos
- Chalecos reflectivos
- Lentes de trabajo

4.5.2. De los cortes

- Deben realizarse a plomo si el material es bastante estable
- Deben hacerse con la pendiente calculada si no hay estabilidad en los cortes.

4.5.3. Del tránsito

Como usualmente se trabaja media sección de la carretera:

- Se debe manejar el tránsito en un periodo de circulación no mayor de 15 minutos.
- Utilizar conos reflectivos que guíen a los automovilistas en ambos sentidos.
- Instalar rótulos informativos de área de trabajo en ambos sentidos.

- Colocar tambos y muros de New Jersey, de plástico, para delimitar el área de trabajo.
- Instalar luminarias indicando: sentido de la vía, precaución, velocidad permitida, etc.
- Colocar tableros informativos de personal trabajando.

Todos los elementos mencionados con anterioridad deberán de tener cintas refractivas como mínimo de 10 cm de ancho, colocadas una o varias veces si fuera necesario.

Figura 13. **Delimitación de la zona de trabajo**



Fuente: elaboración propia. Estación 90+222 Carretera Interamericana de Occidente.

5. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Este ejemplo se aplicó en la cuenca ubicada en el kilómetro 90+222 de la Ruta Interamericana, lo que se ha desarrollado a lo largo del presente trabajo; sin embargo podrá servir como guía para utilizarse en otra cuenca, según sean las necesidades; claro está que deberá hacerse trabajo de campo para determinar los factores que puedan afectar la libre circulación del fluido en determinada cuenca.

5.1. Cuenca ubicada en el Km. 90+222, Ruta Interamericana

Se calculará primeramente calculará el caudal de la cuenca por medio del método racional y con los datos de topografía e intensidad de lluvia ya tabulados anteriormente, de la siguiente manera:

$$Q = 0.278 CIA$$

En donde:

Q = caudal máximo instantáneo en m³/seg.

C = coeficiente de escorrentía; (adimensional)

I = intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración y periodos de retorno determinado en mm/hora

A = área de la cuenca en Km²

Entonces, dimensionando todas las variables:

$$I = 93.736 \text{ mm/hora}$$

$$C = 0.40 \text{ por el suelo existente adimensional}$$

$$A = 1.83433 \text{ Km}^2$$

$$Q = 0.278 (0.40) (93.736) (1.83433)$$

$$Q = 19.12 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Como segundo paso, con este caudal y con la fórmula de Manning se calcula el diámetro de la tubería:

$$Q = 1/n A (R_h)^{2/3} S^{1/2}$$

En donde:

R_h = radio hidráulico en m, función del tirante hidráulico.

n = parámetro que depende de la rugosidad de la pared

Q = caudal que pasa por la tubería en m^3/seg .

A = área de la sección del flujo de agua m^2

S = pendiente de la línea de agua en m/m

Entonces, despejando las variables que interesa encontrar:

$$\frac{Q \times n}{S^{1/2}} = A (R_H)^{2/3}$$

$$A (R_H) = \frac{19.12 \times 0.037}{0.025^{1/2} \times 0.158113883} = \frac{0.70744}{0.158113883} = 4.47$$

Si se calcula a sección llena el radio hidráulico = radio de la tubería

$$R_T^2 (R_T)^{2/3} = 4.47$$

Luego de desarrollar la ecuación algebraicamente queda:

$$R_T = \left(\frac{4.47}{\pi}\right)^{3/8} = 1.1413$$

$$R_T = 114.13 \text{ cm} / 2.54 \text{ pulg} / \text{cm} = 44.94 \text{ pulg. Entonces } D=89.90''$$

Comercialmente no hay en el mercado tuberías de diámetro de 89.90 pulgadas, por lo que se colocaría una de 90 pulgadas.

Después se integra la constante Z, por la que hay que multiplicar el diámetro de la tubería para que sea capaz de desfogar todo el material de arrastre y estos serán:

- Árboles: 0.6643
- Rocas: 0.8746
- Basura: 0.5581
- Agregados y arenas: 0.0775
- Constante a considerar: .1745

Por último se tiene que:

El nuevo diámetro Φ = diámetro de la tubería calculada sin factores multiplicado por la constante Z.

$\Phi = (89.90'') (2.1745) = 195.49''$; se recomienda colocar una bóveda de 196 pulgadas.

6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los trabajos y acciones realizadas en la cuenca ubicada en la estación 60+222, de la Ruta Interamericana Occidente, con los permisos de la municipalidad de Tecpán, Guatemala, municipio del departamento de Chimaltenango, iniciando con el levantamiento topográfico, los ensayos de laboratorio y las mediciones que se hicieron a factores que se consideraron que podrían afectar al buen desempeño de una tubería.

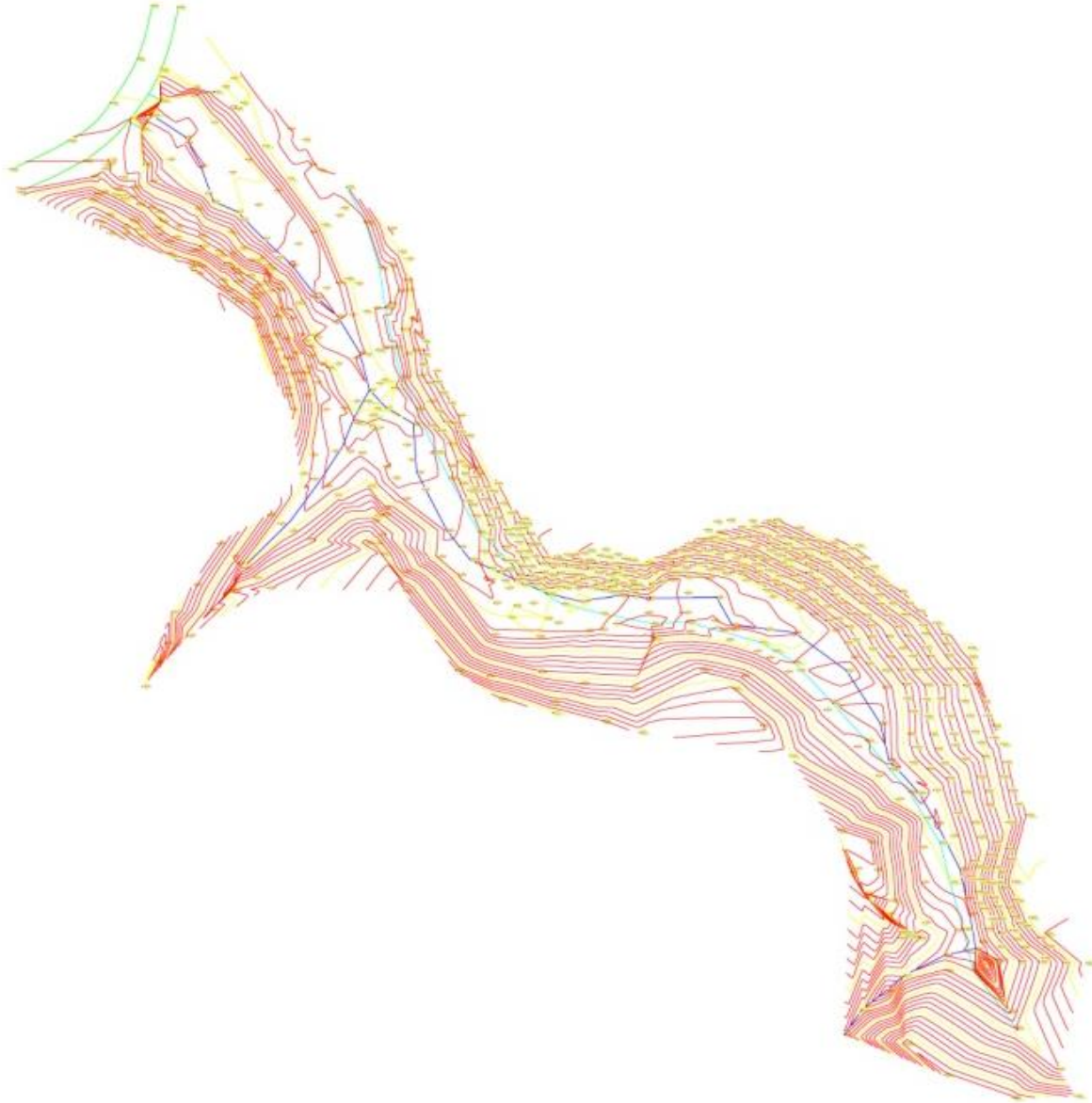
6.1. Resultados obtenidos en campo

A continuación se presentan los resultados obtenidos relacionados con el levantamiento topográfico, los análisis de laboratorio y las mediciones de los factores que pueden incidir en el funcionamiento de la alcantarilla.

6.1.1. De la topografía

El levantamiento topográfico con estación total consta de 33 hojas, de los cuales se deriva el siguiente mapa.

Figura 14. Levantamiento topográfico cuenca 90+222 CA-1 Occidente

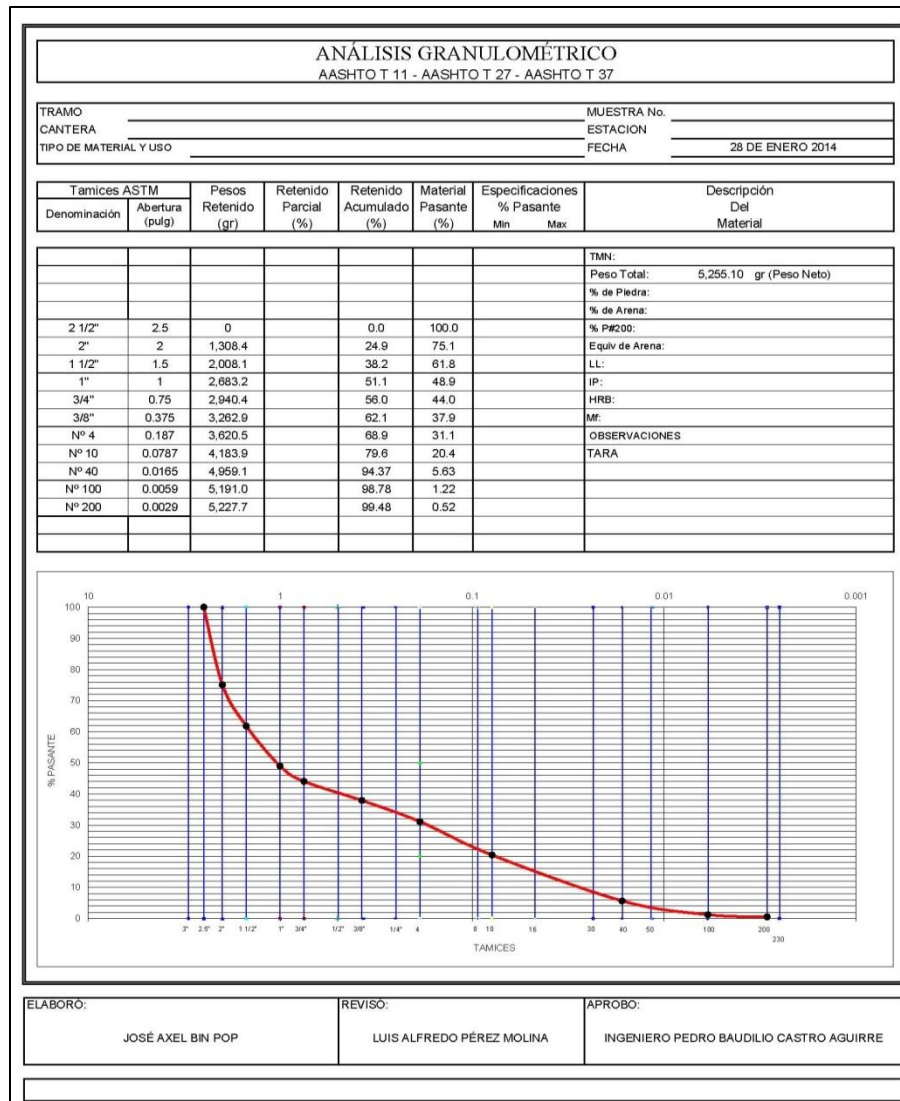


Fuente: elaboración propia.

6.1.2. Del análisis de laboratorio

Los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio se presentan en la tabla siguiente.

Figura 15. Análisis granulométrico



Fuente: elaboración propia. Análisis granulométrico, 2014, utilizando equipo de laboratorio de suelos, con certificación de equipo calibrado.

6.1.3. De las mediciones de los factores que pueden incidir en el funcionamiento de la alcantarilla

Se realizó la medida de los factores antes mencionados; los resultados se presentan a continuación:

Tabla XII. Factores que inciden en el funcionamiento de la alcantarilla

ELEMENTO	RANGO DE FACTOR
Árboles colocados en forma transversal	0.0558 – 0.6643
Árboles colocados en forma longitudinal	0.0019 – 0.2722
Rocas	0.1012 – 0.8746
Basura	0.1224 – 0.5581
Agregados	0.0000 – 0.0775

Fuente: elaboración propia.

6.2. Resultados obtenidos en gabinete

Estos cálculos se efectuaron con los datos obtenidos en el campo utilizando tablas confeccionadas; se realizó un análisis comparativo con dicha información y con tablas ya establecidas por investigaciones anteriores.

6.2.1. De la alcantarilla, sin la utilización de factores extra

Caudal

$$Q = 0.278 \text{ CIA};$$

$$Q = 0.278 (0.40) (93.736) (1.83433)$$

$$Q = 19.12 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Alcantarilla

$$\frac{Q \times n}{S^{1/2}} = A (R_H)^{2/3}$$

$$A (R_H) = \frac{19.12 \cdot 0.037}{0.025^{1/2}} = \frac{0.70744}{0.158113883} = 4.47$$

Si se calcula a sección llena el radio hidráulico = radio de la tubería

$$R_T^2 (R_T)^{2/3} = 4.47$$

Luego de desarrollar la ecuación algebraicamente queda:

$$R_T = \left(\frac{4.47}{\pi}\right)^{3/8} = 1.1413$$

$$R_T = 114.13 \text{ cm} / 2.54 \text{ pulg} / \text{cm} = 44.94 \text{ pulg.}, \text{ Entonces:}$$

$$D = 89.90''$$

6.2.2. De la alcantarilla, utilizando factores extras

El procedimiento se basa en la integración de una constante Z, que reúna los factores que inciden en el funcionamiento de la alcantarilla, la cual se multiplicará por el diámetro de la alcantarilla, sin tomar en cuenta cada uno de estos factores.

La constante en mención estará integrada, para la cuenca en particular de la estación 90+222 de la ruta interamericana occidente así:

- Árboles: 0.6643
- Rocas: 0.8746
- Basura: 0.5581
- Agregados y arenas: 0.0775
- Constante Z a considerar: 2.1745

Entonces el diámetro de la alcantarilla quedará:

$D = (89.90) * (2.1745) = 195.49''$; comercialmente hay bóvedas de 196'', por lo que se sugiere utilizar de este diámetro.

Puede observarse que la alcantarilla, ya con los factores aplicados, parecería un poco exagerada porque se tiene una de 90'' versus una de 190'', pero hay que recordar que se está calculando para una cuenca definida; además, estará diseñada para soportar los embates provocados por eventos o fenómenos especiales como los huracanes, tormentas tropicales, depresiones, etc.

Actualmente la alcantarilla tipo bóveda que se ha calculado en este trabajo fue colocada en la estación 90+222 de la Ruta Interamericana de Occidente, lugar donde se encuentra ubicada también la cueca objeto de estudio, y a la fecha no ha presentado ningún inconveniente aun cuando ha sido sometida a grandes caudales que han provocado el transporte del material de arrastre comprobándose así que el método utilizado es eficiente y podrá ser utilizado en otras cuencas que presenten el problema que se dio en este punto con el paso de la tormenta tropical Agatha.

Es de hacer notar también que las obras complementarias que se construyeron para la protección de la alcantarilla como de la estructura del pavimento se encuentran en perfectas condiciones, estas obras complementarias consisten en una loza de entrada a la tubería, el cabezal también de entrada, cabezal de salida y disipadores en la salida de la tubería para evitar erosiones por la fuerza del agua.

Con estas protecciones se garantiza que la estructura de pavimento y el pavimento y la carpeta de rodadura misma, que fue diseñada para 20 años durará más de lo esperado, esto porque dicha estructura no tendrá contacto con la humedad y llegará sin ningún problema más allá de su vida útil.

La constante de arrastre utilizada en el cálculo de la alcantarilla es la ideal y corresponde al número 2.1745, y ha sido comprobado que aunque pareciera un poco exagerada la carretera no ha tenido ningún problema y a la alcantarilla se le ha dado el mantenimiento correspondiente por tener un área suficiente para su limpieza total.

Por otro lado aun cuando no se ha dado ninguna clase de reforestación por parte de las autoridades correspondientes no se ha tenido ningún problema de azolvamiento, lo que significa que el método es el adecuado para la cuenca de la estación 90+222 de la Ruta Interamericana Occidente.

Por experiencia del investigador en el recorrido del trabajo de las carreteras, se ha visto bajar de las partes altas de la montaña rocas de gran tamaño, árboles completos y otro tipo de arrastre que si no son considerados, en cualquier momento provocan taponamiento a las alcantarillas, provocando el colapso de las carreteras y grandes pérdidas a la economía nacional, aparte de los daños a la infraestructura del país.

CONCLUSIONES

1. Con base en la investigación realizada en campo se ha constatado que el problema de la alcantarilla ubicada en la estación 90+222 de la carretera interamericana occidente, fue causado por el mal manejo que se ha dado en la conservación de la misma; esto debido a la falta de mantenimiento adecuado tanto a la alcantarilla como a la cuenca.
2. En la alcantarilla ubicada en la estación 90+222 de la Carretera Interamericana de Occidente, se comprobó que en la época en que fue calculada, a finales de los años 40's, cumplía con los requerimientos que en esa época la cuenca exigía, sin embargo las condiciones de uso de la tierra y el clima han cambiado considerablemente, por lo que es necesario evaluar factores adicionales que no eran tomados en cuenta en aquella época, entre los cuales están: arrastre de árboles, piedras de gran tamaño, basura y el desgaste del lecho de la cuenca, que en conjunto ocasionan la reducción del área hidráulica de la alcantarilla.
3. De acuerdo a los factores de arrastre obtenidos en la investigación realizada a la cuenca de la estación 90+222 de la Carretera Interamericana de Occidente, se utilizó la constante de arrastre total igual a 2.1745, que se multiplicó al diámetro obtenido sin tomar en cuenta los factores de arrastre, de donde se obtuvo el diámetro de 196 pulgadas colocado.

4. Se determinó que las alcantarillas intermedias en las carretera y que no son el paso de agua de una cuenca, están ubicadas correctamente, de acuerdo con las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes; estas alcantarillas son las ideales y deben seguir respetándose las distancias y los cálculos de los diámetros, como lo recomiendan las especificaciones establecidas.
5. Cada cálculo y diseño de alcantarillas debe tomar en cuenta los factores propios de cada cuenca, que inciden en el arrastre de sólidos; sin embargo se pueden tomar de base los establecidos en este estudio, los que se detallan a continuación:

Elemento	Rango de factor
• Árboles coloc. transversal:	0.0558 – 0.6643
• Árboles coloc. longitudinal:	0.0019 – 0.2722
• Rocas:	0.1012 – 0.8746
• Basura:	0.1224 – 0.5581
• Agregados:	0.0000 – 0.0775

6. Este estudio ha sido enfocado en la cuenca específica ubicada en la estación 90+222, de la Ruta Interamericana Occidente, pero puede servir de base para estudios posteriores, los que podrán enfocarse en la estandarización de factores que pueden tomarse en cuenta en las demás cuencas del país; de esa manera se podrá agregar una constante adicional en la fórmula del método racional que permita calcular un caudal ficticio, para una alcantarilla que sea capaz de soportar y transportar el material de arrastre.

RECOMENDACIONES

1. Debe implementarse un plan de manejo y uso adecuado de las cuencas del país, elaborando un manual que se distribuya en todas las municipalidades, para tener un mejor control de los materiales de arrastre, procurando reducirlos a lo mínimo, para que las alcantarillas no tengan diámetros muy elevados y encarezcan el proyecto.
2. En las cuencas con alta incidencia de material de arrastre debe utilizarse una constante integrada para el cálculo de la alcantarilla que logre desfogar el material que llega, para evitar taponamientos.
3. Conjuntamente con las entidades COVIAL, CONRED, INAB y las municipalidades, debe de elaborarse un plan de prevención, comenzando con el mantenimiento constante a las alcantarillas, debido a que las características ambientales del país últimamente han variado y en algunos casos se han presentado aguaceros en pleno verano, que provocan ciertas incomodidades y problemas en la infraestructura vial.
4. Es recomendable que se dé tramite a la ley del derecho de vía para trabajar los taludes de las carreteras, incluyendo también las cuencas y los ríos, y no permitir que se invadan estos márgenes debido a que cuando ocurren las crecidas y que cada vez son más fuertes, originadas por el cambio climático que está sufriendo la Tierra, puedan provocar desastres y pérdidas de vidas humanas.

5. Se sugiere al INAB, que sea reforestada toda la cuenca, a fin de delimitar bien el paso del agua; esto para prevenir derrumbes en los taludes colindantes a dicha cuenca, provocando el desprendimiento de grandes rocas, que a su vez botan árboles, originando graves consecuencias.

6. Es de vital importancia que para determinadas cuencas en donde se identifique un alto grado de material de arrastre, el cual fácilmente taponea la alcantarilla, se tomen en cuenta los factores analizados en este estudio, ya que estos influyen en el comportamiento de la alcantarilla.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, I. P. (2014). Análisis granulométrico. Tecpán, Estación 90+222, Chimaltenango, Guatemala.
- Aguirre, I. P. (27 de enero de 2014). Estación 90+222 Carretera Interamericana de Occidente. (I. P. Aguirre, recopilador). Guatemala, Tecpán, Guatemala.
- Alonso, F. (2005). *Diseño hidráulico de alcantarillas*. Recuperado el 26 de febrero de 2014, de Diseño hidráulico de alcantarillas:
<http://www.efn.uncor.edu/departamentos/hidraul/hidrologia/Auxiliar/Diseno%20de%20Alcantarillas.pdf>
- Caminos, D. G. (2001). Especificaciones Generales de la Construcción de Carreteras y Puentes. En D. G. Caminos, & S. Ingenieros Consultores de Centro América (Ed.), *Las Especificaciones Generales de la Construcción de Carreteras y Puentes* (pág. 724). Guatemala, Guatemala: Dirección General de Caminos .
- Carciente, J. (1985). *Carreteras: estudio y proyecto*. (Segunda ed.). (U. C. Venezuela, Ed.). Caracas, Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela .

- Carmelo García, L. G. (s.f.). *Criterios hidromorfológicos para la mejora de la eficiencia de obras de drenaje pequeñas en ptaos de carreteras sobre ramblas*.
- Cartagena, U. P. (2011). *Análisis hidrológico e hidráulico y de transporte de sedimentos en cauces efímeros*. Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Castellanos, E. (1991, 1996 y 2001). *Dinámica de la cobertura forestal en Guatemala*. Guatemala, Guatemala , Guatemala : Universidad del Valle de Guatemala.
- Ceballos, G. A. (2004). *Estudio comparativo entre la utilización de alcantarilla de metal corrugado y alcantarilla de material plástico en drenajes menores de carreteras de Guatemala*. (U. d. Carlos, Ed.). Guatemala, Guatemala.
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología aplicada* (Segunda ed.). Colombia: McGraw-Hill.
- Construcción y tecnología en concreto* . (septiembre de 2012). Obtenido de Alcantarillas: <http://www.imcyc.com/revistacyt/abril2012>.
- HEN, Lester; BOSSY, Herberth; RÛHLE, Federico. (1974). *Gráficos hidráulicos para el diseño de alcantarillas*. (Departmente of Transportation, Ed.) Estados Unidos, Estados Unidos, Estados Unidos: Bureau of Public Roads.

Hydrates. (s/f). *Clasificación de suelos sistema AASHTO*. Chile: Universidad Católica de Valparaíso.

INSIVUMEH. (2010). *Estación pluviográfica Santa Cruz Balanya*. Informe Estación pluviográfica Santa Cruz Balanya, INSIVUMEH, Chimaltenango, Guatemala. Obtenido de Estación pluviográfica Santa Cruz Balanya.

INSIVUMEH. (s.f.). *Atlas hidrológico, mapa de base de cuencas y ríos*. Guatemala: INSIVUMEH.

INSIVUMEH. (s.f.). *Mapa de cuencas y vertientes de la República de Guatemala*. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos. Guatemala: INSIVUMEH.

López, F. (2009). Reconocimiento económico al servicio ambiental hídrico como una alternativa para la conservación y restauración de la biodiversidad natural, mediante la protección de bosques naturales, productores de agua para la ciudad de Guatemala. En F. López, & F. FAO (Ed.), *Reconocimiento económico al servicio ambiental hídrico como una alternativa para la conservación y restauración de la biodiversidad natural, mediante la protección de bosques naturales, productores de agua para la ciudad de Guatemala* (pág. 11). Guatemala, Guatemala, Guatemala: PPAFD/PARFA.

Mijares, F. J. (1997). *Fundamentos de hidrología de superficie* (tercera ed.). México, Limusa, México.

Ministerio de Transporte e Infraestructura, D. G. (2005). *Manual para la revisión de estudios hidrotécnicos de drenaje mayor*. Managua, Nicaragua: Corea y Asociados .

Muñoz, A. H. (2007). *Saneamiento y alcantarillado: vertidos residuales*. (Séptima Edición ed.). Madrid, Madrid, España: Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos.

Nacional, I. G. (2002). *Mapa Geológico República de Guatemala, Proyecto de Asistencia Técnica y Generación de Información CATIE, con Base en Mapa Geológico de la República de Guatemala, Esc. 1: 500,000*. Guatemala: IGN.

Nacional, I. G. (1970). *Programa de emergencia por desastres naturales (PEDN)*. Guatemala: IGN.

OptimaSoil. (2014). *Estabilización de suelos*. Recuperado el 14 de marzo de 2014, de Estabilización de suelos: <<http://www.estabilizaciondesuelos.com/>>

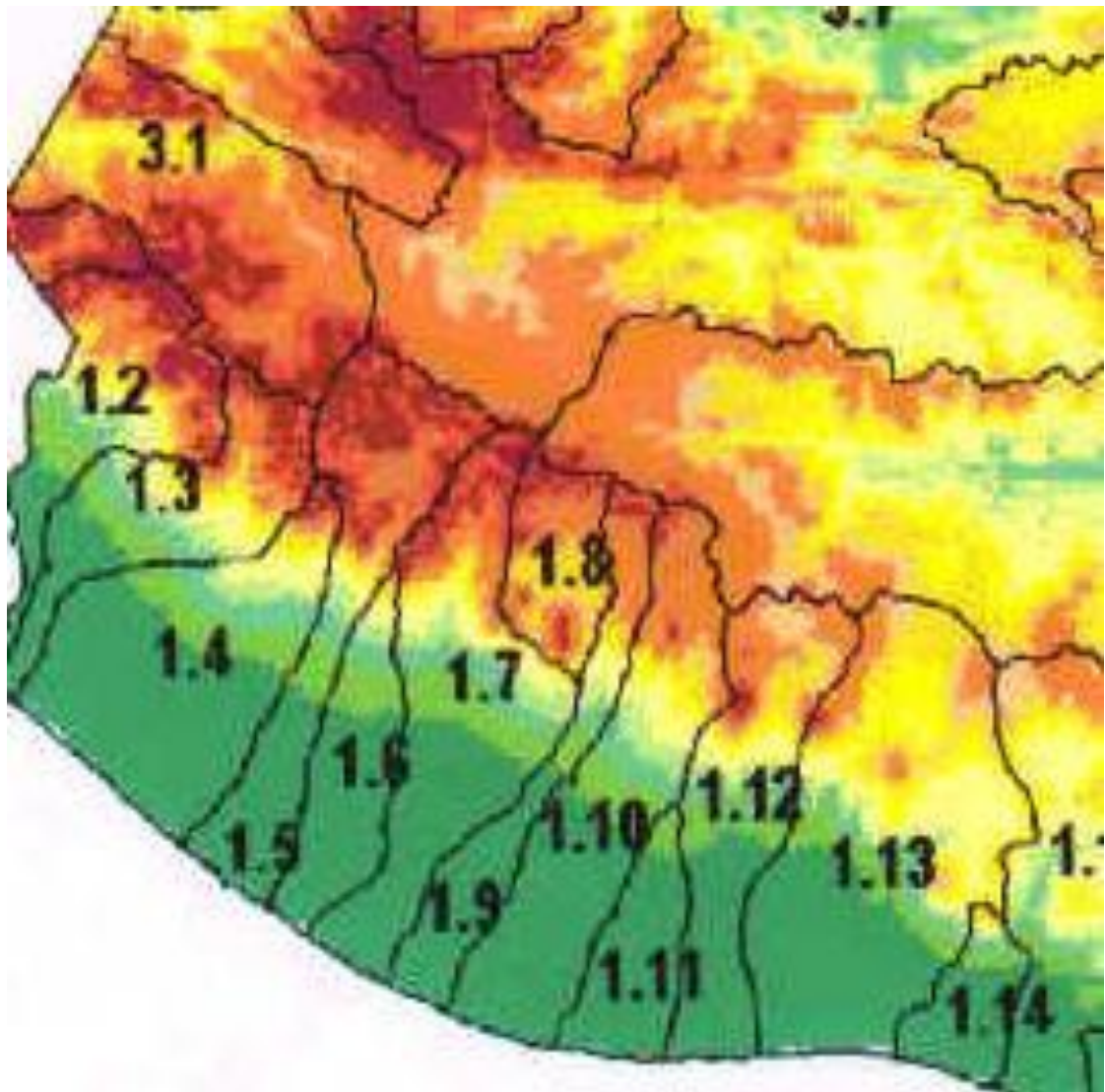
Sánchez, I. R. (15 de Marzo de 2013). Utilización de alcantarillas. (I. P. Aguirre, Entrevistador, & I. P. Aguirre, Editor) Guatemala, Antigua Guatemala, Guatemala.

Vial, U. E. (2013). Especificaciones Especiales de Minimos Requeridos . En COVIAL, & COVIAL (Ed.), *Especificaciones Especiales* (2013 ed., pág. 208). Guatemala, Guatemala, Guatemala: Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda.

Villón, M. B. (2005). *Diseño de estructuras hidráulicas* (Segunda ed.). Costa Rica , Costa Rica, Costa Rica: Editorial Villón.

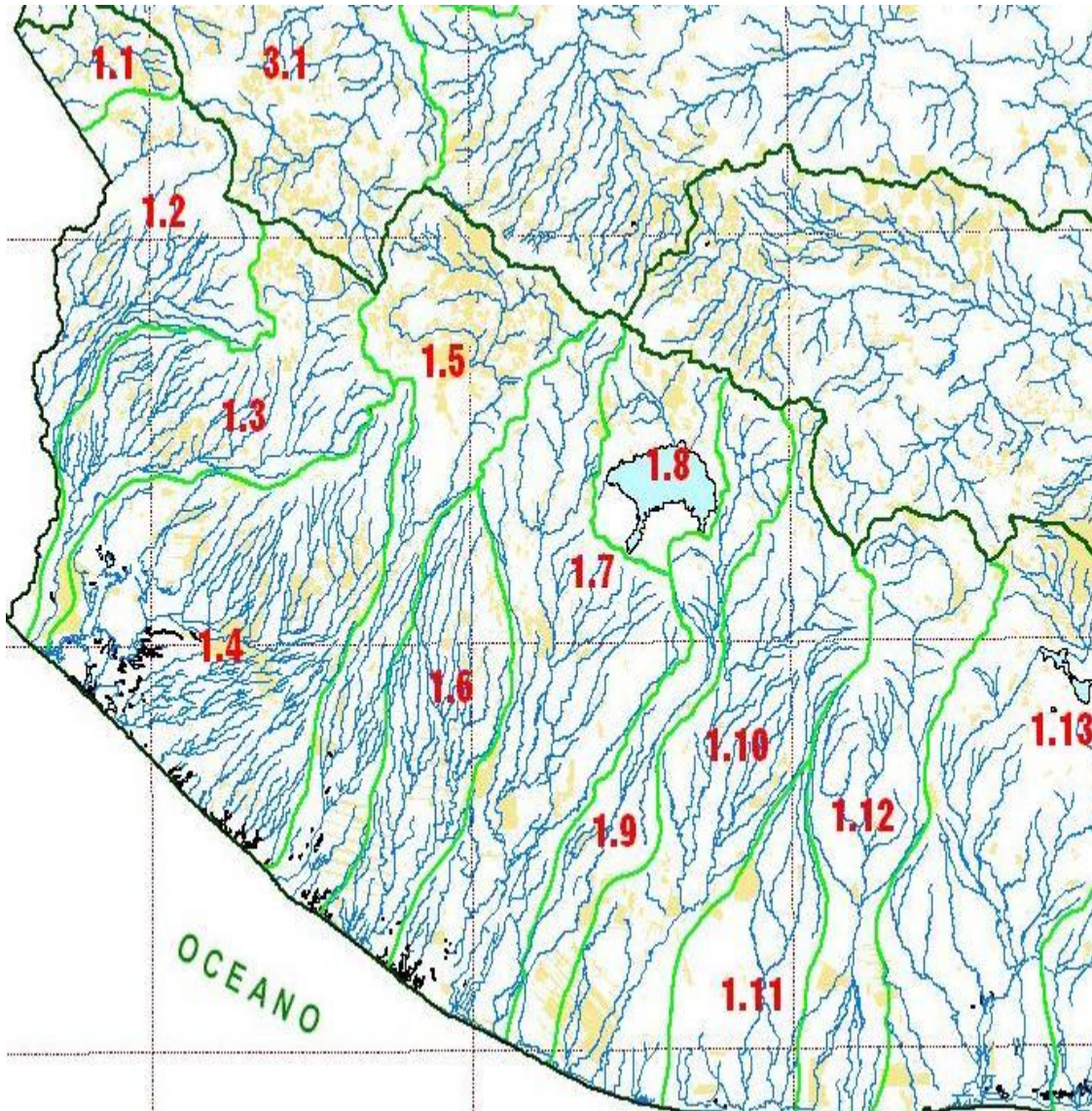
ANEXOS

Anexo 1. Clasificación climática



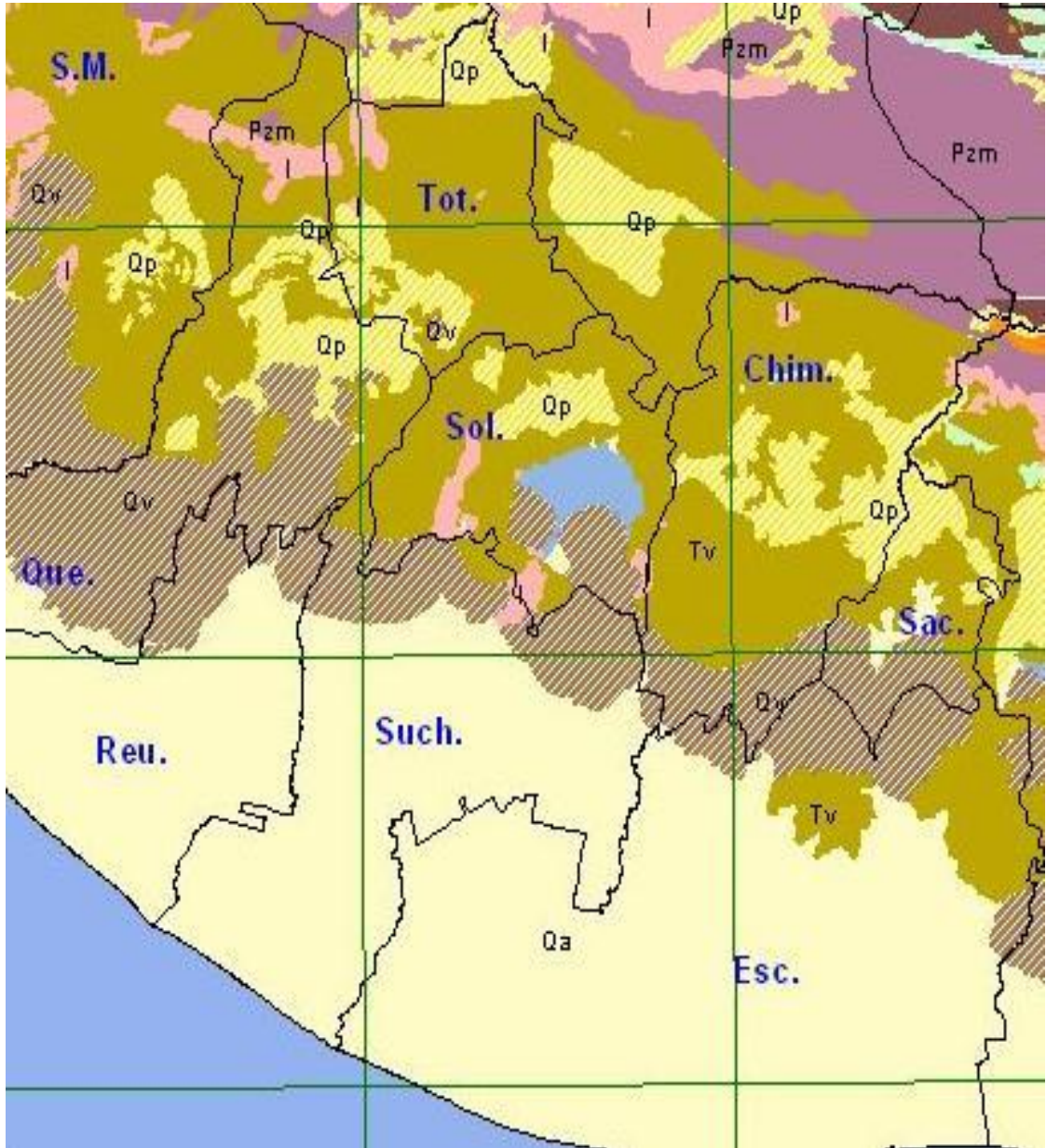
Fuente: (INSIVUMEH, Mapa de Cuencas y Vertientes de la República de Guatemala).

Anexo 2. Cálculo de índices físicos



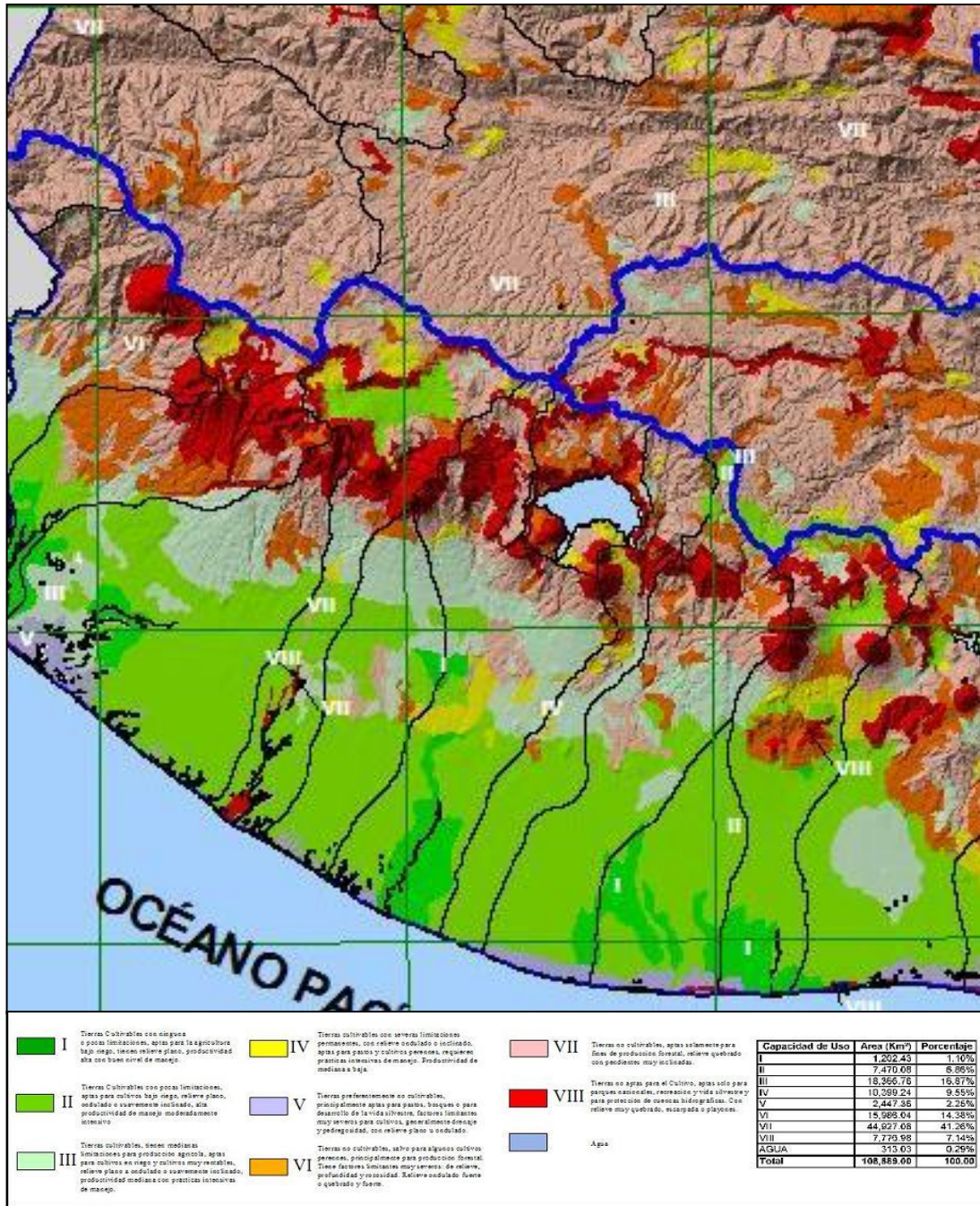
Fuente: (INSIVUMEH, Atlas hidrológico mapa de base de cuencas y ríos).

Anexo 3. **Geología de la zona**



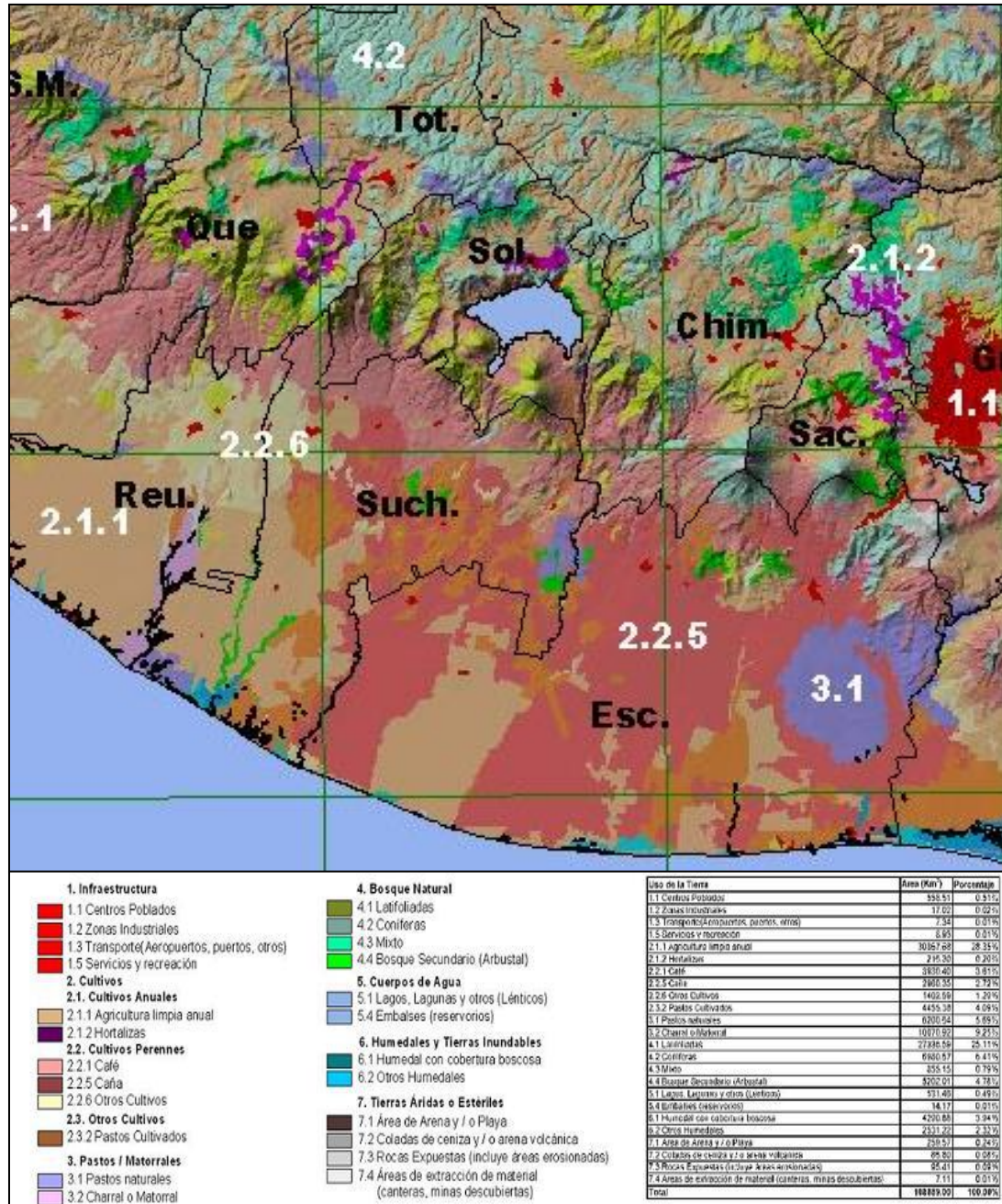
Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 1970.

Anexo 4. Mapa de capacidad de uso de la Tierra



Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2002.

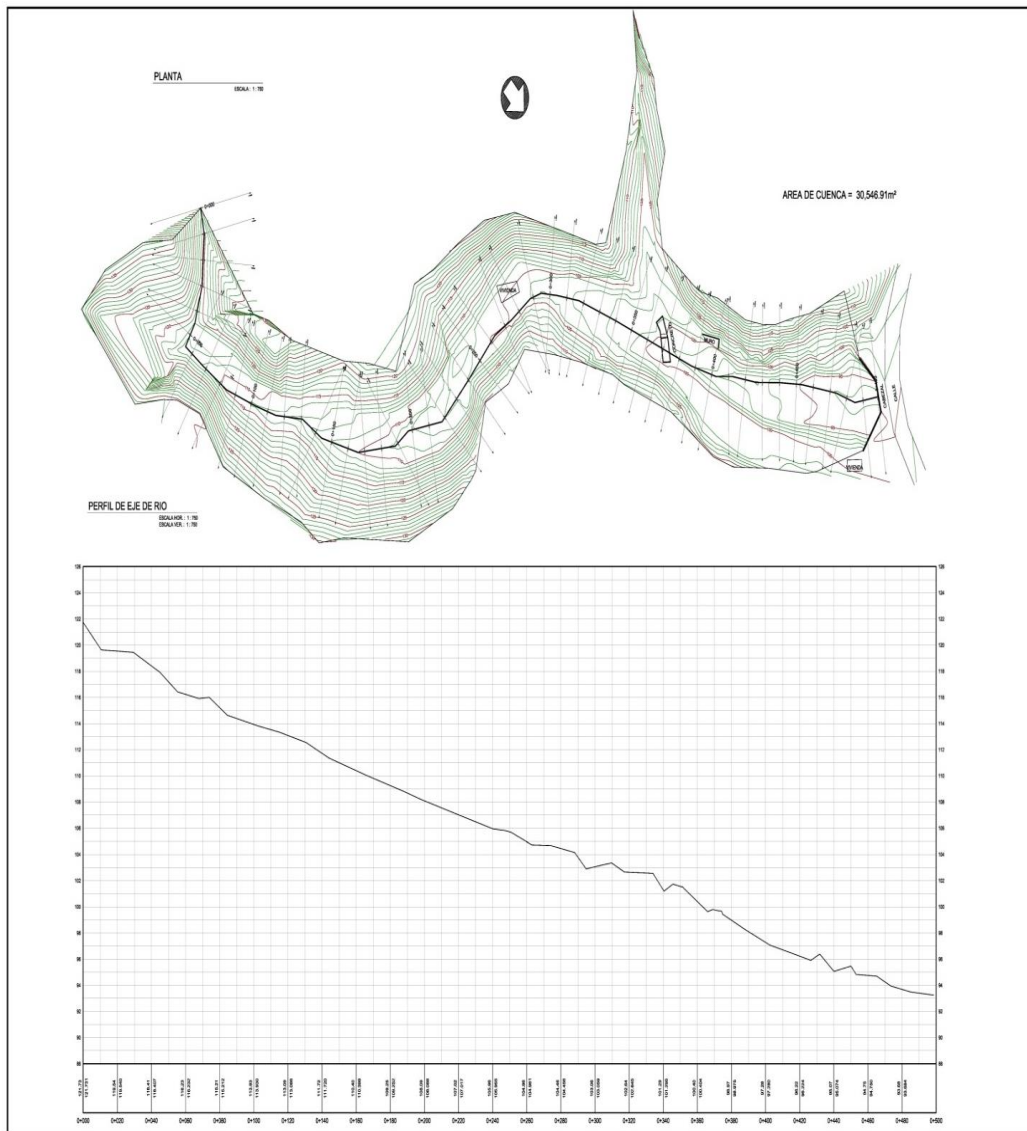
Anexo 5. Mapa de cobertura vegetal



Fuente: Instituto Geográfico Nacional, Guatemala.

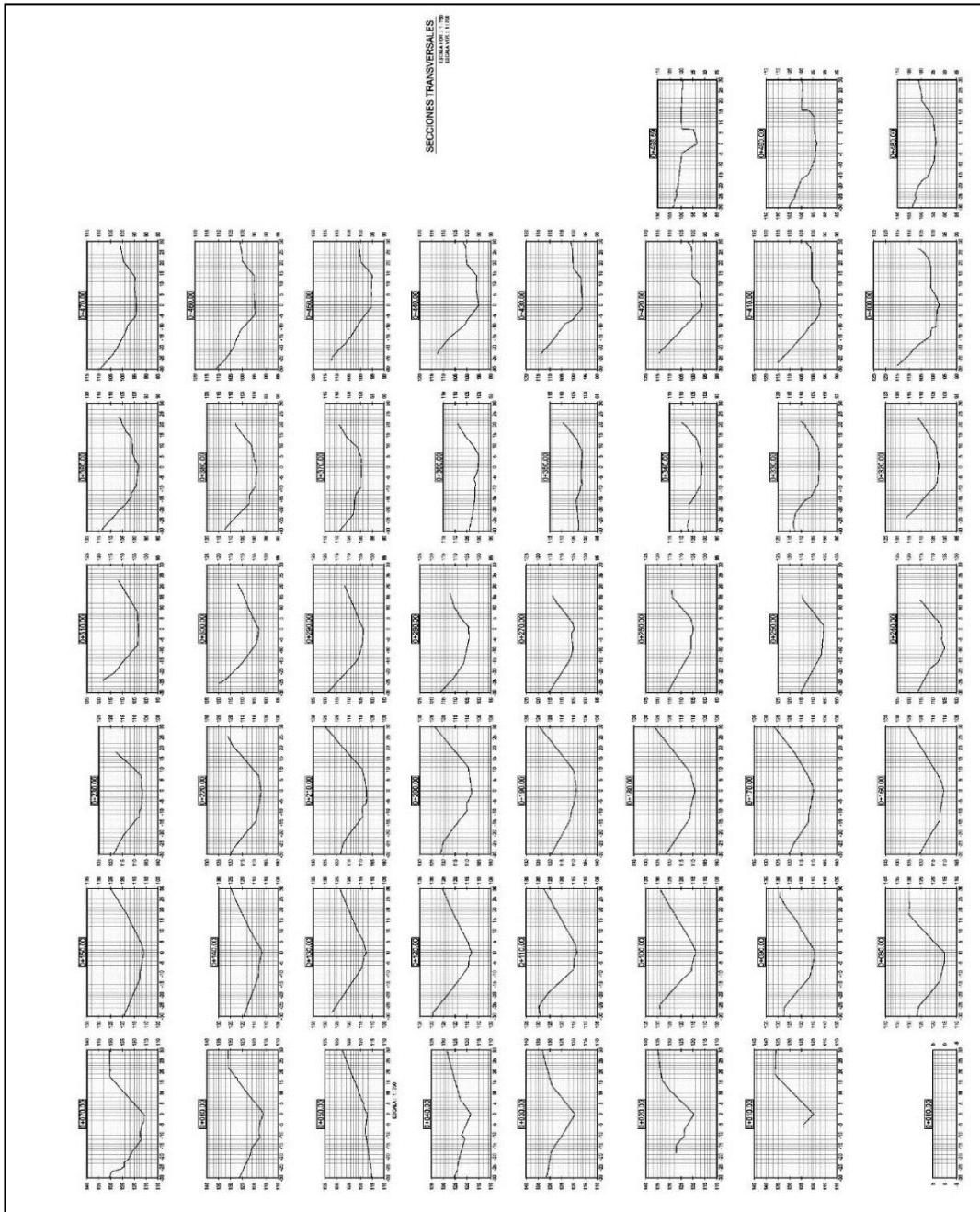
APÉNDICES

Apéndice 1. Plano de la planta perfil del final de la cuenca



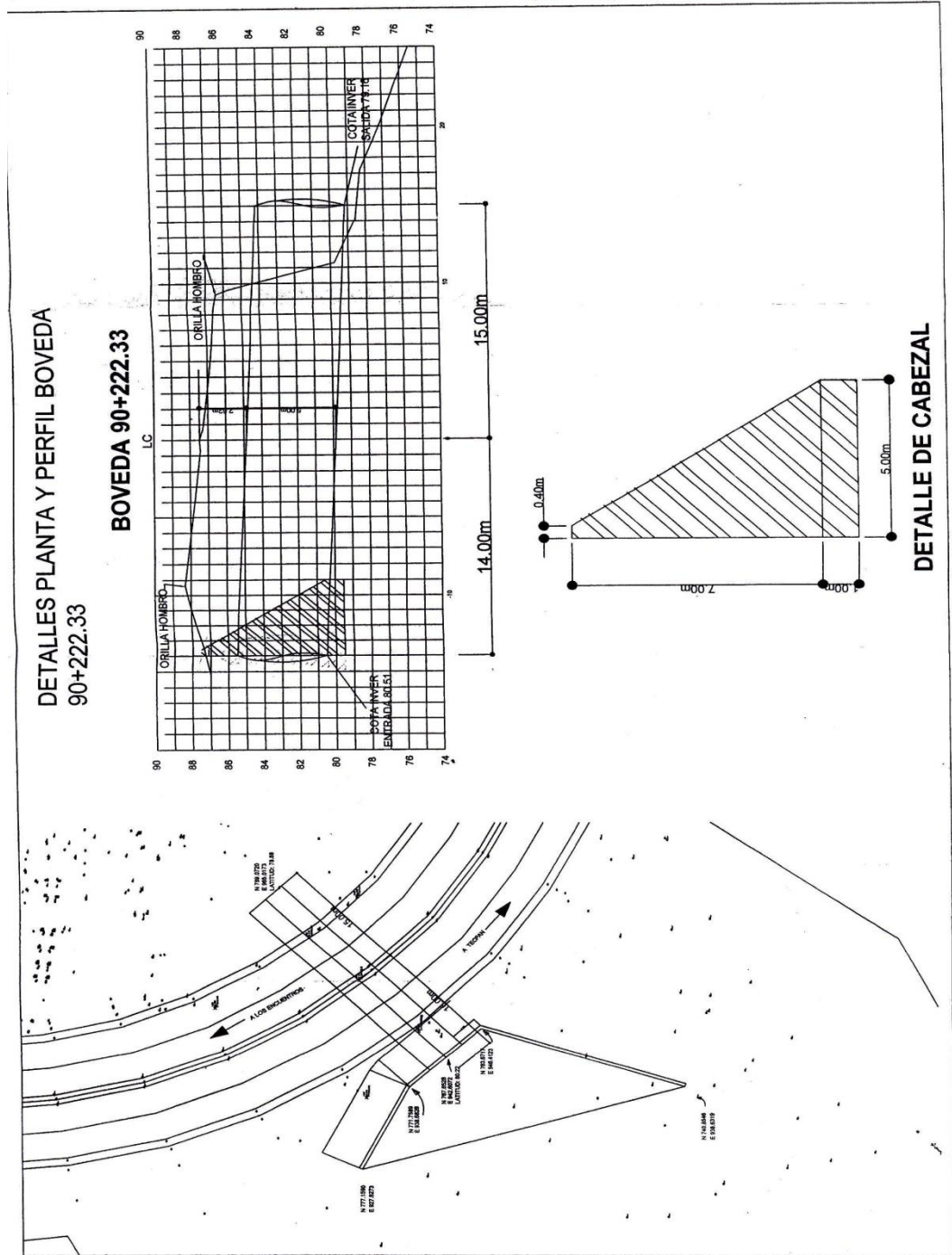
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Secciones transversales del final de la cuenca



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Detalle de planta y perfil bóveda



Fuente: elaboración propia.