



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

**DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA CONTROL Y REGULACIÓN DEL CAUDAL  
COMBINADO EN LA DESCARGA DEL ALIVIADERO UBICADO EN LA COLONIA  
COVIAS, ZONA 5, GUATEMALA**

**Carlos Alfredo Monterroso Valdés**

Asesorado por el Ing. Julio Guillermo García Peña

Guatemala, febrero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA CONTROL Y REGULACIÓN DEL CAUDAL  
COMBINADO EN LA DESCARGA DEL ALIVIADERO UBICADO EN LA COLONIA  
COVIAS, ZONA 5, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CARLOS ALFREDO MONTERROSO VALDÉS**  
ASESORADO POR EL ING. JULIO GUILLERMO GARCÍA PEÑA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA CONTROL Y REGULACIÓN DEL CAUDAL COMBINADO EN LA DESCARGA DEL ALIVIADERO UBICADO EN LA COLONIA COVIAS, ZONA 5, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha noviembre de 2015.

  
**Carlos Alfredo Monterroso Valdés**

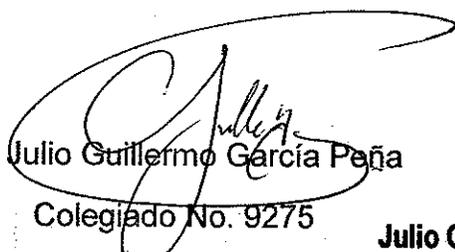
Guatemala, 9 de noviembre de 2016

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro:

El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que el estudiante Carlos Alfredo Monterroso Valdés, carné 200717845 desarrolló el trabajo de graduación titulado "DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA CONTROL Y REGULACIÓN DEL CAUDAL COMBINADO EN LA DESCARGA DEL ALIVIADERO UBICADO EN LA COLONIA COVIAS, ZONA 5, GUATEMALA", personalmente le he orientado en el desarrollo del trabajo final de graduación y por esta razón extiendo la presente, para manifestarle que estoy de acuerdo con el referido trabajo, aprobando el mismo.

*Sin otro particular me despido de usted, atentamente.*

  
Ing. Julio Guillermo García Peña

Colegiado No. 9275

**Julio Guillermo García Peña**  
**Ingeniero Civil**  
**Colegiado No. 9,275**



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala,  
 15 de febrero de 2016

Ingeniero  
 Hugo Leonel Montenegro Franco  
 Director Escuela Ingeniería Civil  
 Facultad de Ingeniería  
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA CONTROL Y REGULACIÓN DEL CAUDAL COMBINADO EN LA DESCARGA DEL ALIVIADERO UBICADO EN LA COLONIA COVIAS, ZONA 5, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Alfredo Monterroso Valdés, quien contó con la asesoría del Ing. Julio Guillermo García Peña.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Claudio César Castañón Contreras  
 Jefe del Departamento de Hidráulica

ESCUOLA DE INGENIERIA CIVIL  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DEPARTAMENTO  
 DE  
 HIDRAULICA  
 USAC

/bbdeb.



*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*



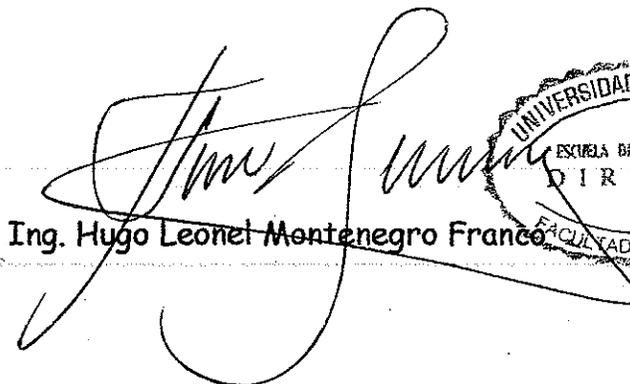
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

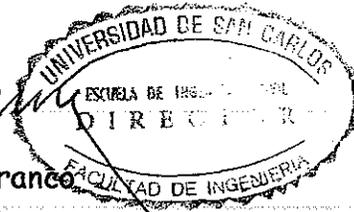
<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



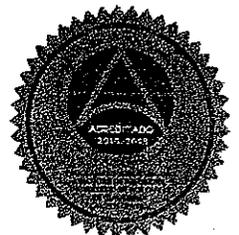
El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Julio Guillermo García Peña y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Alfredo Monterroso Valdés, titulado **DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA CONTROL Y REGULACIÓN DEL CAUDAL COMBINADO EN LA DESCARGA DEL ALIVIADERO UBICADO EN LA COLONIA COVIAS, ZONA 5, GUATEMALA.** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, Febrero 2017

/mrrm.



*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

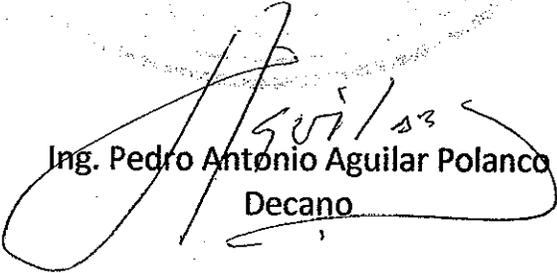


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 101.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA CONTROL Y REGULACIÓN DEL CAUDAL COMBINADO EN LA DESCARGA DEL ALIVIADERO UBICADO EN LA COLONIA COVIAS, ZONA 5, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Alfredo Monterroso Valdés**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, febrero de 2017

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Porque ya tenía establecido el camino que recorrería; las metas y logros que alcanzaría bajo su sabiduría y gracia infinita.
- Mis padres** Luis Alfredo Monterroso de la Mora y Nirda Adalgiza Valdés Guzmán de Monterroso, porque me guiaron y enseñaron el camino correcto a seguir.
- Mi hijo** Fabio Monterroso McNish, por ser mi fuente de inspiración, superación y el motivo por el cual avanzo cada día.
- Mi hermano** Luis Jovito Monterroso Valdés, a quien admiro y quien me reta con sus logros a seguir sus pasos.
- Mis abuelos** Zoila Olimpia Guzmán Sagastume, Carlos Enrique Monterroso Castellanos, Jovito Valdés Reyes (q. e. p. d), Hilda Marina de la Mora Salazar (q. e. p. d).
- Mi novia** Lourdes Beatriz Pérez Choná, por su amor y apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por ser el creador y darle la vida, por sus bendiciones recibidas en mi vida.
<b>Mis padres</b>	Por apoyarme incondicionalmente en todo momento, brindándome cariño y comprensión en todas las etapas de mi vida.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de ser un profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme la enseñanza necesaria para ser un profesional de la ingeniería.
<b>Ing. Guillermo García</b>	Por su asesoría y apoyo en la elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Mis amigos</b>	David Ochoa, Daniel Maldonado, Jacobo García, Ernesto Guillén, José Guarcas, Axel Trujillo, Omar Mazariegos, Luis Nájera, Fredy Sánchez, Javier Del Cid, saben de mi gratitud amistad, aprecio y admiración.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO .....	1
1.1. Saneamiento y salud .....	1
1.2. Aguas residuales .....	2
1.2.1. Características físicas, químicas y biológicas.....	3
1.3. Aguas pluviales .....	5
1.3.1. Precipitación .....	5
1.3.1.1. Clasificación de las precipitaciones .....	5
1.4. Tipos de alcantarillados .....	6
1.4.1. Alcantarillado sanitario.....	7
1.4.2. Alcantarillado pluvial .....	7
1.4.3. Sistema de alcantarillado combinado .....	7
1.4.4. Sistema de alcantarillado separativo .....	8
2. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO COMBINADO .....	9
2.1. Consideraciones generales .....	9
2.2. Ventajas y desventajas.....	10
2.3. Componentes .....	12

2.4.	Secciones de alcantarillados y sus materiales .....	12
2.4.1.	Tubos de concreto reforzado para alcantarillados...	13
2.5.	Estructuras complementarias de los alcantarillados combinados.....	14
2.5.1.	Pozos de inspección o visita .....	15
2.5.2.	Cámaras de caída .....	17
2.5.3.	Sumideros o tragantes .....	20
2.5.4.	Aliviaderos.....	21
2.5.5.	Canales abiertos .....	24
2.5.6.	Canales de aguas lluvia .....	24
2.5.6.1.	Sección hidráulica del canal.....	25
2.5.6.2.	Diseño hidráulico del canal.....	27
3.	ESTRUCTURAS DE CONTROL Y DISIPACIÓN DE ENERGÍA.....	29
3.1.	Aliviaderos.....	29
3.2.	Partes que constituyen un vertedero de demasías o aliviadero.....	30
3.2.1.	Acceso.....	31
3.2.2.	Estructura de control .....	31
3.2.3.	Salida .....	32
3.2.4.	Descarga.....	32
3.3.	Clases de aliviaderos .....	32
3.3.1.	Aliviadero de salto .....	32
3.3.2.	Aliviadero lateral.....	33
3.3.3.	Aliviaderos de orificio sumergido.....	34
3.4.	Resalto hidráulico.....	34
3.5.	Disipadores de energía .....	38
3.5.1.	Tipos de disipadores de energía .....	38

	3.5.1.1.	Disipador con umbral continuo y discontinuo (dentado) .....	38
	3.5.1.2.	Disipador escalonado .....	40
	3.5.1.3.	Disipador USBR II.....	40
	3.5.1.4.	Disipador USBR III.....	41
	3.5.1.5.	Disipador SAF.....	42
	3.5.1.6.	Disipador de caída vertical .....	43
	3.5.1.7.	Disipador de caída rectangular inclinada .....	45
4.		PROBLEMÁTICA EXISTENTE .....	47
	4.1.	Contaminación.....	49
	4.2.	Erosión .....	51
	4.2.1.	Conceptos básicos .....	51
	4.3.	Erosión provocada por el agua.....	52
	4.3.1.	Tipos de erosión .....	52
	4.3.2.	Prácticas para el control de la erosión.....	53
	4.3.3.	Métodos estructurales de control.....	56
	4.4.	Erosión en ríos y corrientes de agua .....	58
	4.5.	Socavación .....	59
	4.5.1.	Tipos de socavación .....	59
	4.6.	Estabilización de taludes .....	59
	4.6.1.	Métodos para disminuir o eliminar el riesgo.....	60
	4.6.2.	Prevención.....	60
5.		DISEÑO DE LA DESCARGA PARA EL CONTROL HIDRÁULICO DEL CAUDAL PLUVIAL .....	63
	5.1.	Ubicación y localización del proyecto .....	64
	5.1.1.	Topografía .....	64

5.1.2.	Áreas de influencia.....	65
5.1.3.	Puntos de desfogue .....	65
5.2.	Parámetros de las estructuras hidráulicas .....	66
5.2.1.	Unidades hidráulicas para regulación, control y medición.....	67
5.3.	Diseño de unidades.....	70
5.3.1.	Cálculos previos .....	70
5.3.1.1.	Determinación del caudal pluvial.....	71
5.3.1.2.	Intensidad de lluvia.....	71
5.3.1.3.	Tiempo de concentración .....	71
5.3.1.4.	Coeficiente de escorrentía.....	72
5.3.2.	Parámetros de diseño .....	73
5.4.	Diseño de las estructuras.....	76
5.4.1.	Disipador de energía .....	76
5.4.2.	Diseño del Sistema Hidráulico.....	78
5.4.3.	Operación y mantenimiento de las unidades.....	83
6.	PRESUPUESTO.....	85
6.1.	Cuantificación de los materiales.....	85
6.2.	Cuantificación de mano de obra.....	86
6.3.	Resumen.....	87
	CONCLUSIONES.....	89
	RECOMENDACIONES .....	91
	BIBLIOGRAFÍA.....	93
	APÉNDICES.....	95
	ANEXOS.....	97

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Sistemas de Alcantarillados .....	8
2.	Sistema combinado con regulador de caudal .....	9
3.	Secciones típicas de alcantarillados.....	13
4.	Sección transversal de los tubos de concreto armado.....	14
5.	Pozo de inspección .....	17
6.	Cámara de caída.....	18
7.	Cámara de caída escalonada .....	19
8.	Clasificación de tragantes .....	21
9.	Aliviadero lateral.....	22
10.	Canal de aguas lluvias .....	25
11.	Secciones hidráulicas más eficientes.....	26
12.	Esquema de caudal derivado, de alivio y dilución.....	29
13.	Esquema típico de un aliviadero de EMPAGUA .....	31
14.	Aliviadero de salto.....	33
15.	Aliviadero lateral.....	33
16.	Aliviadero de orificio sumergido .....	34
17.	Resalto hidráulico.....	35
18.	Lugares apropiados para formarse el resalto hidráulico.....	35
19.	Elementos del resalto hidráulico .....	36
20.	Disipador con umbral continuo.....	39
21.	Disipador con umbral discontinuo .....	39
22.	Fotografía canal de rápidas escalonadas vista A y B.....	40
23.	Disipador USBR II .....	41

24.	Disipador USBR III.....	42
25.	Vista perfil, disipador SAF.....	42
26.	Vista en planta, disipador SAF.....	43
27.	Vista en planta, disipador de caída vertical.....	44
28.	Vista en elevación, disipador de caída vertical .....	44
29.	Disipador de energía de caída rectangular inclinada.....	45
30.	Ubicación del regulador de caudal.....	47
31.	Fotografía Regulador de caudal, colonia Covias .....	48
32.	Talud afectado por erosión .....	49
33.	Contaminación descarga regulador de caudal, Covias.....	50
34.	Proceso de erosión .....	51
35.	Tipos de erosiones pluviales.....	53
36.	Efectos de la vegetación sobre la estabilidad de una ladera .....	54
37.	Hidrosiembra aplicada a taludes de banquetas con protección contra la erosión .....	55
38.	Geosintéticos, redes o mantas orgánicas .....	56
39.	Revestimiento de hormigón .....	57
40.	Gaviones.....	58
41.	Técnicas de remediación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos .....	60
42.	Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión de los taludes y laderas .....	61
43.	Regulador de caudal 27 calle final, zona 5 .....	63
44.	Descarga Regulador de Caudal, Covias.....	64
45.	Áreas de influencia .....	65
46.	Sistema actual y sistema hidráulico propuesto .....	66
47.	Disipador de energía de caída vertical.....	68
48.	Detalle de rejilla .....	68
49.	Canal de rejas, desarenador y canaleta Parshall .....	69

50.	Estación INSIVUMEH.....	70
51.	Esquema, dissipador de energía de caída vertical .....	78
52.	Rango de Caudales para Canaletas Parshall .....	78

## TABLAS

I.	Casos de diarreas e infecciones respiratorias agudas.....	1
II.	Comparación entre un sistema separado y un sistema combinado .....	10
III.	Diámetro pozos de inspección según diámetro de tubería de salida ...	16
IV.	Diámetro del tubo bajante de la cámara de caída en función del diámetro de la tubería de entrada .....	19
V.	Métodos de prevención de la amenaza o el riesgo .....	62
VI.	Estructuras de control de masas en movimiento.....	62
VII.	Coeficientes de impermeabilidad .....	72
VIII.	Diseño para Desarenadores Horizontales.....	82
IX.	Diseño de rejillas.....	82
X.	Presupuesto de materiales.....	85
XI.	Presupuesto de herramienta .....	85
XII.	Presupuesto de equipo .....	85
XIII.	Presupuesto de maquinaria .....	86
XIV.	Presupuesto de flete .....	86
XV.	Presupuesto de mano de obra .....	86
XVI.	Resumen de presupuesto .....	87



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>g</b>	Aceleración de la gravedad
<b>H</b>	Altura de carga alcanzada por el agua
<b>B</b>	Ancho del canal de acceso al vertedero
<b><math>\theta</math></b>	Ángulo teta
<b>Q</b>	Caudal
<b>K</b>	Coeficiente
<b>Cd</b>	Coeficiente de descarga
<b>b</b>	Borde horizontal del vertedero
<b>dA</b>	Diferencial de área
<b>dQ</b>	Diferencial de caudal
<b>d</b>	Distancia aguas arriba del vertedero para efectuar lecturas de carga
<b>e</b>	Espesor
<b>l</b>	Litro
<b><math>\mu</math></b>	Mu
<b><math>\pi</math></b>	Pi
<b>s</b>	Segundo
<b>t</b>	Tiempo
<b>a</b>	Valor seleccionado de acuerdo a las dimensiones del canal y curvatura del vertedero
<b>v</b>	Velocidad
<b>V</b>	Volumen



## GLOSARIO

<b>Aguas crudas</b>	Aguas superficiales o subterráneas en estado natural; es decir que no han sido sometidas a procesos de tratamiento. En alcantarillado, aguas residuales que no han sido tratadas.
<b>Alcantarillado</b>	Conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales o de las aguas lluvias.
<b>Coefficiente de escorrentía</b>	Relación que existe entre la escorrentía y la cantidad de agua lluvia que cae en una determinada área. El coeficiente de escorrentía se denomina también “impermeabilidad relativa”.
<b>Contaminación del agua</b>	Es la alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radioactivas y biológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que produce o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumir.
<b>Cuerpo receptor</b>	Cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del afluente final.
<b>Escorrentía</b>	Volumen que llega a la corriente poco después de comenzada la lluvia.

<b>Periodo de diseño</b>	Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de este, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demandada proyectada para este tiempo.
<b>Periodo de retorno</b>	Número de años que en promedio la magnitud de un evento extremo es igualada o excedida.
<b>Precipitación</b>	Cantidad de agua lluvia caída en una superficie, durante un tiempo determinado.
<b>PTAR</b>	Planta de tratamiento de aguas residuales es el conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.
<b>Umbral</b>	Se define como un bloque (continuo o intermitente) masivo y peraltado, al final de una estructura de disipación que regula el caudal de salida.
<b>Vertedero</b>	Dispositivo hidráulico de rebose de un fluido.

## RESUMEN

El continuo crecimiento de la Ciudad de Guatemala, conlleva un crecimiento constante de la red de alcantarillado. Cuando inicia la temporada lluviosa en Guatemala, normalmente las aguas residuales y pluviales son captadas por medio de los sistemas de alcantarillado combinado, los cuales conducen estas aguas hacia una planta de tratamiento; durante su trayecto el sistema desfoga el exceso de “agua pluvial” por medio de estructuras conocidas como “reguladores de caudal” o “aliviaderos” en los diferentes cuerpos receptores. En Guatemala la calzada Roosevelt representa la línea divisoria de la cuenca de la ciudad, siendo estas la zona atlántica (norte) la cual descarga sus aguas a la cuenca del río las vacas y la zona Pacífica (sur) a la cuenca del río Michatoya.

En los sitios en donde se ubican las descargas de los reguladores de caudal se tiene como finalidad diseñar estructuras que permitan eliminar ciertos parámetros de contaminación, aprovechando la topografía del lugar, principalmente a la escorrentía superficial.

Este trabajo tiene como fin presentar al estudiante, docente y constructor de ingeniería civil, criterios de diseño para realizar obras de ingeniería hidráulica y sanitaria, utilizando parámetros adecuados para el mejoramiento de las descargas de los sistemas de alcantarillado combinado.

Puntualmente, la propuesta consiste en utilizar la descarga del regulador de caudal, que se ubica en la colonia Covias, zona 5; y en dicho punto proponer las estructuras hidráulicas que beneficiarán el afluente que ingrese al río Negro, así como a los vecinos del sector antes mencionado.



# OBJETIVOS

## General

Determinar los criterios para el diseño hidráulico de las estructuras para el control, regulación y conducción de la descarga de un sistema de alcantarillado combinado, tomando como ejemplo el sistema combinado de la colonia Covias, zona 5

## Específicos

1. Describir los efectos que generan las descargas no controladas de los sistemas de alcantarillado en el suelo y su área circundante.
2. Identificar los principales criterios de diseño hidráulico de las estructuras, para proveer las condiciones de control, conducción y protección en la descarga de un regulador de caudal.
3. Diseñar la adecuada conducción del caudal en la descarga del aliviadero en la colonia Covias.
4. Proponer medidas preventivas en las laderas del cauce del río para protección de las estructuras hidráulicas.



## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Guatemala existen redes de alcantarillado, las cuales sirven para conducir agua pluvial que es la originada de la lluvia y agua residual, la cual se origina después de haber sido utilizada en domicilios, industrias, edificios, entre otros; cuando se conduce agua pluvial y agua residual conjuntamente se dice que el sistema de alcantarillado es de tipo combinado.

Cuando inicia la temporada de precipitaciones, los sistemas anteriormente mencionados sufren un rebose de aguas pluviales por lo cual se debe de tener un sistema de desfogue el cual alivia el sistema, cuando esto sucede, el exceso de agua pluvial se conduce por medio de una estructura hidráulica conocida como “regulador de caudal”, hacia un lugar diferente para descargar.

En la colonia Covias ubicada en la zona 5 de la ciudad de Guatemala, existe la descarga de un regulador de caudal y este vierte sus aguas al cuerpo receptor de dicho sector, lo cual ha provocado contaminación y erosión del suelo debida que la descarga no cuenta con estructuras adecuadas para su desfogue.

Para evitar que los problemas anteriormente mencionados puedan causar un daño mayor, se hará un diseño de estructuras que controlen la energía de la descarga del sistema de alcantarillado combinado, evitando la erosión del suelo y minimizando la contaminación al momento de su llegada al cuerpo receptor.



# 1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

## 1.1. Saneamiento y salud

Dentro de la problemática del “saneamiento básico” de comunidades, tiene enorme importancia el suministro de agua potable y la recolección de las aguas residuales.

El Ministerio de Salud de Guatemala con base en el documento, *Diagnóstico Salud Marzo (2011)* presenta que las condiciones de los servicios de agua para consumo humano y de saneamiento básico, que se vinculan directamente con las causas de enfermedades más comunes y de mortalidad, registran valores anuales altos, los cuales se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla I. **Casos de diarreas e infecciones respiratorias agudas**

Patología	2009	2010	2011
Diarreas	518 848 (tasa 37 * 1000hab)	560 473 (tasa 39 * 1000hab)	397 286 (tasa 27 * 1000hab)
Infecciones respiratorias agudas	2 192 230 (tasa 156 * 1000hab)	2 567 541 (tasa 158 * 1000hab)	2 004 779 (tasa 136 * 1000hab)

Fuente: *Boletín Epidemiológico CNE/MSPAS*, 2011.

Si se pretende suministrar agua potable a una comunidad, se requiere llevar a cabo una serie de obras hidráulicas para la captación, conducción, potabilización, almacenamiento y distribución del agua. Igualmente, para la recolección de las aguas servidas se necesita proyectar una red de colectores y

obras complementarias que conduzcan el agua residual a una planta de tratamiento, y que luego se reutilicen o bien se viertan a un cuerpo receptor.

## **1.2. Aguas residuales**

Se puede definir como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes, tanto de residencias como de instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

Por razones de salud pública y por consideraciones de reacción, económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales.

Las aguas residuales pueden tener varios orígenes:

- Aguas residuales domésticas

Son aquellas provenientes de inodoros, lavaderos, cocinas y otros elementos domésticos. Estas aguas están compuestas por sólidos suspendidos (generalmente materia orgánica biodegradable), sólidos sedimentables (principalmente materia inorgánica), nutrientes (nitrógeno y fosforo) y organismos patógenos.

- Aguas residuales industriales

Se originan de los desechos de procesos industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza, pueden contener, además de los componentes citados anteriormente respecto a las aguas domésticas, elementos tóxicos tales como

plomo, mercurio, níquel, cobre y otros. Requieren ser removidos en vez de ser vertidos al sistema de alcantarillado.

- Aguas de lluvias

Proviene de la precipitación pluvial y, debido a su efecto de lavado sobre tejados, calles y suelos, pueden contener una gran cantidad de sólidos suspendidos; en zonas de alta contaminación atmosférica, pueden contener algunos metales pesados y otros elementos químicos.

### **1.2.1. Características físicas, químicas y biológicas**

A continuación, se describen brevemente los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes de cara al tratamiento de las aguas; se mencionan los métodos de análisis y las unidades para caracterizar.

- Características Físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

- Características Químicas

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes apartados:

- *Orgánicos*: Azúcares, almidones, proteínas, grasas, celulosa, lignina.
- *Inorgánicos*: Alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, pH, fósforo, azufre.
- *Gases*: Sulfuro de hidrógeno, metano, oxígeno disuelto, amoníaco, dióxido de carbono.

El hecho de que la medición de contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas. Entre los constituyentes orgánicos.

- Características Biológicas

Al tratar con el tema de las aguas residuales se debe tener un conocimiento amplio de las características biológicas de las mismas. Se debe estar familiarizado con los siguientes temas:

- Principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos.
- Organismos patógenos presentes en las aguas residuales
- Organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia.
- Métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.

En aguas residuales se encuentran microorganismos saprofitos que degradan la materia orgánica en compuestos simples, utilizando o no oxígeno disuelto y microorganismos patógenos agregados a las aguas que mueren rápidamente al encontrarse en un medio o *hábitat* extraño. Los patógenos, sin embargo, sobreviven un tiempo suficientemente prolongado para infectar a otros usuarios del agua.

En general, las características biológicas de aguas residuales se miden en pruebas para organismos indicadores como el NMP (Número Más Probable) y conteo total de bacterias. El grupo coliformes (fecales y totales) incluye bacterias tales como la *Escherichia coli* y otras *escherichias*, *enterobacter aerogenes* y otros.

### **1.3. Aguas pluviales**

Son las aguas producto de la lluvia o precipitación que escurren sobre la superficie del terreno.

#### **1.3.1. Precipitación**

Es el agua atmosférica que cae en la superficie terrestre, incluye la lluvia, el granizo y las nevadas. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera que al enfriarse hace que la humedad se condense y precipite.

##### **1.3.1.1. Clasificación de las precipitaciones**

Cualquier producto formado por la condensación del vapor de agua atmosférico en el aire libre o la superficie de la tierra es un hidrometeoro. Puesto

que los hidrólogos están principalmente interesados en la precipitación, únicamente se definen acá aquellos hidrometeoros que caen.

Dentro de los hidrometeoros no incluidos están la calina, neblina, la nieve arrastrada por el viento y el hielo.

Las diferentes formas de precipitación que existen son:

- Llovizna: Consiste en pequeñas gotas de agua, cuyo diámetro varía entre 0,1 u 0,5 mm, las cuales tienen velocidades de caída tan bajas que ocasionalmente parece que estuviesen flotando.
- Lluvia: Consiste en gotas de agua líquida en su mayoría con un diámetro mayor de 0,5 mm.

Se reportan tres tipos de intensidades según Linsley Ray, Kohler Max & Paulus Joseph en su libro *Hidrología para Ingenieros*:

- Ligera: Para tasas de caída hasta de 2,5 mm/h
- Moderada: Desde 2,5 hasta 7,6 mm/h
- Fuerte: Por encima de 7,6 mm/h

#### **1.4. Tipos de alcantarillados**

Los alcantarillados son los conductos por los cuales transportan las aguas residuales, pluviales o ambas, que provienen de las calles, casas, industrias, comercios, etc.

Se tienen tres tipos de sistemas de alcantarillado, la elección dependerá de los estudios que se realicen y de las condiciones que se presenten, tanto económicas, como físicas y funcionales.

#### **1.4.1. Alcantarillado sanitario**

Es la red generalmente de tuberías, a través de la cual se deben evacuar en forma rápida y segura, las aguas residuales municipales (domésticas o de establecimientos comerciales) hacia una planta de tratamiento, se reutilice el agua tratada o se disponga finalmente a un sitio de vertido donde no causen daños ni molestias.

#### **1.4.2. Alcantarillado pluvial**

Es el sistema de alcantarillado que capta y conduce las aguas de lluvia para su disposición final, puede ser infiltración, almacenamiento o depósito y cauces naturales. Esta disposición puede ser la detención y/o retención, para el reuso o para verterse a un cuerpo receptor.

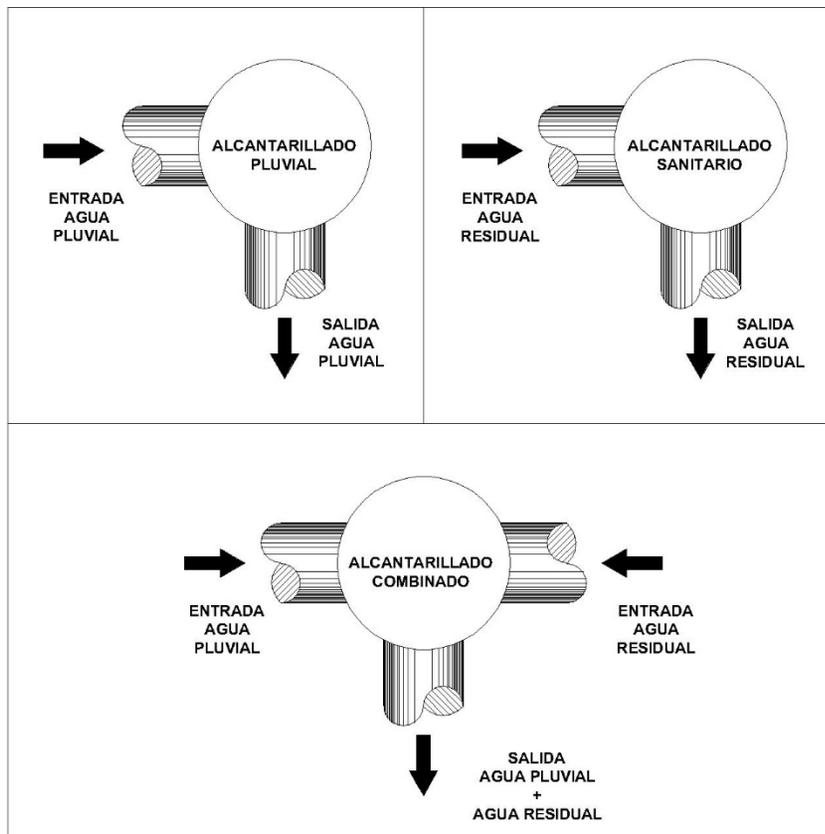
#### **1.4.3. Sistema de alcantarillado combinado**

Es el sistema que capta y conduce las aguas residuales y las aguas pluviales en un solo conducto, pero que dada su disposición dificulta su tratamiento posterior y causa serios problemas de contaminación al verterse a cauces naturales. Por las restricciones ambientales se imposibilita su infiltración.

#### 1.4.4. Sistema de alcantarillado separativo

Se diseñan dos redes independientes, una para que transporte las aguas residuales y la otra, las aguas provenientes de las lluvias.

Figura 1. **Sistemas de Alcantarillados**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

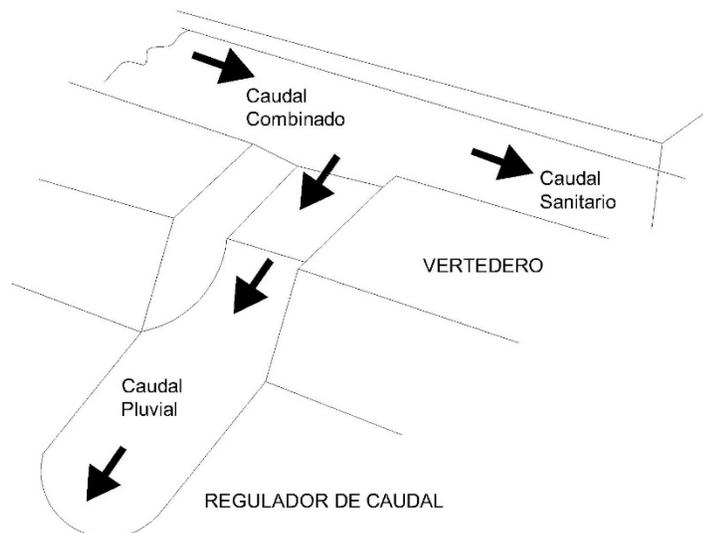
## 2. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO COMBINADO

### 2.1. Consideraciones generales

Cuando en una zona urbanizada se recogen las aguas residuales y las aguas de lluvia, se diseñan y construyen colectores, los cuales deben tener la capacidad de recibir los caudales del agua de lluvia y de las aguas residuales.

En todo sistema combinado, el agua lluvia y el agua residual fluyen por la misma tubería, por lo cual requiere estructuras de alivio que dividan el flujo en pluvial y sanitario. El primero vierte directamente a un cuerpo receptor y el segundo lo conduce hasta el sitio de disposición final o tratamiento de aguas.

Figura 2. Sistema combinado con regulador de caudal



Fuente: BÁEZ NOGUERA, Jorge, *Ingeniería Ambiental, Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales*, p. 138.

## 2.2. Ventajas y desventajas

Normalmente, la construcción de un sistema combinado de alcantarillado es menos costosa que la de un sistema separado, debido a que solo se debe instalar una tubería en las calles utilizando menos espacio. Esto representa una ventaja significativa cuando las calles son estrechas. Otra ventaja es que las tuberías necesitan menos limpieza, ya que el agua pluvial se encarga de esta tarea. En la tabla II se aprecia una comparación entre un sistema separado o separativo contra un sistema combinado.

Tabla II. **Comparación entre un sistema separado y un sistema combinado**

Criterio	Sistema Separativo	Sistema Combinado
<b>CONSIDERACIONES ECONÓMICAS</b>		
Número de tuberías	2 tuberías en cada calle	Una tubería
Operación, lavado limpieza	Más costosos	Más económico
Costo de los colectores	Más económicos en zonas bajas, siempre que el agua pluvial pueda evacuarse a alcantarillas instaladas a poca profundidad. La Alcantarilla pluvial puede tener gradiente.	A menudo, el costo es sustancialmente menor.
Muchos cuerpos pequeños receptores de agua en el área de drenaje	Ventajoso, ya que el agua pluvial puede ser descargada en estos cuerpos de agua a través de alcantarillas más pequeñas y menos profundas.	El nivel máximo de agua de estos cuerpos hídricos suele ser demasiado alto para los rebosadores de agua pluvial y esta debe ser trasladada a través de grandes distancias.
Tuberías de servicio	Más costosos; deben instalarse 2 tuberías, una para el agua pluvial y otra para las aguas residuales.	Más simple y económico

continuación tabla II.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS		
Contraflujo durante lluvias abundantes	Un contraflujo durante lluvias abundantes no provoca la inundación en sótanos o sectores bajos. Excepción: contraflujo a través del drenaje doméstico.	Es posible una inundación de sótanos o sectores bajos.
Contraflujo proveniente de la inundación por un cuerpo receptor (río, lago, etc.)	Igual que el caso anterior	Posible, según la altura de los del sótano y el nivel de crecida del agua del curso receptor.
Flujo de estiaje	Poca profundidad del agua y poca fuerza de arrastre	Buenas condiciones para limpiar las alcantarillas
Presencia de aguas residuales agresivas	Las alcantarillas deben construirse con materiales resistentes.	Las alcantarillas son muy amplias, lo cual brinda protección limitada contra la agresividad.
Estación de bombeo	Las bombas operan constantemente.	Además de bombas para las aguas residuales, debe haber bombas para el agua pluvial. Estas sólo operan pocas horas, anualmente, lo cual vuelve costosas las estaciones de bombeo.
Disposición de las alcantarillas en las calles	Suele ser difícil la distribución de ambas alcantarillas.	Menos problemático
CONSIDERACIONES SANITARIAS		
Reboses de agua pluvial	Ninguno para las aguas residuales	Alta contaminación al cuerpo receptor (pero puede reducirse por medio de depósitos de clarificación de agua pluvial).
Lluvia leve de intensidad menor de 15 l/s.ha. (un 90 % de precipitación anual)	Los desechos de las calles son transportados al cuerpo receptor a través del alcantarillado pluvial.	Los aliviadores o reguladores de caudal no llegan a funcionar y por tanto no contaminan el curso receptor.

Fuente: *Manual de disposición de aguas residuales; origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales*, p. 230 – 231.

### **2.3. Componentes**

Todo sistema combinado tiene como componentes principales, además de los conductos que pueden ser tuberías de materiales variados (PVC, concreto, polietileno de alta densidad o fibra de vidrio) pozos de inspección o de visita; cámaras de caída (en terrenos de pendiente pronunciada); sumideros o tragantes; aliviaderos o reguladores de caudal; transiciones (cuando se presenten cambios de sección); canales abiertos; sifones invertidos (para evitar obstáculos); estaciones de bombeo; y almacenamientos parciales que almacenen muy rápidamente el caudal pico de una tormenta y permitan su drenaje posterior a una menor velocidad.

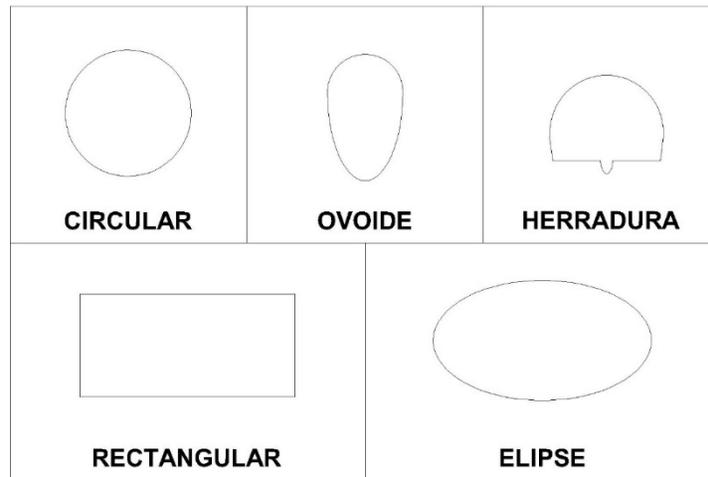
### **2.4. Secciones de alcantarillados y sus materiales**

Son usualmente de concreto reforzado, mampostería o *policloruro de vinilo* (PVC) y pueden ser estructuras cerradas o a cielo abierto (si es a cielo abierto no habría problema con malos olores y vectores, zancudos, mal aspecto, etc.). A las primeras se les llama cerradas porque se construyen con secciones transversales de forma de circular, ovoide, herradura, rectangular o elipse. Las estructuras a cielo abierto corresponden a canales abiertos de sección rectangular, trapezoidal o triangular.

Los siguientes puntos deben ser tomados en cuenta para determinar el tipo de sección:

- Ventajas hidráulicas
- Seguridad sobre carga superficial y presión del suelo
- Economía en costos de construcción
- Facilidad de mantenimiento
- Requerimientos locales en el sitio de construcción

Figura 3. **Secciones típicas de alcantarillados**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Tubería para alcantarilla

Los materiales que corrientemente se utilizan para fabricar tubos son: concreto, PVC, polímero de alta densidad, etcétera. Sin embargo, es posible y conveniente en muchos casos, emplear materiales menos costosos para las alcantarillas, como la arcilla y el concreto, este último sólo o reforzado, según el tamaño del tubo y la carga que haya que soportar.

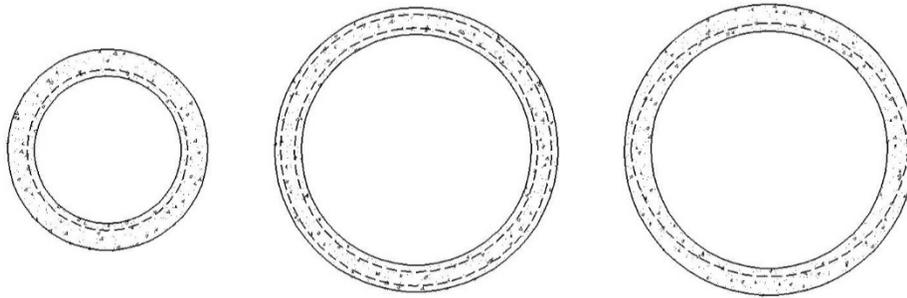
En los primeros tiempos de desarrollo del alcantarillado se construyeron muchos de ladrillo, pero actualmente se utiliza de preferencia el hormigón o concreto. Por sus características últimamente se emplea mayormente el PVC (*policloruro de vinilo*) y el PAD (polímero de alta densidad).

#### **2.4.1. Tubos de concreto reforzado para alcantarillados**

Los tubos prefabricados de más de 60 cm de diámetro, deben reforzarse para soportar cargas o la profundidad de las instalaciones de la tubería. Los

materiales utilizados para la confección del tubo deben ajustarse a las normas internacionales. Será preciso disponer algunos refuerzos para soportar los esfuerzos longitudinales y transversales, para evitar roturas.

Figura 4. **Sección transversal de los tubos de concreto armado**



Fuente: STEEL, Ernest W., *Abastecimiento de agua y alcantarillado*, p. 418.

Las causas por las cuales pueden rechazarse los tubos de prefabricados de concreto reforzado son:

- Fracturas o grietas que pasen a través de las paredes
- Defectos que indiquen imperfección en la mezcla
- Hierros del armado al descubierto

## **2.5. Estructuras complementarias de los alcantarillados combinados**

Todo sistema combinado tiene como componentes principales, además de las tuberías, pozos de inspección o de visita; cámaras de caída en terrenos de pendiente pronunciada; sumideros o tragantes; aliviaderos o reguladores de caudal; transiciones (cuando se presenten cambios de sección); canales abiertos; sifones invertidos (para evitar obstáculo); estaciones de bombeo; tanques de retención y/o detención.

### **2.5.1. Pozos de inspección o visita**

La unión o conexión de dos o más tramos de colectores se realiza mediante estructuras hidráulicas conocidas como estructuras de conexión, comunicadas con la superficie mediante pozos de inspección que faciliten el acceso para control y limpieza.

Al hablar de pozos de inspección o de visita se está haciendo referencia al conjunto estructura de conexión-pozo de inspección. Se recomienda su utilización en la iniciación de los colectores, cambios de dirección, cambios en el tamaño de la tubería, cambios sustanciales en pendiente, intersección y curva de colectores. En colectores principales con diámetros superiores a un 1,50 m, o aquellos con entradas restringidas, la distancia entre estructuras de inspección puede ser del orden de los 100 m (según el reglamento de drenajes de EMPAGUA de la Ciudad de Guatemala recomienda distancia entre pozos de 100 m).

En todo caso, las distancias adoptadas, que inciden directamente en el costo del alcantarillado, deben ser sustentadas con base en las consideraciones, para facilitar las labores de limpieza y la adecuada ventilación de los colectores.

El diámetro inferior de los pozos dependerá del diámetro de la tubería de salida, tal como se muestra en la tabla III, los pozos tienen una tapa circular de acceso, fabricada para pesos estándares correspondientes a diferentes condiciones de tráfico, con una abertura de 0,50 a 0,60 m.

Cuando la profundidad del pozo sea menor que 2,50 m, el cuerpo del cilindro inferior puede ser extendido hasta la superficie, disponer de una losa de concreto como acceso.

Tabla III. **Diámetro pozos de inspección según diámetro de tubería de salida**

Diámetro del colector de salida		Diámetro del pozo (m)
0,25 m	10 “	1,50
0,30 m	12 “	1,50
0,35 m	14 “	1,50
0,40 m	16 “	1,50
0,45 m	18 “	1,50
0,50 m	20 “	1,50
0,55 m	22 “	1,60
0,60 m	24 “	1,60
0,65 m	26 “	1,60
0,70 m	28 “	1,60
0,75 m	30 “	1,60
0,90 m	36 “	1,75
1,00 m	40 “	1,75
1,25 m	50 “	2,00
1,50 m	60 “	2,50
	> 60”	Ø de tubería + 1 m

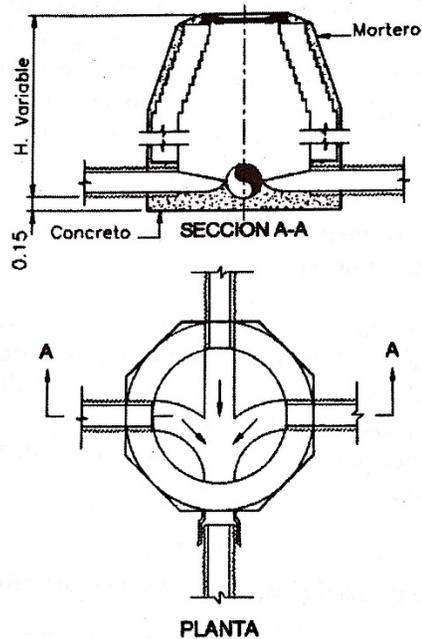
Fuente: EMPAGUA, *Reglamento de Diseño de Alcantarillado de la Empresa Municipal de Agua*,  
Tabla No. 5, p.25.

Cuando el diámetro del colector de salida sea mayor o igual a un metro, las estructuras de conexión deberán diseñarse para cada caso en particular, consultando especificaciones pertinentes y definiendo en forma práctica los accesos de entrada.

Los pozos de inspección deben ser provistos de peldaños metálicos insertados en las paredes (escalones).

Sin embargo, es bueno advertir que tales peldaños están sujetos a corrosión y pueden presentar un peligro para los trabajadores en colectores viejos, por lo que se recomienda recubrirlos con un material adecuado para evitar la corrosión.

Figura 5. Pozo de inspección



Fuente: BÁEZ NOGUERA, Jorge, *Ingeniería Ambiental, Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales*, p.142.

Los pozos de inspección se construyen usualmente en concreto o mampostería. Otra alternativa válida consiste en construir pozos de inspección prefabricados, que mejoran el rendimiento de construcción de una red de alcantarillado.

### 2.5.2. Cámaras de caída

Las cámaras de caída son estructuras de conexión frecuentes en terrenos con pendientes pronunciadas, diseñadas para evitar velocidades mayores de las máximas permisibles.

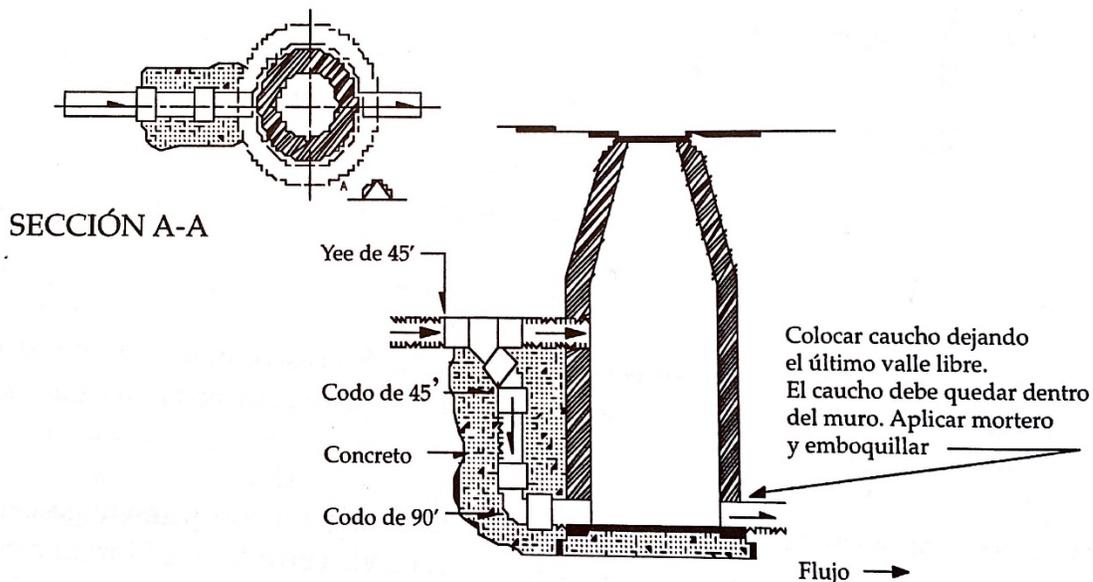
Todos los colectores que lleguen a una estructura de conexión, con una diferencia mayor de 0,75 m con respecto a la cota invert del colector de salida,

deben entrar al pozo mediante una cámara de caída, cuya salida del alcantarillado debe estar orientada en tal forma que el flujo confluya con un ángulo máximo de 15° respecto a la dirección del flujo principal (según Báez Noguera).

Para colectores afluentes menores de 300 mm (12") de diámetro puede analizarse la alternativa de no construir la cámara de caída, pero proveer un depósito de agua en la parte inferior del pozo que amortigüe la caída.

El diseño de la cámara de caída, consiste en unir el fondo de la cámara mediante un tubo bajante que está colocado fuera de la misma. La tubería se prolonga con su pendiente original hasta la parte inferior de la cámara, con objeto de facilitar la inspección y limpieza del conducto (ver figura 6).

Figura 6. Cámara de caída



Fuente: BÁEZ NOGUERA, Jorge, *Ingeniería Ambiental, Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales*, p. 145.

El diámetro del tubo bajante se especifica en la tabla IV, pero en ningún caso debe ser menor de 200 mm (8").

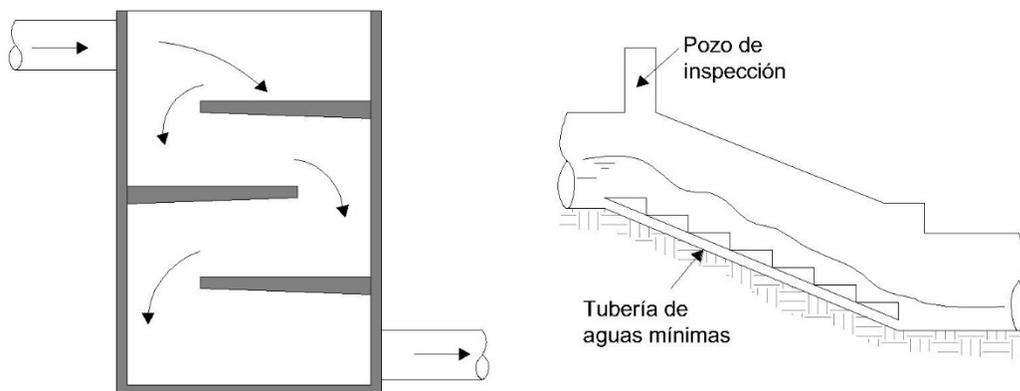
Cuando la tubería de entrada tiene un diámetro mayor de 900 mm, en lugar de tubo de caída debe diseñarse una transición escalonada, similar a las esquematizadas en la figura 7.

Tabla IV. **Diámetro del tubo bajante de la cámara de caída en función del diámetro de la tubería de entrada**

Diámetro colector de entrada	Diámetro tubo bajante
200 – 300 mm	200 mm
350 – 450 mm	300 mm
500 – 900 mm	400 mm
>900 mm	Transición escalonada

Fuente: BÁEZ NOGUERA, Jorge, *Ingeniería Ambiental, Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales*, p. 146.

Figura 7. **Cámara de caída escalonada**



Fuente: BÁEZ NOGUERA, Jorge, *Ingeniería Ambiental, Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales*, p. 146.

### **2.5.3. Sumideros o tragantes**

Los sumideros son estructuras diseñadas para la captación de la escorrentía superficial, los cuales también son conocidos como tragantes, se localizan en las vías vehiculares o peatonales y se ubican de forma lateral o transversalmente al sentido del flujo.

Para determinar la capacidad de un sumidero es necesario conocer primero las características de la escorrentía en las vías aguas arriba de este. La vía corresponde hidráulicamente a un canal muy ancho, que por su pendiente transversal puede asimilarse a un canal triangular (cuneta).

La capacidad depende de su forma, pendiente y rugosidad y puede terminarse con la ayuda del Monograma de Izzard (ver en anexo 1), elaborado a partir de la fórmula de Manning.

Los siguientes son algunos criterios para su ubicación.

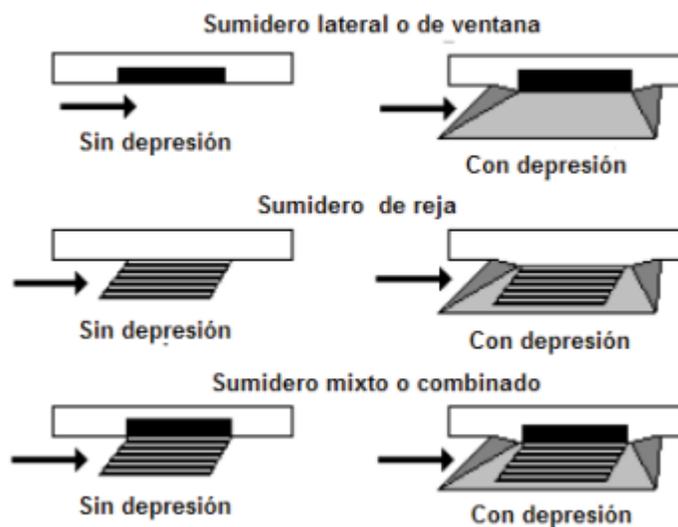
- Puntos bajos y depresiones de las calzadas
- Reducción y pendiente longitudinal en las calles
- Antes de puentes y terraplenes
- Preferiblemente antes de los cruces de calles y pasos peatonales

Los sumideros pueden ser de varios tipos, y su selección es determinada por las características topográficas, el grado de eficiencia del sumidero, la importancia de la vía y la posibilidad de acumulación y arrastre de sedimentos en el sector.

Los principales tipos de sumideros son:

- Lateral o de ventana
- De rejillas en calzada
- Mixto o combinado

Figura 8. **Clasificación de tragantes**



Fuente: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, *Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros*, p. 203.

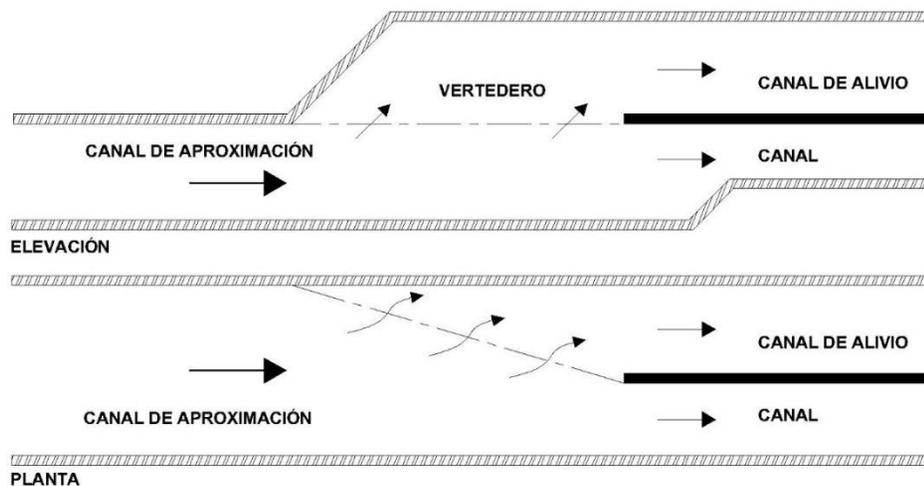
#### 2.5.4. Aliviaderos

Los aliviaderos son estructuras que permiten que el exceso de lluvia, sea derivada a drenajes usualmente naturales, aliviando con ello los caudales conducidos por colectores al sitio de disposición final, que puede ser una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Los aliviaderos, usuales en sistemas combinados, pueden ser laterales, transversales o de tipo vórtice.

La localización de las estructuras de alivio debe estar en función de la configuración del terreno y de la posibilidad de derivar los caudales al cuerpo receptor sin causar problemas de inundaciones de áreas aledañas.

Figura 9. Aliviadero lateral



Fuente: BÁEZ NOGUERA, Jorge, *Ingeniería Ambiental, Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales*, p. 156.

Estas estructuras pueden estar contenidas en pozos de inspección convencionales; si esto no es posible, será necesario el diseño de estructuras especiales.

Para su diseño es indispensable tener en cuenta:

- Caudal de alivio

Corresponde al exceso de agua pluvial que llega a la estructura. No debe permitirse derivar aguas residuales no diluidas. La dilución será la relación

entre el caudal a partir del cual el aliviadero comienza a derivar caudal de agua pluvial y el caudal de aguas residuales.

- Frecuencia de los alivios

Es el número esperado de veces por año que operaría el aliviadero. El número adecuado debe estar relacionado con el periodo de retorno de diseño de los colectores de la red. Cuanto mayor sea el periodo de retorno, menor debe ser la frecuencia anual de operación del aliviadero.

- Capacidad del cuerpo de agua receptor

El cuerpo receptor debe ser caracterizado hidráulica, hidrológica y ambientalmente para establecer sus condiciones de asimilación y depuración.

- Comportamiento hidráulico

El flujo en un vertedero lateral corresponde a flujo gradualmente variado. Los métodos de cálculo hidráulico para estos vertederos deben hacerse con base en el análisis de conservación de energía entre dos secciones ubicadas aguas arriba y aguas abajo del vertedero y en relación entre el caudal de alivio y la longitud del vertedero.

Debe tenerse en cuenta que la descarga del vertedero sea libre, porque el espacio entre la cresta del vertedero y el nivel de agua del colector que transporta las aguas lluvias aliviadas debe ser al menos de 0,05m.

### **2.5.5. Canales abiertos**

Los canales, utilizados en combinación con las tuberías para conducir las aguas de escorrentía pluvial, pueden ser abiertos o cerrados y deben cumplir con la condición de flujo a superficie libre.

Su sección puede tener cualquier forma, es decir, pueden utilizarse canales prismáticos o no, dependiendo de las consideraciones específicas y se usen las ecuaciones hidráulicas adecuadas para que el sistema funcione por gravedad. Es importante evitar el flujo crítico por su inestabilidad asociada.

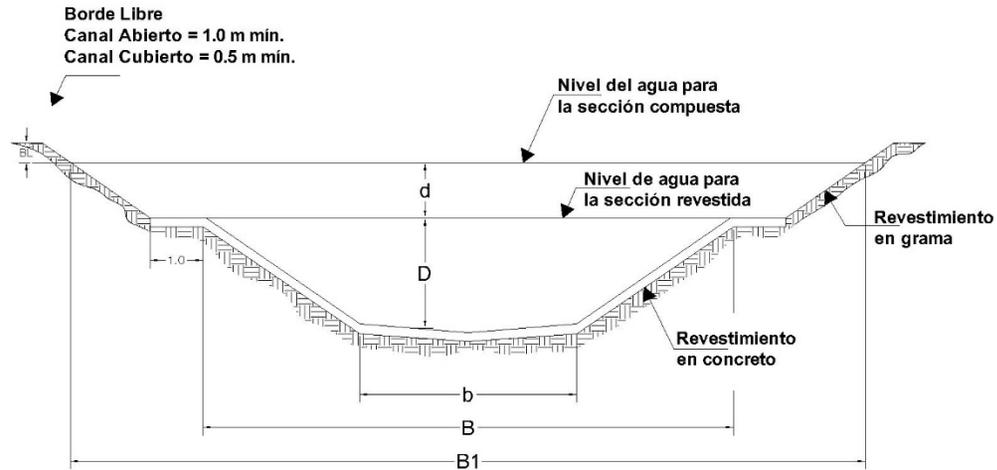
### **2.5.6. Canales de aguas lluvia**

Los canales se utilizan en combinación con las tuberías para la evacuación del agua lluvia. Su sección puede ser rectangular o trapecial y pueden ser abiertos o cerrados.

Un canal típico de aguas lluvias es un canal trapezoidal abierto de dos secciones. La sección inferior es revestida en concreto y la sección superior, en grama. Se debe dejar siempre el acceso del equipo de limpieza en los canales.

De acuerdo a normas internacionales de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), recomienda que la sección revestida en concreto se diseña para la escorrentía producida por un evento con frecuencia de diez años, mientras que la sección revestida en grama se diseña para una frecuencias de 25 años (área de influencia del drenaje < 1000 hectáreas) o 50 años (área de influencia de drenaje > 1000 hectáreas), dejando adicionalmente un borde libre, capaz de evacuar el caudal producido con una frecuencia de 100 años, así mismo el canal será revestido de grama.

Figura 10. Canal de aguas lluvias



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo, *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*, p. 468.

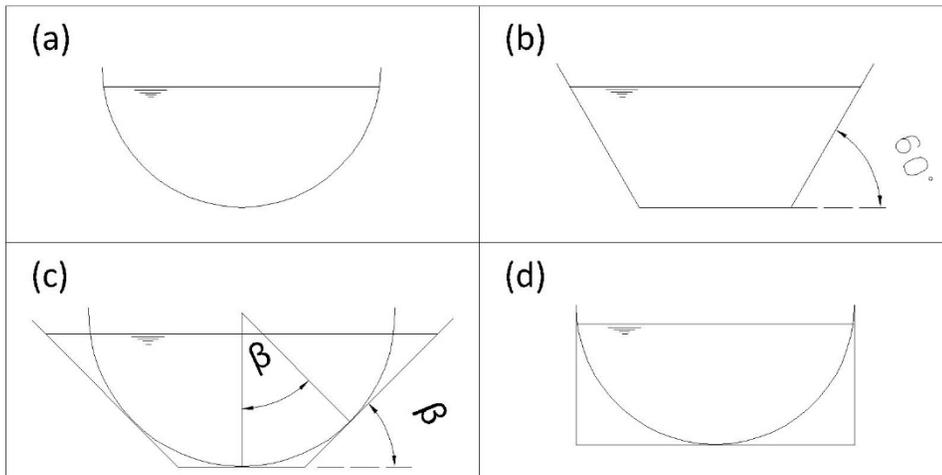
### 2.5.6.1. Sección hidráulica del canal

La sección hidráulica más eficiente es aquella que tiene la máxima capacidad para un área dada y un perímetro mojado mínimo (menores costos).

El semicírculo es entonces la sección hidráulica de mayor eficiencia (figura 11a). Sin embargo, debido a problemas constructivos y costos, esta sección no es aplicable en la mayor parte de los canales abiertos, por lo que se recurre a las secciones rectangulares trapeciales.

La sección trapezoidal de mayor eficiencia en los canales abiertos es medio hexágono regular (figura 11b), la cual, debido a la fuerte inclinación de sus taludes, no puede emplearse en todos los tipos de suelos. Al no poder emplear taludes de  $60^\circ$ , la sección más eficiente es aquella en la que se puede circunscribir media circunferencia (figura 11c).

Figura 11. Secciones hidráulicas más eficientes



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo, *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*, p. 469.

Para la sección hidráulica más eficiente y utilizando los elementos del canal definidos en la figura 10, se tiene.

$$b = 2D (\sqrt{1 + m^2} - m) \quad \text{Ec. 1}$$

$$A = bD + m D^2 \quad \text{Ec. 2}$$

$$P = b + 2D\sqrt{1 + m^2} \quad \text{Ec. 3}$$

En donde:

- b = ancho inferior del canal
- B = ancho superior del canal
- A = área de la sección del canal
- P = perímetro mojado
- D = distancia del fondo del canal hasta la sección revestida
- d = distancia de la sección revestida al borde libre
- m = pendiente del talud del canal abierto

Haciendo algunas transformaciones matemáticas, se llega a las siguientes expresiones en función del área y la pendiente del talud.

$$D = \sqrt{\frac{A}{2\sqrt{1+m^2}-m}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{2\sqrt{1+m^2}-m}} (\sqrt{1+m^2}-m) \quad \text{Ec. 5}$$

$$b = \sqrt{A} (2\sqrt{2\sqrt{1+m^2}-m}) \quad \text{Ec. 6}$$

Para una sección rectangular, la sección más eficiente es aquella en la que se puede circunscribir media circunferencia. Para este caso, las ecuaciones anteriores son válidas haciendo  $m = 0$ .

#### **2.5.6.2. Diseño hidráulico del canal**

Suponiendo flujo uniforme se puede utilizar la sección hidráulica más eficiente, aunque en la práctica puede haber necesidad de modificarla debido a restricciones del proyecto, tales como pendiente longitudinal del canal, pendiente de los taludes y ancho máximo del canal.





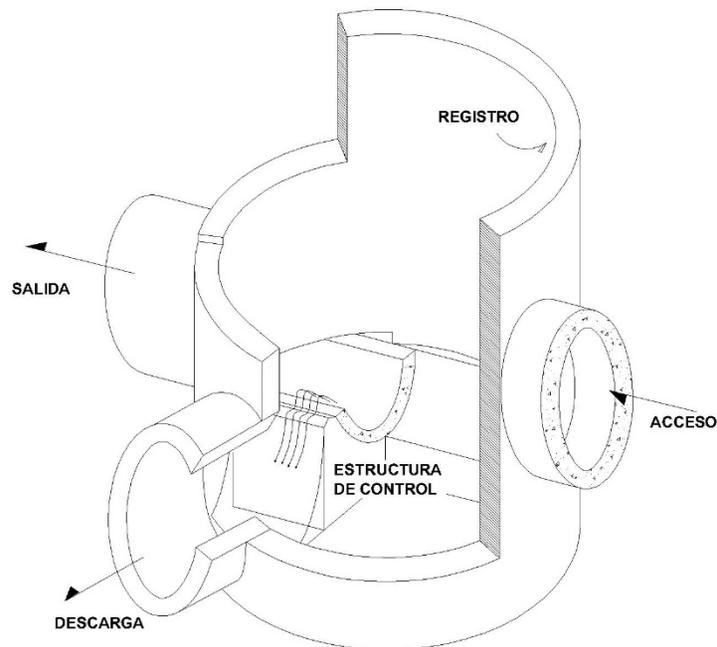
- Caudal derivado: Es una fracción del caudal resultado de mezclar aguas residuales (domesticas, industriales o de áreas comerciales) con aguas de lluvia, aguas de infiltración o aguas de almacenamiento temporal, por lo que es necesario hacer los estudios pertinentes sobre los posibles sitios de descarga y así determinar la capacidad de aceptación del volumen de agua aliviada de su respectiva cantidad de contaminantes.
- Caudal de alivio: Este caudal lleva una carga residual que puede afectar el cuerpo de agua, esto depende, entre otros factores, del grado de dilución, de las características hidrológicas de la localidad y de las características hidráulicas, de la calidad de agua y de autodepuración del cuerpo receptor.
- Dilución: Se define como la cantidad de agua residual presente y medida en volumen contenido dentro de un determinado volumen total de agua; así, por ejemplo, una dilución de 2 a 5 significa que, de las cinco partes del volumen total de agua, dos son aguas residuales y los tres restantes corresponden a aguas lluvias.

Los aliviaderos se localizan con base en la topografía del lugar para ubicar puntos descargas próximos, por consiguiente, el cuerpo receptor, se analizará considerando los aspectos ambientales, hidrológicos e hidráulicos.

### **3.2. Partes que constituyen un vertedero de demasías o aliviadero**

Las partes esenciales que consta un aliviadero son generalmente, un acceso, una estructura de control, una salida y una descarga.

Figura 13. **Esquema típico de un aliviadero de EMPAGUA**



Fuente: EMPAGUA, *Detalle típico, Unidad de Diseño de Agua y Alcantarillado.*

### 3.2.1. Acceso

La finalidad del canal de acceso, es la de captar el caudal y conducirlo a la estructura de control. Las velocidades de entrada deberán limitarse y las curvaturas y transiciones deberán hacerse graduales, con objeto de disminuir las pérdidas de carga en el canal.

### 3.2.2. Estructura de control

Una de las partes más importantes de un aliviadero, viene siendo la estructura de control, porque limita o evita las descargas cuando el nivel del agua no ha alcanzado el nivel ya fijado. La estructura de control puede consistir en una cresta, pestaña, orificio, boquilla o tubo.

### **3.2.3. Salida**

Luego de que el agua pasa por la estructura de control, el caudal pluvial es derivado a la descarga y el caudal de salida conduce solamente aguas residuales hacia la planta de tratamiento.

### **3.2.4. Descarga**

El caudal descargado por la estructura de control generalmente se conduce a un cuerpo receptor. La conducción de estas aguas será a través de un canal de descarga o por medio de una tubería; normalmente serán canales a cielo abierto que deberán soportar las velocidades con la cual el agua circule por ellos, razón por la cual deberán ir revestidos.

## **3.3. Clases de aliviaderos**

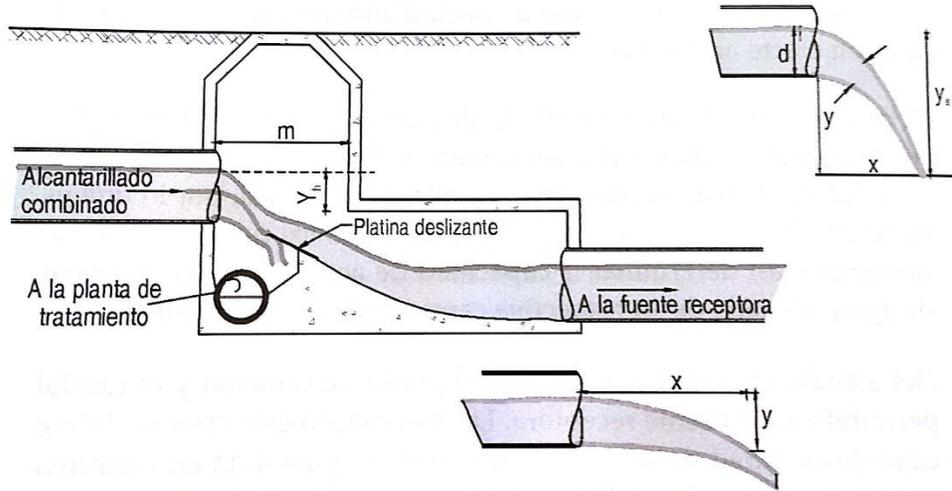
Los aliviaderos más utilizados en alcantarillados combinados son:

1. Aliviadero de salto
2. Aliviadero de orificio sumergido
3. Aliviadero lateral

### **3.3.1. Aliviadero de salto**

En el aliviadero de salto, el caudal normal de aguas residuales cae al fondo mediante la abertura existente entre la placa deslizante y la pared de la cámara. Si el caudal combinado se incrementa, por ejemplo, en épocas de lluvia, la mayor parte salta la abertura debido al incremento de la velocidad, transportándose a la fuente receptora.

Figura 14. Aliviadero de salto

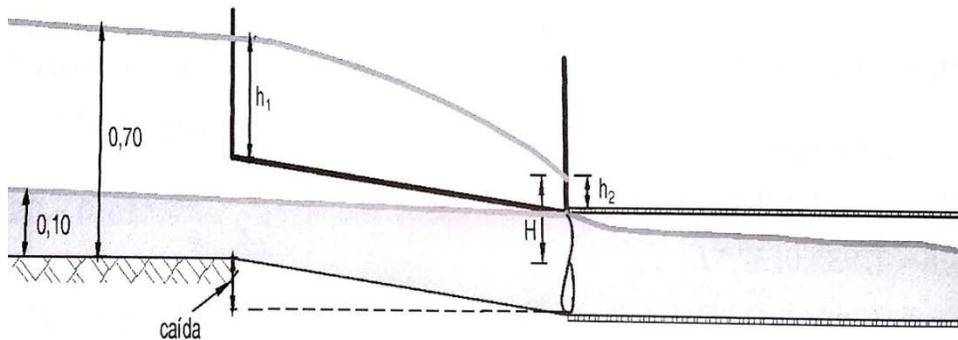


Fuente: ZAMBRANO, Alfonso, *Recolección de Aguas Residuales*, p.212.

### 3.3.2. Aliviadero lateral

En los aliviaderos laterales, el caudal de vertimiento es descargado hacia un lado mediante una ventana colocada en la pared del muro o de la tubería y el caudal de aguas residuales diluidas continuas hacia la planta de tratamiento.

Figura 15. Aliviadero lateral

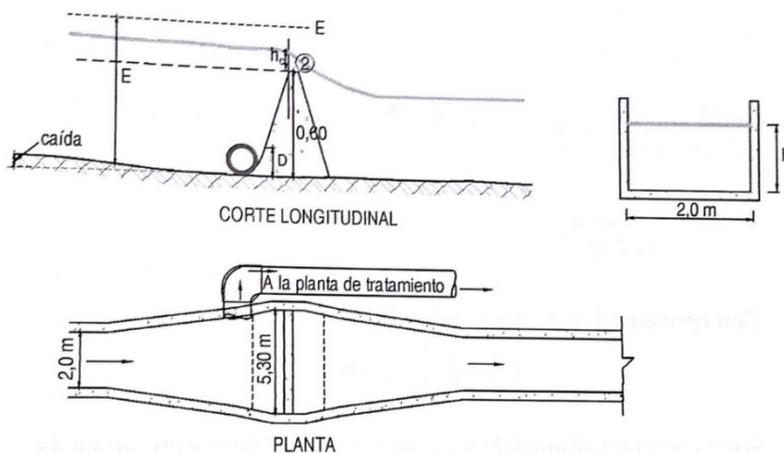


Fuente: ZAMBRANO, Alfonso, *Recolección de Aguas Residuales*, p.220.

### 3.3.3. Aliviaderos de orificio sumergido

En esta clase de aliviaderos, el orificio se coloca en el fondo del canal y se pone un muro o dique que favorece las condiciones de captación del orificio. Es necesario estudiar las condiciones hidráulicas causadas por la perturbación del muro y del orificio.

Figura 16. Aliviadero de orificio sumergido



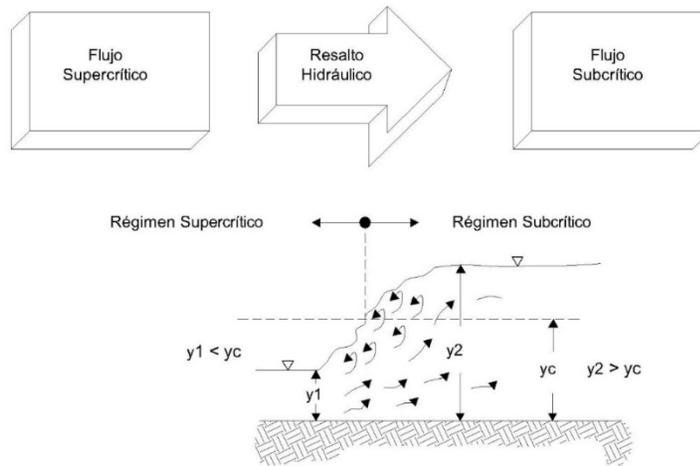
Fuente: ZAMBRANO, Alfonso, *Recolección de Aguas Residuales*, p.217.

### 3.4. Resalto hidráulico

El resalto hidráulico o salto hidráulico es un fenómeno local, que se presenta en el flujo rápidamente variado, el cual va siempre acompañado por un aumento súbito del tirante y una pérdida de energía bastante considerable (disipada principalmente como calor), en un tramo relativamente corto.

Ocurre con el paso brusco de régimen supercrítico (rápido) a régimen subcrítico (lento), es decir, en el resalto hidráulico el tirante, en un tramo corto cambia de un valor inferior al crítico a otro superior a este.

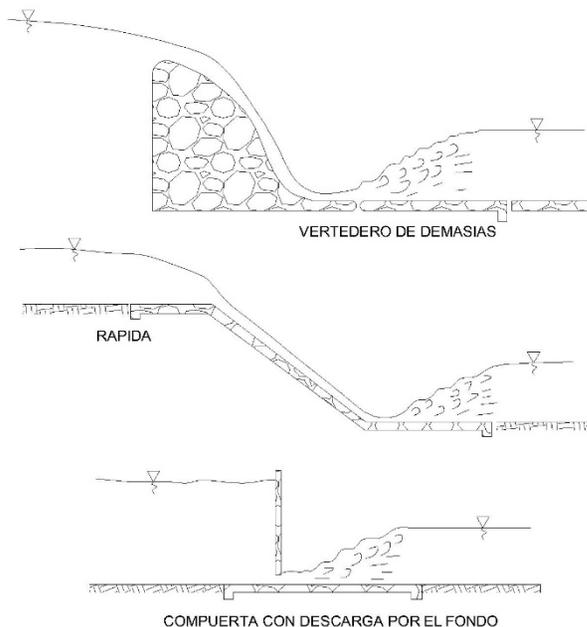
Figura 17. Resalto hidráulico



Fuente: VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidráulica de Canales*. p.180.

Esto sucede al pie de estructuras hidráulicas tales como vertederos de demasías, rápidas, salidas de compuertas con descarga por el fondo, etc, como puede observarse en la figura 18.

Figura 18. Lugares apropiados para formarse el resalto hidráulico

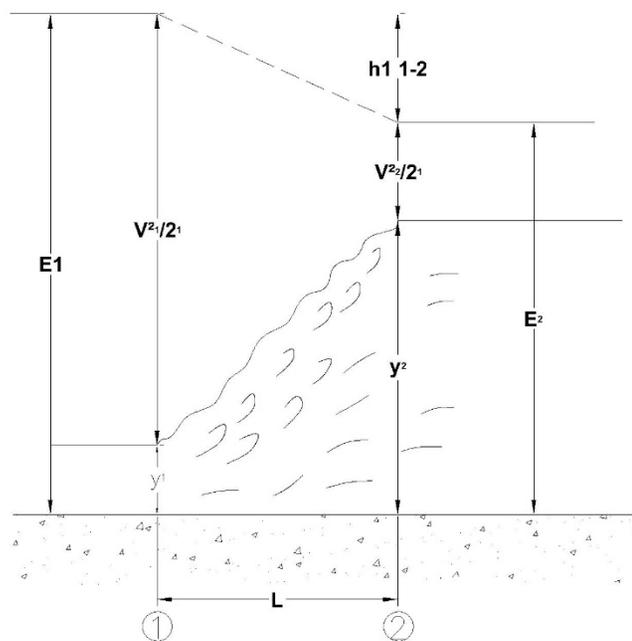


Fuente: VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidráulica de Canales*. p.181.

En un resalto como el que se muestra a continuación se pueden realizar las siguientes observaciones:

- Antes del resalto, cuando el agua escurre todavía en régimen rápido, predomina la energía cinética de la corriente, parte de la cual se transforma en calor (pérdida de energía útil) y parte en energía potencial (incremento del tirante), siendo ésta la que predomina, después de efectuado el fenómeno.

Figura 19. **Elementos del resalto hidráulico**



Fuente: VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidráulica de Canales*. p.182.

- En la figura las secciones 1 y 2 marcan esquemáticamente el principio y el final del resalto. Los tirantes “ $y_1$ ” y “ $y_2$ ” con que escurre el agua antes y después del mismo se llaman tirantes conjugados, donde:

$y_2$ =tirante conjugado mayor,  $y_1$ =tirante conjugado menor

La diferencia  $y_2-y_1$  es la altura del resalto y  $L$  su longitud, existen muchos criterios para encontrar este último valor.

- $E_1$  es la energía específica antes del resalto y  $E_2$  la que posee la corriente después de él. Se observa que en 2 la energía específica es menor que en 1 debido a las fuertes pérdidas de energía útil que el fenómeno ocasiona; esta pérdida se representa como  $E_1-E_2$ .

Además de su mérito como disipador natural de energía, el resalto hidráulico tiene muchos otros usos prácticos, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Prevención o confinamiento de la socavación aguas abajo de las estructuras hidráulicas donde es necesario disipar energía.
- Mezclado eficiente de fluidos o de sustancias químicas usadas en la purificación de aguas, debido a la naturaleza fuertemente turbulenta del fenómeno.
- Incremento del caudal descargado por una compuerta deslizante al rechazar el retroceso del agua contra la compuerta. Esto aumenta la carga efectiva y con ella el caudal.
- La recuperación de carga aguas debajo de un aforador y mantenimiento de un nivel alto del agua en el canal de riego o de distribución del agua.

### **3.5. Disipadores de energía**

Cuando el agua fluye por el vertedero, canales o túneles de descarga contienen gran cantidad de energía y mucho poder destructivo debido a la velocidad y a la masa de agua que se transporta.

Estas pueden causar erosión en lecho del río, o en las estructuras mismas de conducción, poniendo en peligro la estabilidad de las estructuras hidráulicas.

Por lo tanto, estos elementos (disipadores de energía) son empleados para cambiar las condiciones del flujo, generando pérdidas de energía, para ello utilizan el resalto hidráulico, impactos o golpes con el flujo.

#### **3.5.1. Tipos de disipadores de energía**

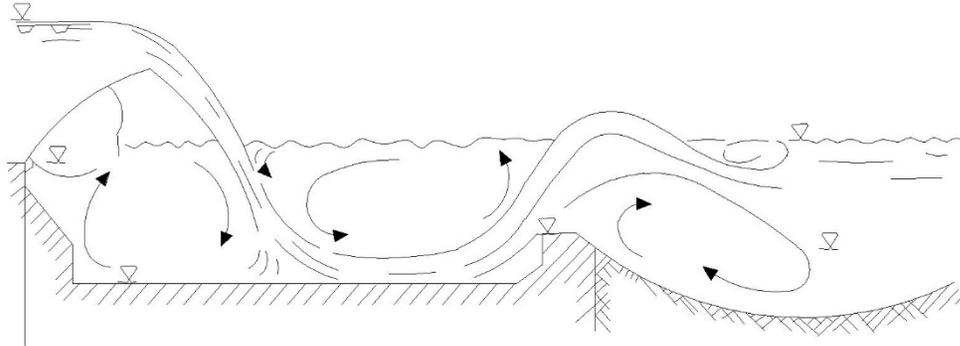
El resalto hidráulico es uno de los mecanismos mejor indicados para lograr este objetivo y lograrlo en un tramo corto de un canal.

De esta forma se puede lograr pérdida de energía, y velocidades más uniforme aguas abajo. A continuación, se presentan los diferentes tipos de disipadores que existen.

##### **3.5.1.1. Disipador con umbral continuo y discontinuo (dentado)**

La función de estos umbrales es crear remolinos que se forman aguas abajo del umbral, es por eso que es importante proteger el fondo del canal en esta zona debido a que existe un alto riesgo de erosión del fondo.

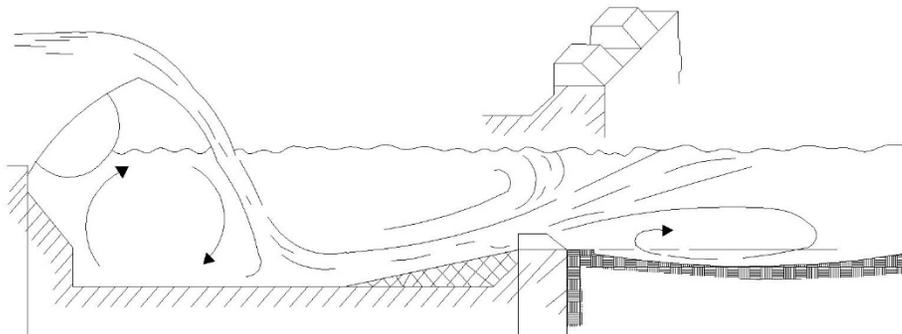
Figura 20. **Disipador con umbral continuo**



Fuente: NAUDASCHER, Eduard. *Hidráulica de Canales: diseño de estructuras*. p.44.

- Umbral Continuo: Existe cuando el sentido de giro del remolino puede hacer que el material del fondo sea transportado hacia el final de la estructura y de esta forma se evita la socavación al pie.
- Umbral Discontinuo (dentado): Es la estructura que actúa cuando las velocidades del flujo son mayores por lo cual no se puede evitar la formación de huecos por socavación más grandes y cuyas características dependen del material del fondo del canal, es por esto que un umbral dentado resulta más beneficioso.

Figura 21. **Disipador con umbral discontinuo**



Fuente: NAUDASCHER, Eduard. *Hidráulica de Canales: diseño de estructuras*. p.44.

### 3.5.1.2. Disipador escalonado

Este tipo de disipador posee canales con gradas o escalones donde, a la vez que se conduce el agua, se va disipando la energía cinética del flujo por impacto con los escalones, llegando el agua al pie de la rápida con energía disipada, por lo que no se hace necesaria alguna estructura adicional.

Figura 22. Fotografía canal de rápidas escalonadas vista A y B



Fuente: MEJÍA FERNÁNDEZ, Fernando, *Estructuras De Vertimiento De Aguas En Laderas De Media A Fuerte Pendiente*, p.24.

### 3.5.1.3. Disipador USBR II

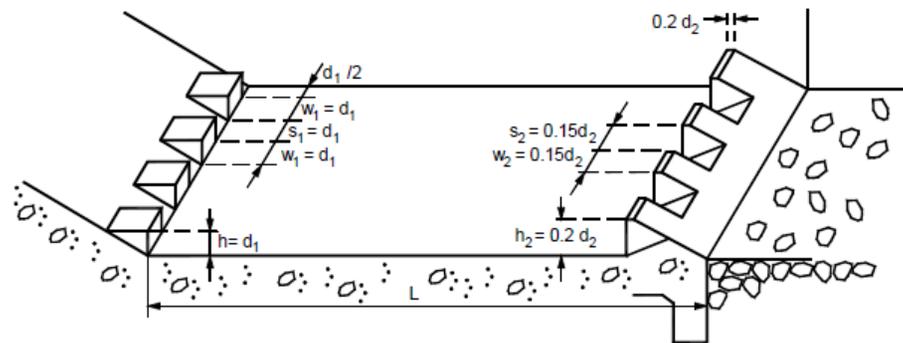
El *U.S. Bureau of Reclamation* (Departamento de Recuperación de los EE.UU.), a través de estudios intensivos de muchas estructuras existentes e investigaciones de laboratorio ha desarrollado diversos tipos de diseños generalizados de canales disipadores.

Los diseños comienzan con el USBR I que es un disipador de piso plano sin accesorios y que se diseña bajo los principios básicos del resalto hidráulico.

El disipador USBR II está diseñado para presas altas, para presas de tierra y para estructuras de canales grandes.

Este disipador cuenta con bloques de rápida en el extremo de aguas arriba y un umbral dentado en la parte de aguas abajo. Este disipador no posee bloques de impacto debido a que está diseñado para velocidades altas, las cuales podrían provocar cavitación en dichos bloques.

Figura 23. **Disipador USBR II**



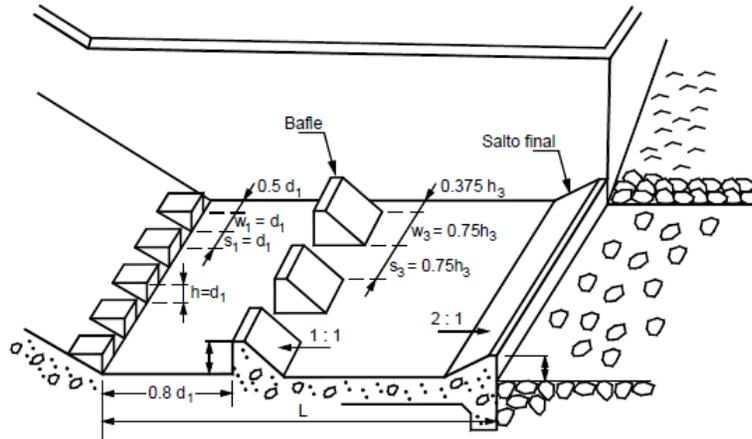
Fuente: USBR, *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*, p.29.

#### 3.5.1.4. **Disipador USBR III**

Regularmente el disipador USBR II es considerado un poco conservativo y costoso para estructuras que conducen relativamente poco caudal a velocidades moderadas.

Un canal más corto que posea bloques de impacto aguas abajo de los bloques de rápida es una mejor opción. Debido al riesgo de cavitación en los bloques las velocidades se deben encontrar entre límites razonables. Este disipador fue diseñado para velocidades de entrada máximas de 15 – 18 m/s y para descargas menores de 5,5 m<sup>3</sup>/s (5 600 Lt/s).

Figura 24. **Disipador USBR III**

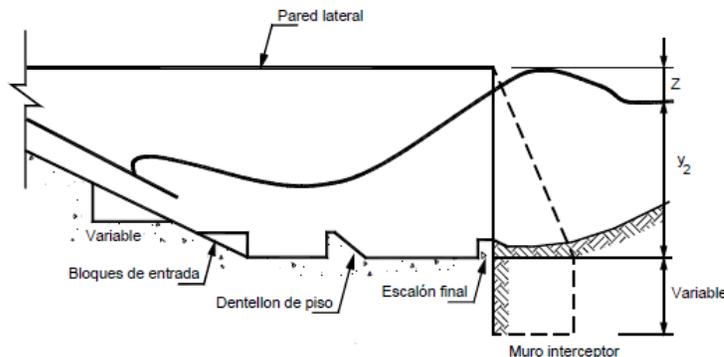


Fuente: USBR, *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*, p.35.

### 3.5.1.5. Disipador SAF

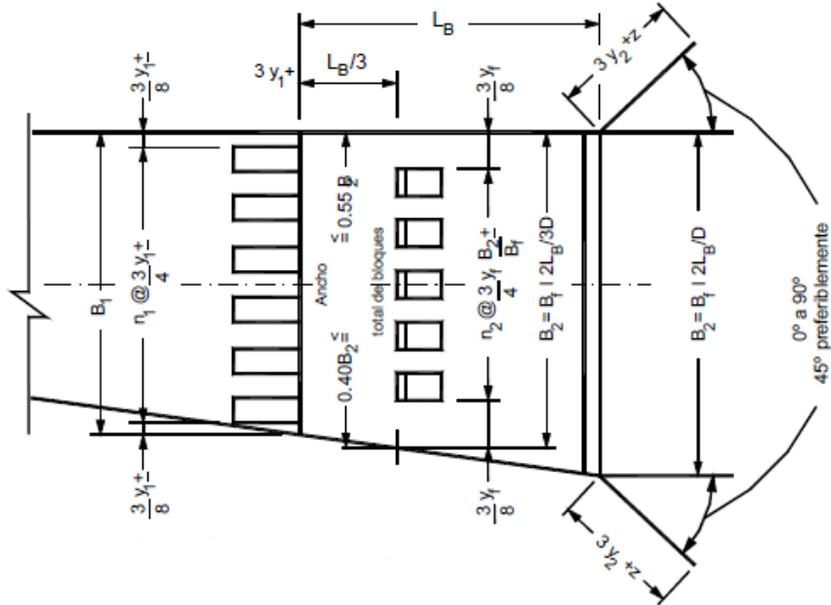
Este tipo de disipador (proviene del inglés *San Anthony Falls*, Cataratas de San Antonio), se desarrolló en el Laboratorio de Hidráulica San Anthony Falls, en la universidad de Minnesota, para ser utilizado en pequeñas estructuras de drenaje. Este disipador utiliza bloques o dados para controlar el resalto hidráulico a la salida del regulador de caudal para estabilizar el resalto hidráulico dentro de los límites del disipador.

Figura 25. **Vista perfil, disipador SAF**



Fuente: CHOW, Ven Te, *Hidráulica de canales*, p.407.

Figura 26. Vista en planta, dissipador SAF



Fuente: CHOW, Ven Te, *Hidráulica de canales*, p.407.

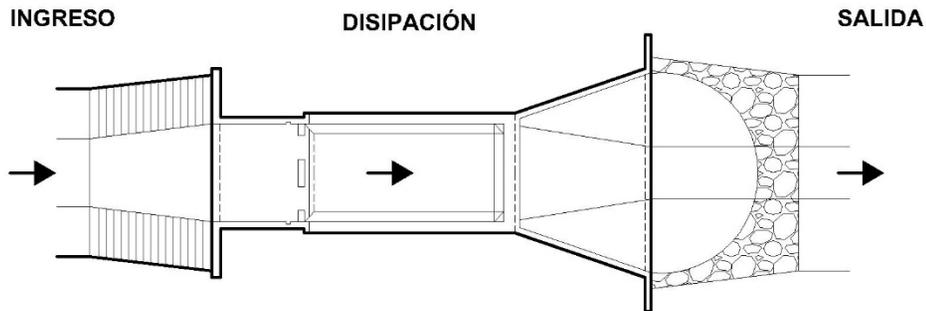
### 3.5.1.6. Dissipador de caída vertical

El *Manual de diseño de obras tipo*, para caudales menores de  $1\text{m}^3/\text{s}$  del Ministerio de Agricultura y Ganadería MAGA indica que para la caída vertical menor se empleará para un gasto máximo de  $1,00\text{ m}^3/\text{s}$ . Su uso permite tomar desniveles entre 1,0 y 2,0 m. La elección de esta obra es alternativa con la caída rectangular inclinada y su adopción dependerá de las condiciones topográficas del lugar donde ella irá situada, del gasto de diseño, ubicación, acceso, etc., quedando a juicio del proyectistas o diseñador la elección de la obra más adecuada.

#### Descripción General

La caída vertical consiste en una caída de parámetro vertical asociada con un depósito de aguas destinado a disipar la energía de la caída.

Figura 27. **Vista en planta, dissipador de caída vertical**

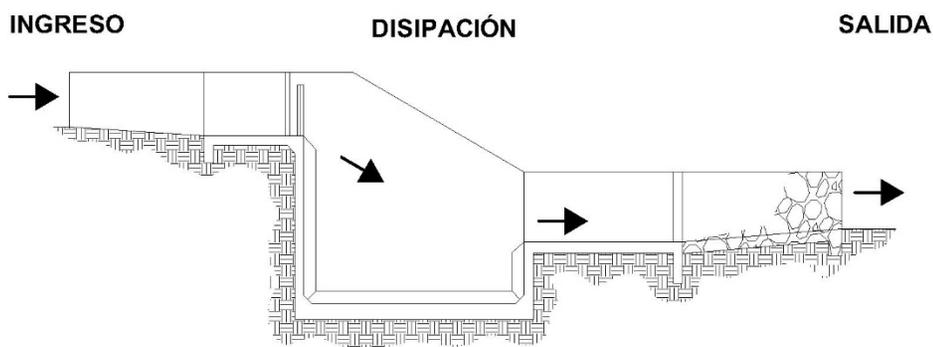


Fuente: MAGA, *Manual de diseño de obras tipo, para caudales menores de 1m<sup>3</sup>/s*, Guatemala 1985.

El caudal que ingrese a la estructura será por medio de un tramo recto de sección rectangular el cual terminara en una sección de control, diseñada para asegurar la altura de escurrimiento normal en el canal de aguas arriba de la obra.

La salida de la obra será una sección rectangular a trapezoidal en hormigón, seguida de una transición en tierra que se protegerá con pedraplén la longitud estipulada en las figuras 27 y 28.

Figura 28. **Vista en elevación, dissipador de caída vertical**



Fuente: MAGA, *Manual de diseño de obras tipo, para caudales menores de 1m<sup>3</sup>/s*, Guatemala 1985.

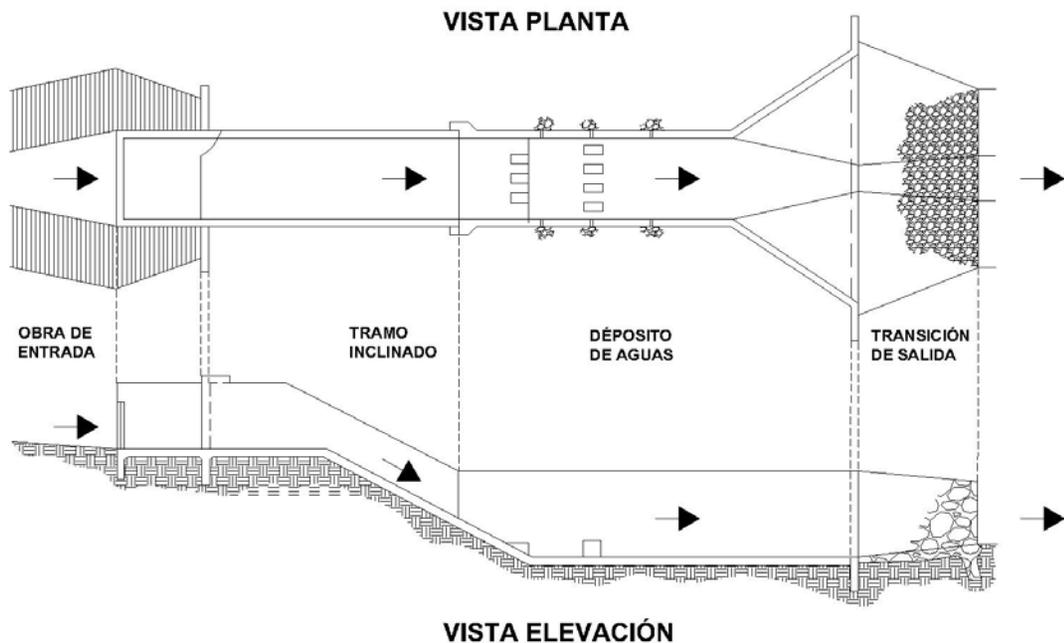
### 3.5.1.7. Disipador de caída rectangular inclinada

Rango de aplicación

La caída rectangular inclinada se empleará para un gasto máximo de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Su uso permite tomar desniveles entre 0 y 4,6 m. la elección de esta obra es alternativa con la caída vertical menor para desniveles de hasta 2 m.

Según el *Manual de diseño de obras tipo*, para caudales menores de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , MAGA, con base a un criterio solamente económico la elección de un disipador de energía recaerá normalmente en la caída vertical.

Figura 29. Disipador de energía de caída rectangular inclinada



Fuente: MAGA, *Manual de diseño de obras tipo, para caudales menores de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$* , Guatemala 1985.



## 4. PROBLEMÁTICA EXISTENTE

Es típico que, en Guatemala, en las construcciones antiguas se desarrollaron muchos alcantarillados combinados con descargas en barrancos o lugares próximos a cuerpos receptores, aprovechando la topografía del terreno por medio de reguladores de caudal. Sin embargo, muchas de estas no cuentan con estructuras adecuadas para su disposición final.

El presente trabajo tiene como finalidad generar una guía y criterios básicos para poder replicar en otros sistemas de reguladores de caudal. Se consideró la Colonia Covias, de la zona 5 como ejemplo, dado que presenta estos problemas. A continuación, se presenta la ubicación del regulador de caudal

Figura 30. Ubicación del regulador de caudal



Fuente: EMPAGUA, *Unidad de Diseño de Agua y Alcantarillado*, 2008.

Figura 31. **Fotografía Regulador de caudal, colonia Covias**



Fuente: EMPAGUA, *Unidad de Diseño de Agua y Alcantarillado*, 2008.

Con el crecimiento de la ciudad de Guatemala, muchas viviendas se han construido en barrancos o aledañas a cuerpos receptores. El problema que se presenta en la colonia Covias, es que cuando inicia la temporada de lluvia, la descarga del aliviadero combinado trae como consecuencia los siguientes problemas tales como, la erosión del suelo circundante, la pérdida de terrenos, propiedades, inclusive el colapso del propio alcantarillado, además de la contaminación por desechos sólidos, líquidos y las graves consecuencias que sufre la fauna y flora del cuerpo receptor

Las causas del problema pueden ser variadas, desde una inadecuada planificación del proyecto, hasta una operación y mantenimiento deficiente. Para evitar que esto suceda en los cuerpos receptores es necesario conducir

adecuadamente el agua de lluvia con una baja cantidad de contaminación y un flujo controlado para evitar erosión en los suelos.

Algunos taludes que se encuentran en el lecho del riachuelo se están erosionando debido al caudal pluvial que fluye en el lugar, existe la posibilidad que ocurran derrumbes, afectando directamente algunas viviendas o infraestructura, inclusive vidas humanas como se muestra en la figura 32.

**Figura 32. Talud afectado por erosión**



Fuente: EMPAGUA, *Unidad de Diseño de Agua y Alcantarillado*, 2008.

#### **4.1. Contaminación**

En muchos sistemas de alcantarillado el caudal presenta un problema al momento de su llegada al cuerpo receptor ya que no se cuenta con las estructuras necesarias tales como: cabezales de descarga, disipadores de energía, ni alguna otra estructura que controle y regule el caudal.

Generalmente en las áreas de descarga existe contaminación tanto de las aguas combinadas que no cuentan con planta de tratamiento como de la

población que deposita basura en el lugar; por lo tanto, se tienen desechos sólidos y líquidos. En la figura 33 se logra apreciar la contaminación, tanto de basura, ropa, ripio, etc., que existe a la salida del regulador de caudal de la colonia en cuestión.

**Figura 33. Contaminación descarga regulador de caudal, Covias**



Fuente: EMPAGUA, *Unidad de Diseño de Agua y Alcantarillado*, 2008.

Ante esta situación se ve la necesidad de estudiar la adecuada disposición de las aguas combinadas para evitar la erosión del suelo y que este caudal no afecte a las viviendas y terrenos circundantes, así como al mismo sistema de alcantarillado.

Puntualmente, la propuesta consiste en diseñar las estructuras necesarias que controlen, regulen y conduzcan el caudal apropiadamente, disipando la energía y disminuyendo la contaminación al cuerpo receptor, para lo cual se pretende aprovechar el área circundante al cabezal de descarga del aliviadero.

## 4.2. Erosión

La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento (Figura 34). La erosión puede ser generada, tanto por el agua como por el viento.

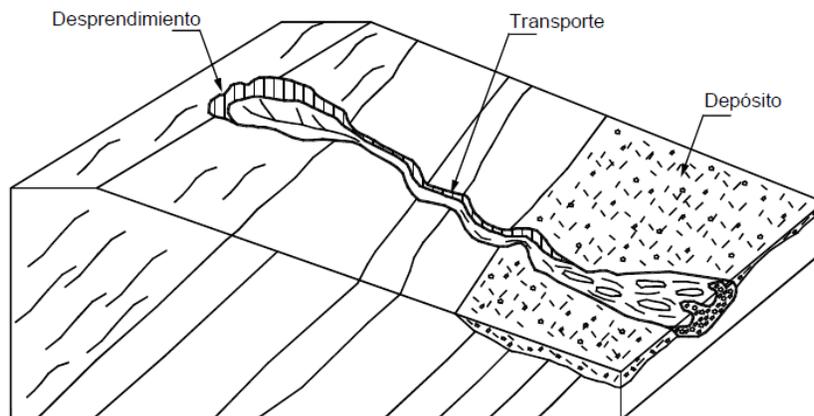
### 4.2.1. Conceptos básicos

Como una regla general las regiones con suelos muy erosionables, pendiente alta, clima seco y fuertes vientos, pero con lluvias intensas ocasionales, sufren las mayores pérdidas por erosión.

Las actividades humanas frecuentemente intensifican o aceleran la tasa de erosión, especialmente por la deforestación o la remoción de la capa vegetal, así como por la concentración de la escorrentía en forma artificial.

La erosión es posiblemente el factor más importante de contaminación del agua en cuanto a volúmenes de contaminantes se refiere.

Figura 34. **Proceso de erosión**



Fuente: SUÁREZ DÍAZ, Jaime, *Control de Erosión en Zonas Tropicales*, p.16.

### **4.3. Erosión provocada por el agua**

La erosión es el resultado de la acción de las fuerzas de fricción de gases o fluidos en movimiento. Estos fluidos pueden ser tanto el viento como el agua.

En el caso de la erosión producida por el agua, el proceso puede analizarse iniciando por el desprendimiento de las partículas de suelo debido al impacto de las gotas de lluvia y al mismo tiempo por el flujo superficial o escorrentía, la cual hace que las partículas removidas sean incorporadas a la corriente y transportadas talud abajo.

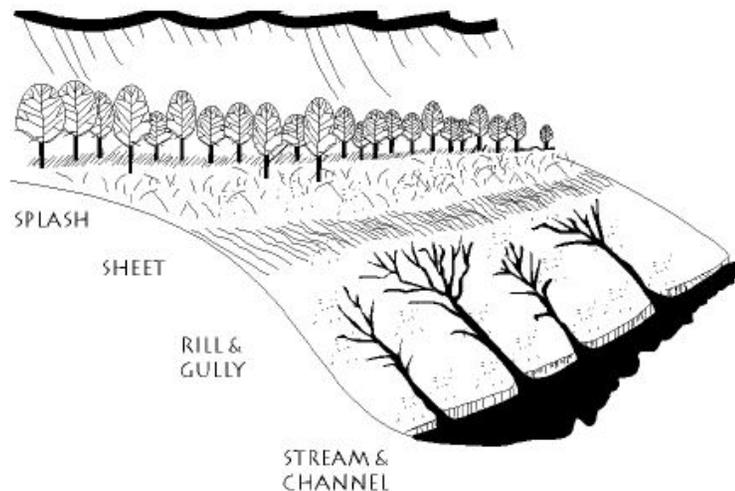
Adicionalmente, las corrientes generan procesos de desprendimiento de partículas por acción de la fuerza del agua en movimiento. Dichos procesos son muy complejos y es común que varios procesos actúen conjuntamente.

#### **4.3.1. Tipos de erosión**

Existen, básicamente, seis tipos de erosión originada por el agua en forma natural las cuales se pueden apreciar en la figura 35.

- Gotas de lluvia (*Rain Splash*)
- Erosión de lámina (*Sheet*)
- Erosión de escorrentía (*Rill*)
- Erosión de barranco (*Gully*)
- Erosión de ribera (*Stream*)
- Erosión de canal (*Channel*)

Figura 35. Tipos de erosiones pluviales



Fuente: UNEP, *The Caribbean Environment Programme*, Technical Report 41.

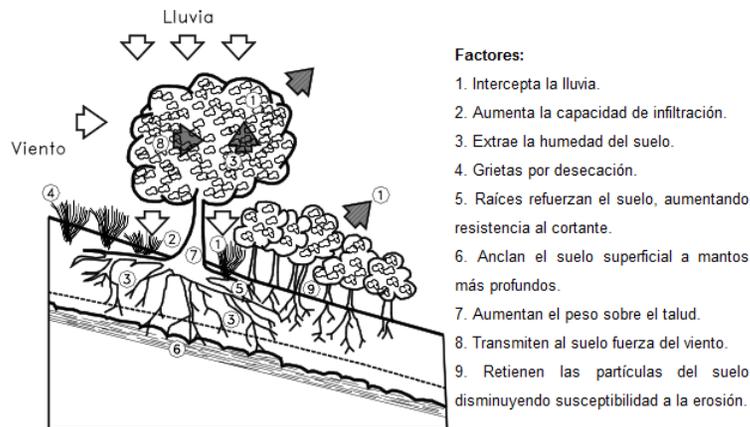
#### 4.3.2. Prácticas para el control de la erosión

Las mejores prácticas de control de la erosión implican mantener el suelo en su lugar. El método más simple y efectivo por costo es mantener una cubierta sobre la superficie del suelo. A continuación, se proponen algunas de las soluciones posibles al problema en orden creciente del nivel de energía y, por lo tanto, de costos.

- Vegetación

Para su implementación deben idealmente seguirse ciertos procedimientos, incluyendo el agregado de fertilizantes y mejoramiento del suelo, para promover el establecimiento de la vegetación. Estos métodos se deben basar en los resultados de un análisis del suelo y relacionados con el tipo de vegetación seleccionada para permanecer largo tiempo.

Figura 36. **Efectos de la vegetación sobre la estabilidad de una ladera**



Fuente: SUÁREZ DÍAZ, Jaime, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, p.276.

La vegetación tiene cuatro funciones principales:

- Interceptar y reducir la energía de impacto de la lluvia
- Reducir la velocidad de escurrimiento
- Filtrar el sedimento y aumentar la entrada de agua
- Mantener el suelo en su lugar mediante las raíces

La deforestación puede afectar la estabilidad de un talud de varias formas:

- Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial
- Se elimina el factor de refuerzo de las raíces
- Se facilita la infiltración masiva de agua

- Mezclas hidráulicas (Hidrosiembra)

Consiste en aplicar una mezcla con semillas para revestir la superficie sobre la cual se aplica. Se pueden hacer con papel reciclado, fibra de madera, desechos de algodón, u otro material biodegradable.

Este es un modo económico de esparcir semillas y fertilizantes mezclados. Las mezclas también protegen la superficie del impacto de la lluvia, aumenta la retención de humedad y modera la temperatura del suelo.

Figura 37. **Hidrosiembra aplicada a taludes de banquetas con protección contra la erosión**



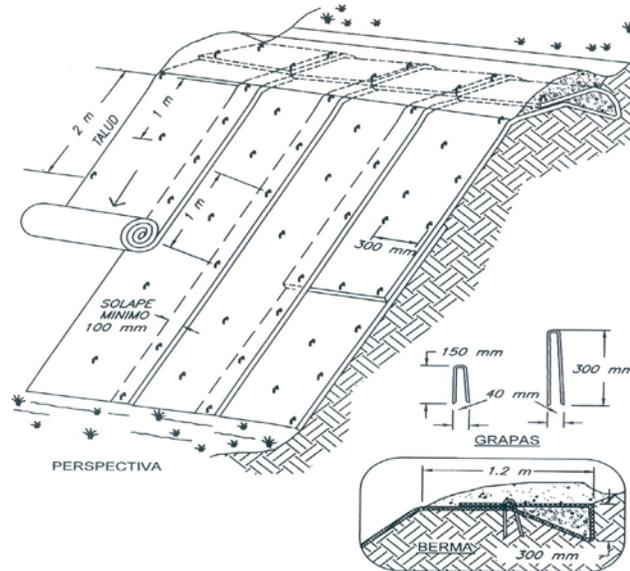
Fuente: ANDEX, *Hidrosiembra aplicada a taludes de banquetas con protección contra la erosión.*

- Mantas

Las mantas para controlar la erosión son diseños arrollados. Una de las formas más antiguas son las mantas de yute natural. La manta se ajusta a la superficie y dura hasta que la vegetación se establece por sí misma, antes de que se degrade. Otro tipo de mantas son las de tejido de fibra de coco. Estas pueden tejerse en diferentes medidas y pesos. Es mucho más resistente que el yute y dura de 4 a 10 años antes de degradarse.

Otros materiales en que pueden presentarse las mantas son: viruta de madera encastrada en una membrana de plástico degradable, paja, materiales sintéticos.

Figura 38. **Geosintéticos, redes o mantas orgánicas**



Fuente: MCCULLAH, *Detalle del procedimiento de instalación de telas y esterillas para control de erosión*, 1996.

#### 4.3.3. Métodos estructurales de control

Este tipo de métodos se utiliza cuando las fuerzas de erosión exceden las capacidades de la forestación para suministrar protección durante un largo período de tiempo.

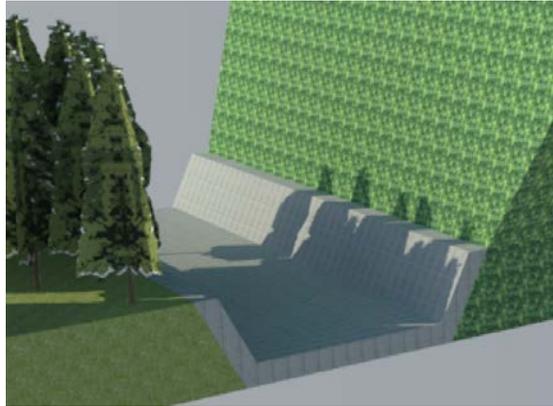
Estos métodos comprenden:

- Revestimientos de hormigón simple y premoldeado

En el caso de hormigón premoldeado se pueden utilizar bloques entrelazados y trabados entre sí. En este caso, los mismos se pueden dejar en su forma natural o rellenar con suelo y asentar.

Estas piezas, además, se pueden instalar sin usar equipos pesados y, por lo tanto, se pueden utilizar en un área de difícil acceso o en proyectos pequeños.

Figura 39. **Revestimiento de hormigón**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp.

- Utilización de Gaviones y colchonetas

Los gaviones consisten en grandes "cajas" rellenas de material rocoso. Las paredes de las mismas están conformadas con una malla metálica, de elevada resistencia mecánica, con doble torsión (que impide que esta se desarme ante el cortado de un alambre).

Son estructuras flexibles y permeables, diseñadas para adaptarse a movimientos de suelos considerables. Se pueden colocar en seco o debajo del agua.

La permanencia en el tiempo se asegura a través de una fuerte galvanización de los alambres (en situaciones particularmente agresivas, además del galvanizado se recubren los alambres con PVC).

Figura 40. **Gaviones**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp.

#### **4.4. Erosión en ríos y corrientes de agua**

Las corrientes de agua son volúmenes de agua en movimiento, los cuales debido a la fuerza tractiva de la corriente pueden producir el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas de suelo o sedimentos tanto en el fondo como en la ribera de la corriente. En la erosión de corrientes de agua se requiere tener en cuenta varios factores:

- Profundización del cauce
- Inestabilidad lateral de la corriente
- Transporte de sedimentos
- Sedimentación
- Olas producidas por el viento
- Deslizamientos en la ribera de las corrientes

- Dinámica fluvial

Los procesos de erosión en los ríos son extraordinariamente complejos y obedecen a fenómenos hidráulicos y geomorfológicos, en los cuales interviene una gran cantidad de variables.

#### **4.5. Socavación**

Consiste en el arrastre de partículas sólidas que constituyen el lecho de un cauce depende del material de arrastre y las características hidráulicas de la corriente.

##### **4.5.1. Tipos de socavación**

La socavación que una corriente de agua produce en el cauce por el que circula puede presentar diversas formas de las cuales las más interesantes para el ingeniero son las que brevemente se describen a continuación.

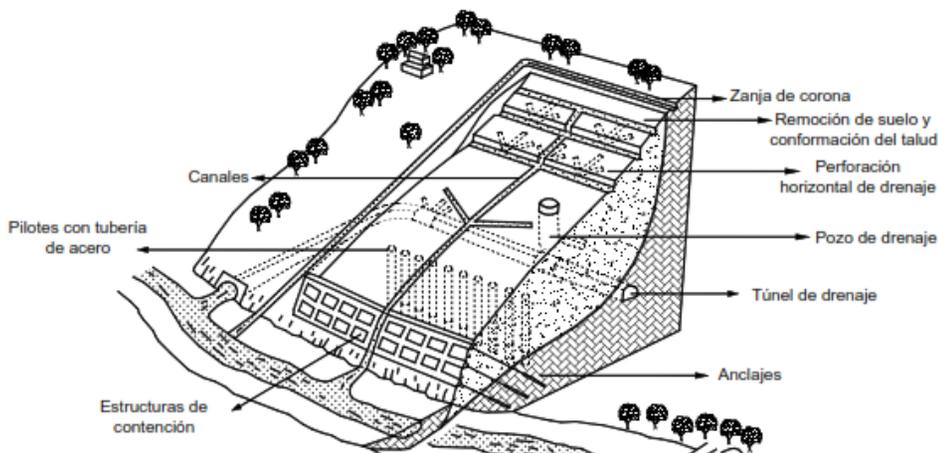
- Socavación normal o general
- Socavación en estrechamiento
- Socavación transversal
- Socavación en curvas

#### **4.6. Estabilización de taludes**

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas, es diseñar medidas de prevención, control, remediación y/o estabilización para reducir los niveles de amenaza y riesgo. La estabilización de los deslizamientos en actividad o potencialmente inestables, la fuerza tractiva del agua y del viento

en movimiento son las principales fuerzas que generan erosión superficial y la fuerza de gravedad es la principal fuerza que produce la erosión en masa.

Figura 41. **Técnicas de remediación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos**



Fuente: SUÁREZ DÍAZ, Jaime, *Deslizamientos: Técnicas de Remediación*, p.1.

#### 4.6.1. Métodos para disminuir o eliminar el riesgo

Una vez estudiado el talud, definidos los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y analizados los factores de equilibrio, se puede pasar al objetivo final que es el diseño del sistema de prevención control o estabilización.

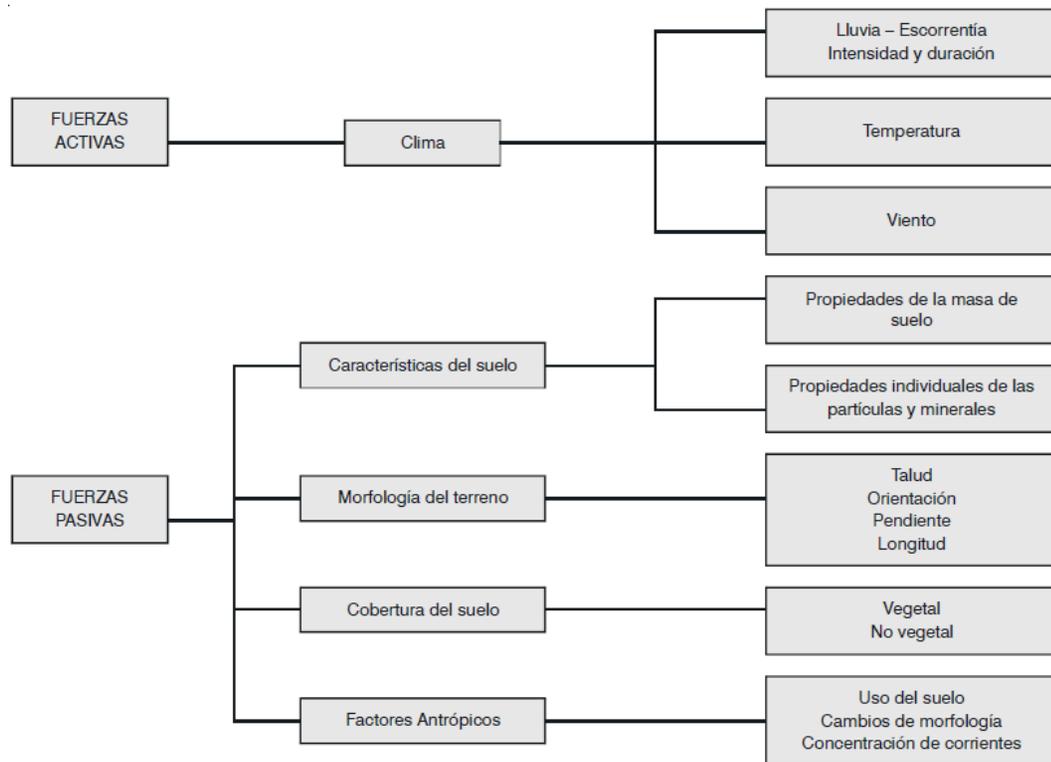
#### 4.6.2. Prevención

La prevención incluye el manejo de la vulnerabilidad, evitando la posibilidad de que se presenten riesgos o amenazas., los factores que afectan la a taludes y laderas se logra apreciar en la figura 42.

La prevención debe ser un programa del estado, en todos sus niveles mediante una legislación y un sistema de manejo de amenazas que permita

disminuir los riesgos a deslizamiento en un área determinada, la tabla V muestra los métodos de prevención de la amenaza.

Figura 42. **Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión de los taludes y laderas**



Fuente: SUÁREZ DÍAZ, Jaime, *Control de Erosión en Zonas Tropicales*, p.59.

Para una adecuada prevención deben existir métodos tendientes a controlar la amenaza activa antes de que se produzca el riesgo a personas o propiedades. Generalmente, consisten en estructuras que retienen la masa en movimiento.

Este tipo de obras se construyen abajo del deslizamiento para detenerlo después de que se ha iniciado (ver tabla VI).

Tabla V. **Métodos de prevención de la amenaza o el riesgo**

Método	Ventajas	Desventajas
Disuasión con medidas coercitivas	Son muy efectivas cuando la comunidad está consciente del riesgo y colaborar con el estado.	El manejo de los factores socioeconómicos y sociales es difícil.
Planeación del uso de la tierra	Es una solución ideal para zonas urbanas y es fácil de implementar.	No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo.
Códigos técnicos	Presenta herramientas precisas para el control y prevención de amenazas.	Se requiere de una entidad que los haga cumplir.
Aviso y alarma	Disminuye en forma considerable el riesgo cuando es inminente.	Generalmente, se aplica después de ocurrido el desastre.

Fuente: SUÁREZ DÍAZ, Jaime, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, p.386.

Tabla VI. **Estructuras de control de masas en movimiento**

Método	Ventajas	Desventajas
Bermas	Generalmente son económicas, rápidas de construir.	Se requiere un espacio grande a mitad del talud.
Trincheras	Sirven al mismo tiempo para controlar las aguas lluvias.	Los cantos fácilmente pasan por encima.
Estructuras de retención	Retienen las masas en movimientos.	Se pueden requerir estructuras algo costosas.
Cubiertas de protección	Son uno de los métodos más efectivos para disminuir el riesgo en carreteras.	Son muy costosas.

Fuente: SUÁREZ DÍAZ, Jaime, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, p.387.

## 5. DISEÑO DE LA DESCARGA PARA EL CONTROL HIDRÁULICO DEL CAUDAL PLUVIAL

Para aplicar todos los conceptos definidos anteriormente se determinó hacer el diseño en la colonia Covias ubicada en la zona 5 de la Ciudad de Guatemala. En el capítulo 4 se hace mención de los problemas e inconvenientes que ocasiona a la colonia la descarga de aguas pluviales.

Actualmente el regulador de caudal del sistema de alcantarillado combinado se encuentra ubicado en la 27 calle final y 35 avenida "A" de la zona 5. En la figura 43, se logra apreciar la ubicación del regulador de caudal. EMPAGUA indica que la profundidad del mismo es de aproximadamente 40 metros.

Figura 43. **Regulador de caudal 27 calle final, zona 5**



Fuente: EMPAGUA, *Unidad de Diseño de Agua y Alcantarillado*, 2008.

La infraestructura de un sistema de saneamiento está constituida por los siguientes elementos: Un cabezal de descarga del regulador de caudal el cual transporta el agua de lluvia captado por el sistema de alcantarillado al cuerpo receptor, estructuras hidráulicas tales como unas rejillas para remoción de

sólidos grandes, un desarenador para partículas finas que se depositarán en el fondo del mismo, un vertedero que pueda permitir la medición del caudal y protección del cauce a su salida para evitar, tanto la contaminación como erosión del suelo.

Actualmente la descarga del regulador de caudal en la colonia Covias no cuenta con sistemas hidráulicos que permitan la limpieza y una mejor conducción del agua proveniente de la precipitación. Esto se puede observar en la figura 44.

**Figura 44. Descarga Regulador de Caudal, Covias**



Fuente: EMPAGUA, *Unidad de Diseño de Agua y Alcantarillado*, 2008.

## **5.1. Ubicación y localización del proyecto**

### **5.1.1. Topografía**

En la 27 calle final de la zona 5 se encuentra ubicado un regulador de caudal, el cual desfoga su afluente al Rio Negro, en el tramo inicial de la descarga del regulador de caudal se plantea el diseño de las estructuras hidráulicas de control, regulación y conducción del caudal “pluvial”.

### 5.1.2. Áreas de influencia

El área de influencia a la descarga del regulador de caudal es de es de 3,2 hectáreas (Ha). Que abarca de la 23 calle "A" y diagonal 14 a la 27 calle "A" y de la 29 avenida a la 35 avenida de la zona 5.

Figura 45. Áreas de influencia



Fuente: EMPAGUA, Archivo Técnico.

En la figura 45 se presenta el área influencia que recolecta las aguas lluvias de un sector de la zona 5, las cuales desfogan por medio del regulador de caudal al cauce que se encuentra en la colonia Covias.

### 5.1.3. Puntos de desfogue

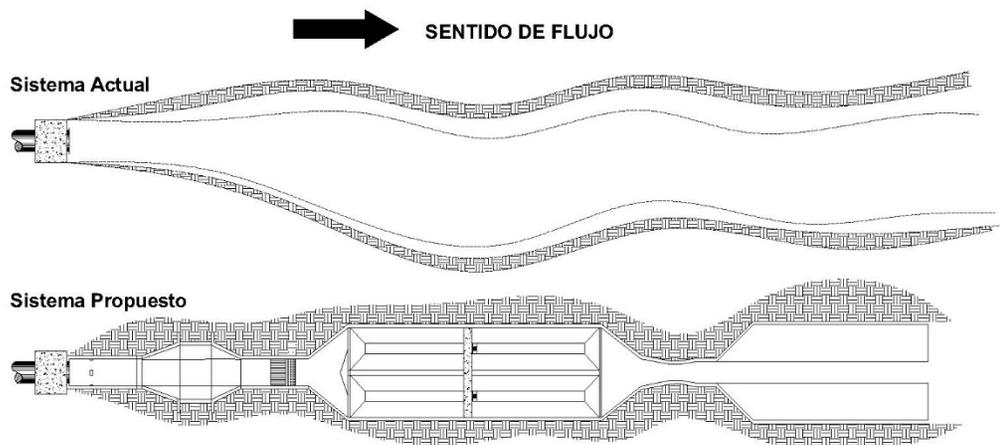
El punto de desfogue se ubica en las coordenadas latitud  $14^{\circ}37'20,0''N$  y longitud  $90^{\circ}29'48,8''W$ , que es un zanjón afluente al río negro, el cual es afluente

del río Las Vacas. La descarga del regulador de caudal al cuerpo receptor (Río Negro) se encuentra a 346 metros aproximadamente.

## 5.2. Parámetros de las estructuras hidráulicas

Por sus características propias las aguas pluviales, arrastran arenas, desechos sólidos, suelos, rocas, materia orgánica y, al combinarse con las aguas residuales, se incrementa su contaminación.

Figura 46. Sistema actual y sistema hidráulico propuesto



Fuente: STEWART, Oakley, elaboración propia con base en el libro de *Tratamiento de aguas residuales en Centroamérica*. p.50.

El objetivo de estas estructuras es evitar que mucha de esta contaminación llegue al cuerpo receptor.

Para remover del agua estos materiales que no se desea que lleguen al cuerpo receptor, se utilizan unidades de tratamiento que realizan operaciones físicas e hidráulicas como se logra apreciar en la figura 46.

El correcto diseño para el control, regulación y conducción del caudal son aspectos de suma importancia, puesto que cualquier deficiencia repercute negativamente en el funcionamiento de la estructura. Esto puede provocar obstrucciones en el canal, acumulación de arenas, pérdidas de rendimientos y otros.

El funcionamiento de esta estructura dependerá de la calidad del agua de entrada, la intensidad de lluvia, la operación y mantenimiento que se le esté dando constantemente.

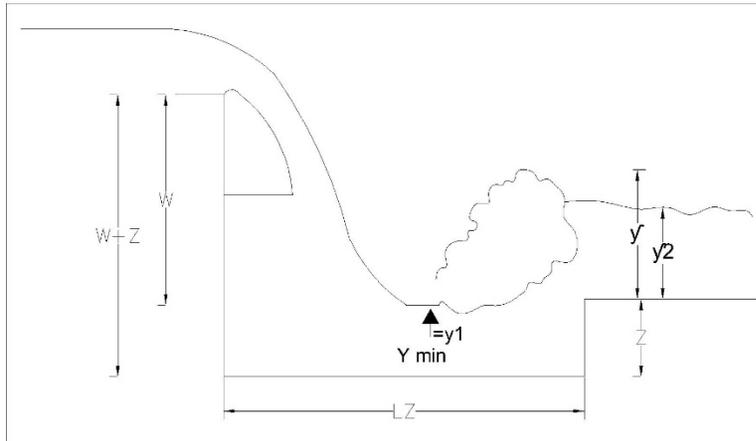
### **5.2.1. Unidades hidráulicas para regulación, control y medición**

Para poder entender las unidades que se van a diseñar es importante conocer la estructura que permite obtener el caudal de diseño y este consta de un regulador de caudal o vertedero de demasías el cual tiene como función la separación teórica de agua residual y agua pluvial.

Al derivar las aguas de lluvia estas se verán contaminadas en parte por el arrastre de sólidos gruesos, arenas y aguas residuales, es por ello la importancia de las estructuras que se proponen (disipador, cribado, desarenador y un canal Parshall) para poder medir el caudal y obtener una mejor calidad del agua que se vierte al cuerpo receptor.

- **Disipador de energía:** Los disipadores de energía se usan para transformar la energía cinética del flujo de agua y de esta forma evitar los efectos destructivos de la energía que pueda transmitir el agua.

Figura 47. **Disipador de energía de caída vertical**

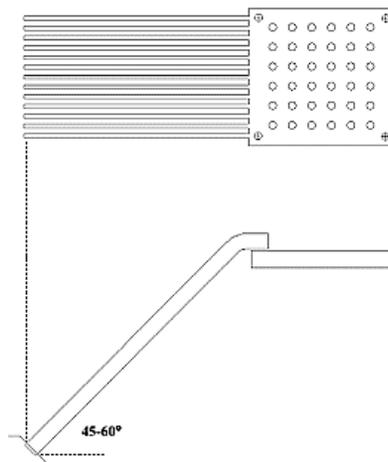


Fuente: Elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Canal de rejillas: Tiene como objetivo la remoción de los materiales gruesos, desechos sólidos, que puedan llegar al río.

La unidad está formada por barras metálicas separadas entre sí en claros libres de 1 a 5 cm (regularmente 2,50 cm) colocadas en un ángulo de  $30^\circ$  a  $60^\circ$  respecto al plano horizontal.

Figura 48. **Detalle de rejilla**

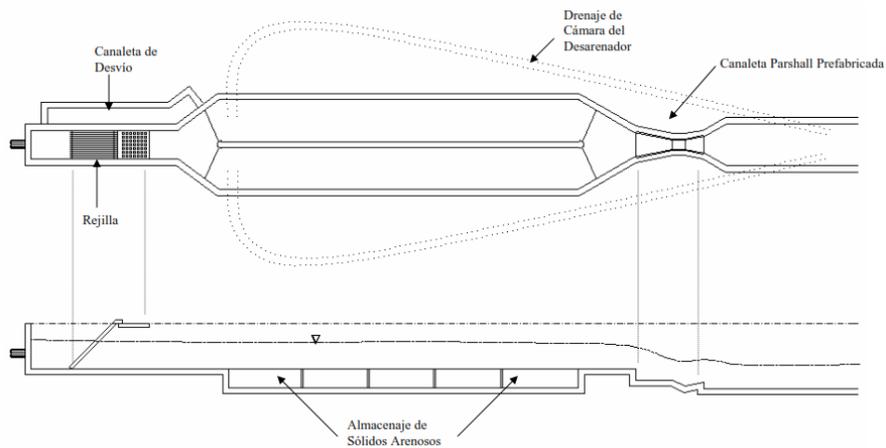


Fuente: STEWART, Oakley. *Tratamiento de aguas residuales en Centroamérica*. p.46.

Las rejas serán de limpieza manual e irán equipadas con una bandeja que permite escurrir al canal el exceso de agua del material removido. La disposición final de los sólidos separados por este sistema deberá ser: enterrándolos o incinerándolos.

- Desarenador: Tiene por objeto separar los sólidos inorgánicos como arenas y gravas. Las arenas pueden causar daños por sus características abrasivas. El desarenador removerá las partículas superiores a 0,20 mm y está formado por un canal donde las partículas se separan del líquido por acción de la gravedad.

Figura 49. Canal de rejas, desarenador y canaleta Parshall



Fuente: STEWART, Oakley. *Tratamiento de aguas residuales en Centroamérica*. p. 44.

- Canal Parshall: El objetivo de la Canaleta Parshall es el de poder determinar el caudal que se está conduciendo en dicho efluente al cuerpo receptor:
  - Entrada
  - Garganta
  - Salida

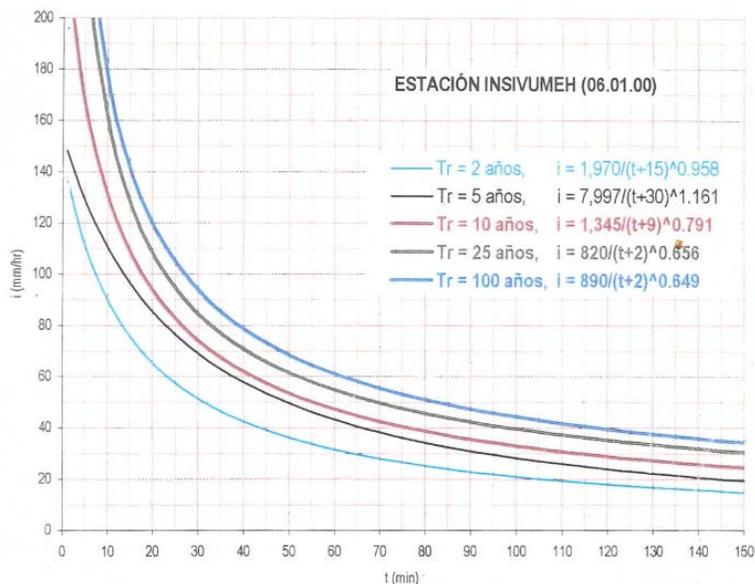
### 5.3. Diseño de unidades

El diseño consta de 4 unidades los cuales son: dissipador de energía, canal de rejas, desarenador y un canal Parshall, adicional un canal de conducción y protección del cauce de salida. Para lo cual se utilizarán criterios de diseño, que nos proporciona la Hidrología y la Ingeniería Sanitaria.

#### 5.3.1. Cálculos previos

Para determinar el caudal pluvial de diseño se utilizarán las curvas de intensidad, duración y frecuencia del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), para la ciudad de Guatemala, la cual se logra apreciar en la figura 50. Para realizar un análisis de sensibilidad de acuerdo a los caudales estimados y dimensionar adecuadamente las estructuras hidráulicas.

Figura 50. Estación INSIVUMEH



Fuente: Estación INSIVUMEH (06,01,00).

### 5.3.1.1. Determinación del caudal pluvial

Se utilizarán intensidades de lluvia para un tiempo de retorno de 2, 10 y 25 años, para poder realizar el diseño de las estructuras. Se utilizará el método racional para el cálculo del caudal pluvial.

$$Q = \frac{CiA}{360} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

Q = caudal pluvial, en m<sup>3</sup>/s

C = coeficiente de impermeabilidad (escorrentía)

i = intensidad de la precipitación mm/hr

A = área, en hectáreas

### 5.3.1.2. Intensidad de lluvia

Intensidad de lluvia es el espesor de lámina de agua caída por unidad de tiempo; suponiendo que el agua permanece en el sitio donde cayó. Se mide en mm/hr. Para el presente trabajo utilizaremos la intensidad de lluvia correspondiente a la estación INSIVUMEH.

La intensidad de lluvia con una probabilidad de ocurrencia de 25 años es:

$$i = \frac{820}{(t+2)^{0,656}} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

t = tiempo de concentración

### 5.3.1.3. Tiempo de concentración

Tiempo de concentración es el tiempo que emplea el agua superficial para

descender desde el punto más remoto de la cuenca hasta la sección en estudio. Empagua recomienda un tiempo de concentración de 12 minutos.

#### 5.3.1.4. Coeficiente de escorrentía

Es el porcentaje del agua total llovida tomada en consideración, puesto que no todo el volumen de precipitación pluvial drena por medio de la alcantarilla natural o artificial. Esto se debe a la evaporación, infiltración, detención en oquedades del suelo, etc.

Por lo que existirá diferente coeficiente para cada tipo de terreno, el cual será mayor cuando más impermeable sea la superficie según se muestra en la tabla VII.

En el presente caso se utiliza un coeficiente promedio de 0,80 para pavimentos de asfalto en buen estado y pavimentos de concreto en buen estado.

Tabla VII. **Coeficientes de impermeabilidad**

Tipo de superficie	Factor "c.i."
Superficies impermeables de techos	0.75 a 0.95
Pavimentos de asfalto en buen estado	0.85 a 0.90
Pavimentos de concreto en buen estado	0.70 a 0.90
Pavimentos de piedra o ladrillo con buenas juntas	0.75 a 0.85
Pavimentos de piedra o ladrillo con juntas permeables	0.40 a 0.70
Calles macadamizadas (empedradas)	0.25 a 0.60
Parques, canchas, jardines, prados, etc.	0.05 a 0.25
Suelos impermeables con pendientes del 1 % al 2 %.	0.40 a 0.65
Suelos impermeables con césped y pendientes del 1 % al 2 %.	0.30 a 0.55
Suelos ligeramente permeables con pendientes del 1 % al 2 %.	0.15 a 0.40
Suelos ligeramente permeables con césped y pendientes del 1 % al 2 %.	0.10 a 0.30
Suelos moderadamente permeables con pendientes del 1 % al 2 %	0.05 a 0.20
Suelos moderadamente permeables con césped y con pendientes del 1 % al 2 %	0.01 a 0.10
Bosques y tierras cultivadas	0.01 a 0.20

Fuente: EMPAGUA, *Reglamento de Diseño de Alcantarillado*. Guatemala, 1963.

### 5.3.2. Parámetros de diseño

Se determinará el caudal para un aguacero con duración de 12 minutos por medio de las curvas de intensidad, duración y frecuencia, utilizando los datos de la estación INSIVUMEH para un tiempo de retorno de 25 años y el área de influencia descrito en el punto 5,1,2, adicional para la realización de los cálculos se utilizaron parámetros dados en el reglamento de Empagua, obteniendo los siguientes resultados:

- Población

Para el cálculo de población se tienen los siguientes datos.

Densidad de población: 470 hab/Ha

Área: 3,2 Ha

$$Población = Densidad * Área \quad Ec,8$$

$$Población = 470 \text{ (hab/Ha)} * 3,2 \text{ (Ha)}$$

$$Población = 1\ 500 \text{ habitantes}$$

- Cálculo de caudales

- Caudal Doméstico

Para el cálculo del caudal domestico se tienen los siguientes datos.

Dotación: 170 lts/hab/día

Factor de retorno: 0,80

Población: 1 500 habitantes

$$Q_{doméstico} = \frac{Dotación * Factor \ de \ retorno * Población}{86\ 400} \quad Ec,9$$

$$Q_{doméstico} = (170 \text{ (lts/hab/día)} * 0,80 * 1\ 500 \text{ (habitantes)}) / 86\ 400$$

$$Q_{doméstico} = 2,36 \text{ lts/s}$$

- o Caudal Comercial

Dentro del área de influencia del regulador de caudal se puede identificar tres restaurantes, para el cálculo del caudal se utilizaron las tablas de caudales comerciales e institucionales (ver anexo 5) de Metcalf & Eddy.

Dotación restaurante: 30 litros/día/silla

No. Restaurantes: 3

Sillas restaurante 1: 60

Sillas restaurante 2: 40

Sillas restaurante 3: 20

$$Q_{comercial} = \frac{Dotación * Número de sillas}{86\ 400} \quad Ec,10$$

$Q_{comercial} = ((30\text{Lts/día/s} * 60\text{ sillas}) + (30\text{Lts/día/s} * 40\text{ sillas}) + (30\text{Lts/día/s} * 20\text{ sillas})) / 86\ 400$

$Q_{comercial} = 41,66\text{ Lts/s}$

- o Caudal Institucional

El caudal institucional de la Escuela Oficial Urbana de Varones No. 20, República de Ecuador, con datos de la ficha escolar del Ministerio de Educación (año 2016, código 00-05-0406-43), se cuenta con una población de 347 alumnos y 14 docentes para una suma de 361 personas de población total.

Dotación institución: 20 litros/día/estudiante

Población total: 361 estudiantes

$$Q_{institucional} = \frac{Dotación * Estudiantes}{86\ 400} \quad Ec. 11$$

$Q_{institucional} = ((20\text{Lts/día/es} * 361\text{ estudiantes})) / 86\ 400$

$Q_{institucional} = 83,56\text{ Lts/s}$

- Caudal Sanitario

Es la suma de los diferentes caudales calculados anteriormente:

$$Q_{\text{sanitario}} = Q_{\text{dom}} + Q_{\text{com}} + Q_{\text{inst}} \quad \text{Ec. 12}$$

$$Q_{\text{sanitario}} = 2,36 \text{ lts/s} + 41,66 \text{ lts/s} + 83,56 \text{ lts/s}$$

$$Q_{\text{sanitario}} = 127,58 \text{ lts/s} \approx 130 \text{ lts/s}$$

- Caudal Pluvial

Para el cálculo del caudal pluvial se utiliza la ecuación  $Q = \frac{CIA}{360}$ , con los siguientes datos.

- Mínimo

Tiempo de retorno: 2 años

Tiempo de concentración: 12 minutos

Área: 3,2 Ha

Intensidad de lluvia: 83,80 mm/hr

Escorrentía (C): 0,80

$$Q_{\text{pluvial}} = ((0,80) * (83,80 \text{ mm/hr}) * (3,2 \text{ Ha})) / 360$$

$$Q_{\text{pluvial}} = 0,60 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Máximo

Tiempo de retorno: 25 años

Tiempo de concentración: 12 minutos

Área: 3,2 Ha

Intensidad de lluvia: 145,20 mm/hr

Escorrentía (C): 0,80

$$Q_{\text{pluvial}} = ((0,80) * (145,20 \text{ mm/hr}) * (3,2 \text{ Ha})) / 360$$

$$Q_{\text{pluvial}} = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 5.4. Diseño de las estructuras

### 5.4.1. Disipador de energía

Para el diseño del disipador de energía se utilizó el *Manual de diseño de obras tipo, del Ministerio de Agricultura (MAGA)*.

Se definen los siguientes valores en base al cabezal de descarga:

Caudal mínimo (q)	0,60 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo (Q)	1,0 m <sup>3</sup> /s
Ancho (b)	150 cm
Desnivel (He)	0,85 m
*H	100 cm
*Obra tipo (CVM)	150
Nivel Normal Aguas Máximas (Ha)	0,70 m

\* Valores dados en tablas, anexo 2.

Posteriormente se procede a realizar los cálculos correspondientes:

Determinar cota a la entrada de la obra

- X = Cota nivel de terreno

$$X = 100$$

$$NNAM1 = X + Ha$$

$$NNAM1 = 100 + 0,7$$

$$NNAM1 = 100,7 \text{ m}$$

- Cota a la salida de la obra

$$NNAM2 = NNAM1 - He$$

$$NNAM2 = 100,7 - 0,85$$

$$NNAM2 = 99,85 \text{ m}$$

- Cota de fondo del canal (Y)

$$Y = NNAM2 - Ha$$

$$Y = 99,85 - 0,7$$

$$Y = 99,15$$

- Cota de radier a la entrada (Z)

CVM 150 = Selección realizada en base a los rangos de caudal de ingreso, Ref.

Cuadro No. 3 (anexo 2)

*Obra tipo CVM (Caída vertical menor) 150*

H0 = Selección en base al ancho "b", Ref. Cuadro No. 2 (anexo 2)

*H0 = 0,75 m*

$$Z = NNAM1 - H0$$

$$Z = 100,7 - 0,75$$

$$Z = 99,95 \text{ m}$$

- Cota de radier del tanque dissipador (R)

H1 = Selección en base al tipo de Obra, Ref. Cuadro No. 1 (anexo 2)

*Obra tipo CVM 150-100*

*H1 = 2,85 m*

$$R = NNAM1 - H1$$

$$R = 100,7 - 2,85$$

$$R = 97,85$$

- Cota de radier a la salida (W)

H3 = Selección en base al tipo de Obra, Ref. Cuadro No. 1 (anexo 2)

*Obra tipo CVM 150-100*

**H3 = 0,70 m**

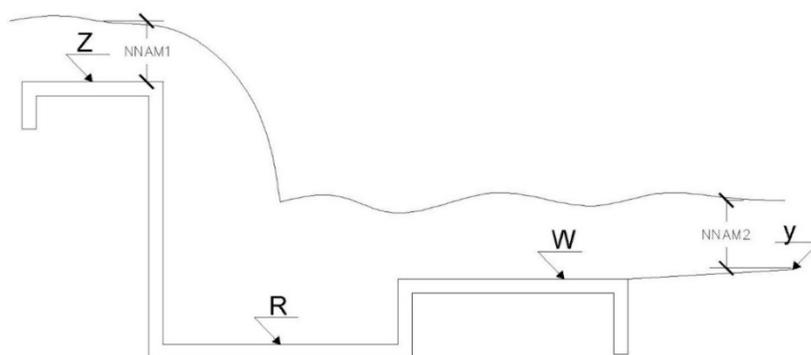
$$W = R + H3$$

$$W = 97,85 + 0,7$$

$$W = 98,55 \text{ m}$$

Con los datos calculados se procede a realizar el diseño del dissipador de energía como se puede observar en la figura 51.

Figura 51. Esquema, dissipador de energía de caída vertical



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

#### 5.4.2. Diseño del Sistema Hidráulico

- Selección del ancho de garganta de la canaleta Parshall,  $W$

Se seleccionó el ancho de garganta,  $W$  de 0,915 m, ya que su rango de medición se encuentra entre un mínimo de 0,0173 a un máximo de 1,4272 m<sup>3</sup>/s

Figura 52. Rango de Caudales para Canaletas Parshall

Ln	W	A	2/3 A	Wc	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	Caudal Flujo Libre	
																		Min	Max
7.00	7.60	46.70	31.10	19.80	45.70	17.80	25.90	61.00	15.20	30.50	2.50	5.70	40.60	30.50	76.80	2.50	3.80	0.0008	0.0538
15.00	15.20	62.10	41.40	31.50	61.00	39.40	39.70	61.00	30.50	61.00	7.60	11.40	40.60	30.50	90.20	7.60	7.60	0.0014	0.1104
22.00	22.90	88.00	58.70	46.00	86.40	38.10	57.50	76.20	30.50	45.70	7.60	11.40	40.60	30.50	108.00	7.60	7.60	0.0025	0.2520
30.00	30.50	137.20	91.40	66.50	134.30	61.00	84.50	91.40	61.00	91.40	7.60	22.90	50.80	38.10	149.20	7.60	7.60	0.0031	0.4559
45.00	45.70	144.80	96.50	83.60	134.30	76.20	102.60	91.40	61.00	91.40	7.60	22.90	50.80	38.10	167.60	7.60	7.60	0.0042	0.6966
60.00	61.00	152.40	101.60	120.30	149.50	91.40	149.90	91.40	61.00	91.40	7.60	22.90	50.80	38.10	185.40	7.60	7.60	0.0119	0.9373
90.00	91.50	167.60	111.80	135.30	164.50	121.90	157.20	91.40	61.00	91.40	7.60	22.90	50.80	38.10	222.30	7.60	7.60	0.0173	1.4272
120.00	121.90	182.90	121.90	169.80	179.40	152.40	193.70	91.40	61.00	91.40	7.60	22.90	61.00	45.70	271.10	7.60	7.60	0.0368	1.9227
150.00	152.40	198.10	132.10	204.30	194.30	182.90	230.20	91.40	61.00	91.40	7.60	22.90	61.00	45.70	308.00	7.60	7.60	0.0453	2.4239
180.00	182.90	213.40	142.30	238.80	209.20	213.40	266.70	91.40	61.00	91.40	7.60	22.90	61.00	45.70	34.20	7.60	7.60	0.0736	2.9308
210.00	213.40	228.60	152.40	273.30	224.20	243.80	303.20	91.40	61.00	91.40	7.60	22.90	61.00	45.70	381.00	7.60	7.60	0.0850	3.4377
240.00	243.80	243.80	162.60	307.70	239.10	274.30	339.70	91.40	61.00	91.00	7.60	22.90	61.00	45.70	417.20	7.60	7.60	0.0991	3.9502

Fuente: CEPIS/OPS, *Plantas de tratamiento, Manual II, Capítulo 2, Mezcladores*, p.59.

- Carga máxima en el canal del desarenador  $H_{m\acute{a}x}$

$$H_{m\acute{a}x} = \left[ \frac{1,1 * Q_{m\acute{a}x}}{2,27 * W} \right]^{0,667}$$

$$H_{m\acute{a}x} = \left[ \frac{1,1 * 1}{2,27 * 0,915} \right]^{0,667}$$

$$H_{m\acute{a}x} = 0,654 \text{ m}$$

Para efectos de dise\u00f1o se utilizar\u00e1 una  $H_{m\acute{a}x} = 1,55 \text{ m}$ .

- Calcular R y Cr

$$R = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{Q_{m\acute{i}n}}$$

$$R = \frac{1}{0,60} = 1,66$$

$$C_r = \frac{R^{1/3} - 1}{R}$$

$$C_r = \frac{1,66^{1/3} - 1}{1,66} = 0,11$$

- Calcular el resalto Z

$$Z = C_r * H_{m\acute{a}x}$$

$$Z = 0,11 * 1,66 = 0,17 \text{ m}$$

- Calcular la profundidad m\u00e1xima de agua en el canal del desarenador  $P_{m\acute{a}x}$

$$P_{m\acute{a}x} = H_{m\acute{a}x} - Z$$

$$P_{m\acute{a}x} = 1,55 - 0,17 = 1,38 \text{ m}$$

- Calcular el ancho del canal del desarenador

$V_{max}$  = velocidad horizontal m\u00e1xima a trav\u00e9s del desarenador 0,3 m/s

$$a_d = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{P_{m\acute{a}x} * V_{m\acute{a}x}}$$

$$a_d = \frac{1}{1,38 * 0,30} = 2,42 \text{ m} \approx 2,50 \text{ m}$$

- Determinación del factor  $C_v$

$$C_v = 2,6 * C_r^{0,5} (1 - C_r)$$

$$C_v = 2,6 * 0,11^{0,5} (1 - 0,11) = 0,70$$

- Escoger largo del canal de desarenador

$$13,5 \text{ m} \leq L \leq 18 * C_v$$

$$13,5 \text{ m} \leq L \leq 18 * 0,84$$

$$13,5 \text{ m} \leq L \leq 13,88$$

$$L = 13,75 \text{ m}$$

- Calcular el volumen y la profundidad de sólidos arenosos acumulados

$$t_{op} = \text{tiempo entre limpiezas} = 7 \text{ días}$$

$$C_{sa} = \text{carga de sólidos arenosos} = 0,085 \text{ m}^3 / 1,000 \text{ m}^3$$

$$V_{sa} = \frac{t_{op} * Q_{medio} * C_{sa}}{1,000}$$

$$V_{sa} = \frac{7 * 1\,260 * 0,085}{1\,000} = 0,74 \text{ m}^3$$

$$P_{sa} = \frac{V_{sa}}{a_d * L}$$

$$P_{sa} = \frac{0,74}{2,50 * 14,5} = 0,020 \text{ m}$$

Con base al manual *Tratamiento de Aguas Residuales*, y dado que el agua lluvia que se vierte por el regulador de caudal cuenta con una dilución de aguas

residuales, se adopta un sistema para remover solidos arenosos por medio de un sedimentador, adicional se diseña la cota del canal aguas abajo de la canaleta Parshall para que la carga en el canal sea  $\leq 0.60$  de la carga en el desarenador ( $H_{m\acute{a}x}$ ), todas las medidas con referencia a la base de canaleta Parshall, para asegurar flujo libre en la canaleta Parshall.

- Determinar el ancho y abertura,  $a_b$  y  $e_b$ , de las barras de la rejilla

$$a_b = 10 \text{ mm}$$

$$e_b = 50 \text{ mm}$$

- Calcular el ancho,  $a_{canal}$  del canal de aproximaci3n antes de la rejilla

$$a_{canal} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{0,6 P_{m\acute{a}x}} * \left[ \frac{a_b + e_b}{e_b} \right]$$

$$a_{canal} = \frac{1}{0,6 * 1,32} * \left[ \frac{10 + 50}{50} \right]$$

$$a_{canal} = 1,50 \text{ m}$$

- Calcular la velocidad en el canal de aproximaci3n y las p3rdidas de carga a trav3s de la rejilla

$$v_a = \frac{0,6}{\left( \frac{a_b + e_b}{e_b} \right)}$$

$$v_a = \frac{0,6}{\left( \frac{10 + 50}{50} \right)}$$

$$v_a = 0,50 \text{ m/s}$$

La velocidad de aproximaci3n

$$h_f = \frac{1}{0,7} \left[ \frac{v_R^2 - v_a^2}{2g} \right]$$

$$h_f = \frac{1}{0,7} \left[ \frac{0,6^2 - 0,5^2}{2 * 9,81} \right]$$

$$h_f = 0,008 \text{ m}$$

- Para el diseño se definen los parámetros físicos (Ref. anexo 3)

Tabla VIII. **Diseño para Desarenadores Horizontales**

Parámetro	Norma Recomendada
Velocidad horizontal	$V_{max} = 0,3 \text{ m/s}$ $V_{min} \geq 0,80 v_{max}$
Velocidad de sedimentación	0,02 m/s (partículas de 0,2 mm)
Forma de la sección transversal	Rectangular
Tiempo de retención hidráulica	$\geq 60 \text{ s}$ para $V_{min}$ $V_{min} = 0,3 C_v$ $\geq 45 \text{ s}$ para $V_{max} - V_{max} = 0,3 \text{ m/s}$
Largo de canal	13,75 m
Sección de control de velocidad	Canaleta Parshall prefabricada de flujo libre
Carga en el canal aguas abajo la canaleta Parshall para asegurar flujo libre	$\leq 60 \%$ de la carga en el desarenador
Número de canales	Dos en paralelo (de ser necesario uno en operación y otro para limpieza)

Fuente: elaboración propia

Tabla IX. **Diseño de rejillas**

Parámetro	Norma Recomendada
Forma de barra	Rectangular
Ancho de barra	10 mm
Espesor de barra	25 mm
Espaciamiento (abertura) entre barras	50 mm
Inclinación con la vertical	45°
Material de construcción de barras y plataforma de drenaje	Acero inoxidable
Velocidad de aproximación	0,50 m/s
Tiempo de retención en canal de aproximación	$\geq 3 \text{ s}$
Largo de canal de aproximación	$\geq 1,35 \text{ m}$
Velocidad a través de las barras	$\leq 0,5 \text{ m/s}$
Pérdida de carga máxima	0,15 m
Cantidades de material retenido	0,085 m <sup>3</sup> /(1,000 m <sup>3</sup> )
Disposición final de residuos	En fosa a un costado de la estructura

Fuente: elaboración propia

### **5.4.3. Operación y mantenimiento de las unidades**

La buena operación y mantenimiento de las unidades hidráulicas es muy importante para que funcionen adecuadamente. Las principales actividades a llevar a cabo son:

- Canal de rejas

Efectuar la limpieza manual de las rejas por medio de un rastrillo las veces que sean necesarias de acuerdo a la temporada lluviosa. Depositar los residuos que se extraigan en los cestillos perforados dispuestos para tal efecto, con objeto de conseguir su escurrido para su disposición final.

Revisar constantemente si existe corrosión, asimismo se debe lijar y pintar para su mantenimiento preventivo.

- Desarenador

En invierno se debe limpiar las veces que sea necesario, retirar el material depositado en el fondo del canal (arenas), desviando el flujo por medio de compuertas y dejando los residuos depositados en el fondo. Ya seco el material, puede procederse a la extracción del mismo. Para esta operación se requiere el empleo de una pala, un recipiente para el depósito provisional de las arenas y de la vestimenta adecuada (guantes, gafas y otros).

Comprobar el correcto funcionamiento y estanqueidad de las compuertas ubicadas en los canales desarenadores que permiten derivar el caudal pluvial hacia el canal que se encuentre en operación.

Revisar si en las compuertas existe corrosión, de encontrarse se deberá lijar y pintar con pintura anticorrosiva, para un mantenimiento preventivo.



## 6. PRESUPUESTO

### 6.1. Cuantificación de los materiales

Tabla X. Presupuesto de materiales

<i>MATERIALES</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Sub - Total</i>
Concreto Premezclado 4 000 PSI	44	m3	Q 70 400,00
Canaleta Parshall Prefabricada (Fibra de vidrio)	1	Pieza	Q 24 500,00
Madera para formaleta	8 000	pie tabla	Q 52 000,00
Geomanta de Prolipropileno, permanente	63	m2	Q 5 111,19
Compuerta metalica 2,5m * 2,0 m	2	Pieza	Q 30 000,00
Clavo con cabeza de 2"	2	qq	Q 1 200,00
Clavo con cabeza de 3"	2	qq	Q 1 200,00
Hierro corrugado de 20' de 1" grado 40	236	qq	Q 82 600,00
Hierro corrugado de 20' de 13/8" grado 40	280	qq	Q 106 400,00
Alambre de amarre	52	qq	Q 27 300,00
Total de Materiales			Q 400 711,19

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Presupuesto de herramienta

<i>HERRAMIENTA</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Sub - Total</i>
Para Sistemas de Alcantarillado (Piochas, palas, barretas, carretas, etc.)	1	Global	Q 1 000,00
Total de Herramienta			Q 1 000,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Presupuesto de equipo

<i>EQUIPO</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Sub - Total</i>
Para Sistemas de Alcantarillado (Casco, botas, guantes, cinturones, gafas, etc.)	1	Global	Q 800,00
Total de Equipo			Q 800,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Presupuesto de maquinaria**

<b>MAQUINARIA</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Sub - Total</b>
Para Sistemas de Alcantarillado (Vibrocompactadora, etc.)	1	Global	Q 3 000,00
Total de Maquinaria			Q 3 000,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Presupuesto de flete**

<b>FLETE</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Sub - Total</b>
Camión de volteo	1	2	Q 2 400,00
Camión para traslado de materiales	1	8	Q 7 600,00
Total de Flete			Q 10 000,00

Fuente: elaboración propia.

## 6.2. Cuantificación de mano de obra

Tabla XV. **Presupuesto de mano de obra**

<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Sub - Total</b>
Profesional técnico encargado	1	Persona - día	Q 250,00
Supervisor	1	Persona - día	Q 180,00
Albañil	3	Persona - día	Q 420,00
Ayudante	6	Persona - día	Q 540,00
Guardián	0	Persona - día	Q -
		Sub - Total	Q 1 390,00
Turno	1		Q 1 390,00
Planillero	0	Persona - día	Q -
		Sub - Total	Q 1 390,00
Prestaciones	64 %		Q 889,60
		Sub - Total	Q 2 279,60
Tiempo de ejecución días hábiles	40		
Total de Mano de Obra			Q 91 184,00

Fuente: elaboración propia.

### 6.3. Resumen

Tabla XVI. **Resumen de presupuesto**

<b>RESUMEN</b>			
Materiales	Q		400 711,19
Herramienta	Q		1 000,00
Equipo	Q		800,00
Maquinaria	Q		3 000,00
Flete	Q		10 000,00
Mano de Obra	Q		91 184,00
		<b>COSTO DIRECTO</b>	Q 506 695,19
Administración	Q		34 811,62
Imprevistos	Q		48 136,04
Utilidad	Q		80 000,00
		<b>COSTO INDIRECTO</b>	Q 162 947,66
		<b>Sub - Total</b>	Q 669 642,85
		Impuestos	Q 80 357,14
<b>TOTAL</b>		Q	750 000,00

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Entre los principales efectos que se generan en las descargas no controladas está la erosión del terreno, el deterioro de la misma descarga, daños a la propiedad privada, así como la contaminación del cauce del río por los desechos sólidos.
2. Uno de los principales aspectos a considerar en el diseño de las estructuras hidráulicas, es la determinación de los caudales, ya que este criterio determinará las dimensiones de la estructura, otro parámetro importante es la determinación de los desechos sólidos que puede contener el agua que se verterá al río, por nos definirá el tamaño del desarenador, y el canal de rejás.
3. Para la conducción adecuada del agua proveniente de la descarga, se diseñó un canal abierto de tipo rectangular con secciones trapezoidales, por las características hidráulicas que presenta.
4. Para protección del cauce del río se utiliza una Geomanta permanente de fibra de polipropileno, la cual se extenderá a lo largo de las laderas del cauce para su protección evitando posibles socavamientos.
5. Las descargas no controladas de los reguladores de caudal a cauces naturales generan deterioro, principalmente procesos erosivos a lo largo de su recorrido y estos pueden generar inestabilidad en taludes, para lo cual existen una serie de estructuras hidráulicas que liberan energía y regulan el caudal.



## RECOMENDACIONES

1. Diseñar y construir disipadores de energía para la descarga de los vertederos de demasías.
2. Para el adecuado funcionamiento de la estructura es necesaria la operación y mantenimiento frecuente.
3. Las descargas de los reguladores de caudal deben poseer un sistema que proteja el área circundante a la salida del mismo, por medio de muros de contención, gaviones, geosintéticos o vegetación, a los alrededores del punto de descarga, con esto se evitara procesos erosivos que puedan dañar la estructura o un colapso de la ladera hacia la estructura.
4. La finalidad de este tipo de estructura es la de mejorar la calidad del agua vertida al cuerpo receptor, logrando disminuir la contaminación y evitando la erosión. Especialmente en los ríos que son captados para abastecer de agua a poblaciones.
5. Realizar una planificación urbana, con la cual se desarrollen parques o áreas de reforestación alrededor de la descarga de los reguladores de caudal, esto con el fin de evitar un crecimiento poblacional desordenado que contamine el cuerpo receptor y colocarlo en riesgo.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BÁEZ NOGUERA, Jorge. *Ingeniería ambiental: Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales*. Colombia, 2008. 271 p.
2. CHOW, Ven Te. *Hidráulica de canales abiertos*, Bogotá, Colombia, 2004. 667 p.
3. Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala. *Reglamento de Diseño de Alcantarillado*. Guatemala, 1963. 35 p.
4. LINSLEY, KOHLER & PAULUS, Ray, Max y Joseph. *Hidrología para Ingenieros*. Bogotá, Colombia, 1977. 386p.
5. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*, Segunda Edición, Colombia, 2003. 546 p.
6. MAGA, *Manual de Diseño de obras tipo para caudales menores de 1 m<sup>3</sup>/s*, Guatemala, 1985. 110 p.
7. METCALF & EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I*. México, D.F., 1996. 1459 p.
8. OAKLEY, Stewart M. *Lagunas de estabilización en Honduras*. Honduras, 2005. 247 p.

9. STEEL, Ernest W. *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Barcelona, 1981. 684 p.
10. SUÁREZ DÍAZ, Jaime. *Control de Erosión en Zonas Tropicales*, Colombia, 2001. 555p.
11. VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidráulica de Canales*, Segunda Edición; 2007, Lima-Perú. 508 p.
12. ZAMBRANO, Alfonso Napoleón. *Recolección de Aguas Residuales*, Primera edición, 2015, Colombia. 280 p.

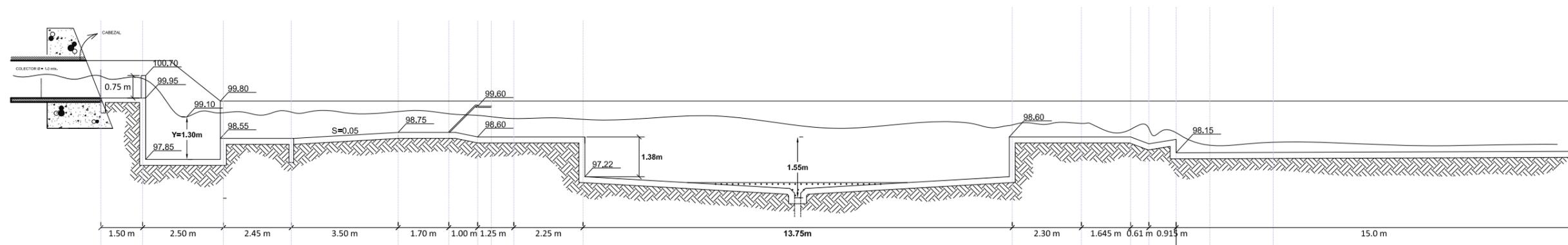
## **APÉNDICES**

### **Apéndice 1. PLANO DE PLANTA Y PERFIL, DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PROPUESTAS**

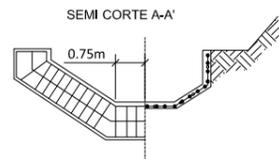
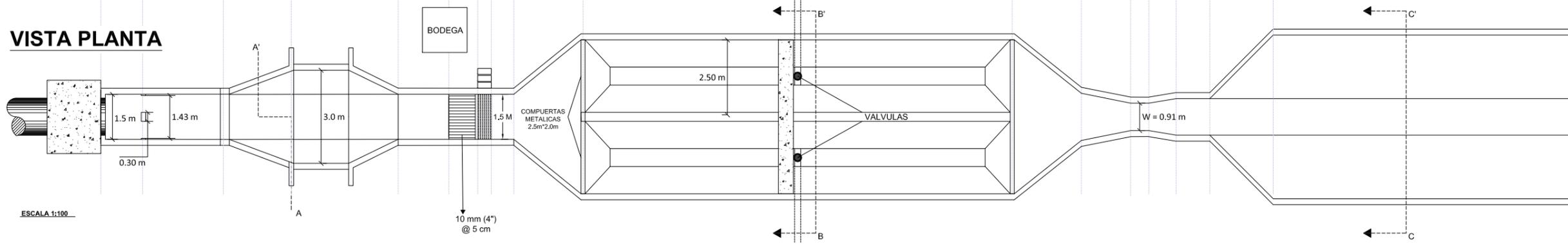
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD



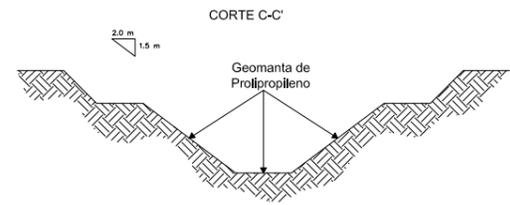
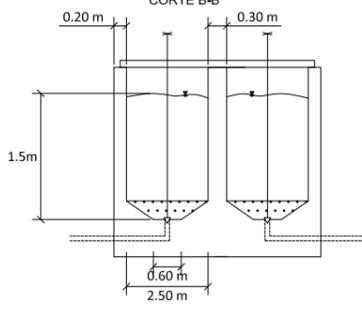
# VISTA ELEVACIÓN



# VISTA PLANTA



## DESARENADOR SECCIÓN TRANSVERSAL CORTE B-B'



SALIDA REGULADOR DE CAUDAL

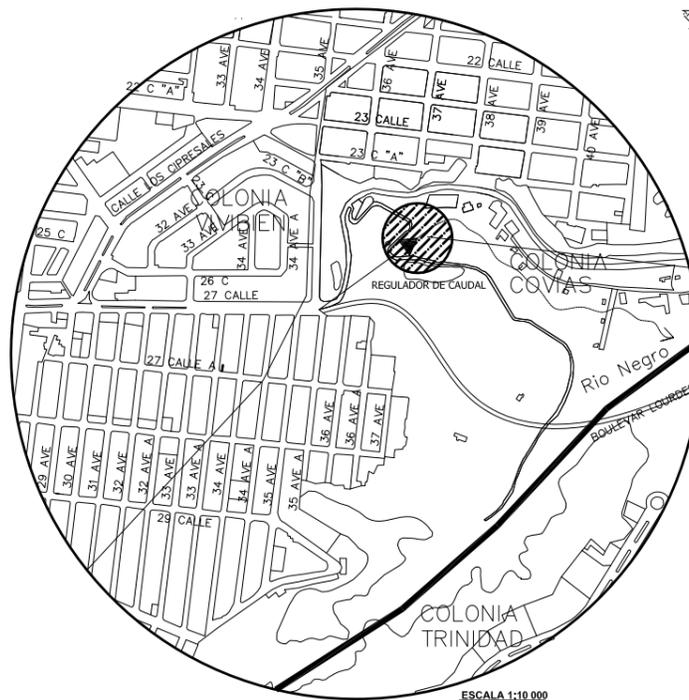
PLANTA DESCARGA REGULADOR DE CAUDAL

COLONIA COVIAS



Rio Negro

ESCALA 1:2000



UBICACIÓN DEL PROYECTO

<p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA</p>		
<p>CALCULO CARLOS MONTERROSO</p>	<p>PROYECTO DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA CONTROL Y REGULACIÓN DEL CAUDAL COMBINADO EN LA DESCARGA DEL ALIVIADERO</p>	<p>HOJA No. 1</p>
<p>ASESOR ING. GUILLERMO GARCÍA</p>	<p>LOCALIZACIÓN COLONIA COVIAS ZONA 5, GUATEMALA</p>	<p>1</p>
<p>DIBUJO CARLOS MONTERROSO</p>	<p>CONTENIDO UBICACIÓN, PLANTA Y PERFIL</p>	<p>FECHA FEBRERO 2017</p>
<p>OPERADOR: CARLOS MONTERROSO      ASESOR: ING. GUILLERMO GARCÍA</p>		



## Anexo 2. Disipador de caída vertical (CVM) cuadros 1, 2, 3 y 4

Cuadro No. 1																					
Dimensiones y armaduras específicas y coeficientes de cubriciones																					
OBRA TIPO	Dimensiones Específicas (m)					Armaduras Específicas					Coeficientes para la formulas de cubriciones										
	L2	H1	H3	EXT (2)	e (3)	INT (4)	Cara	Cara Exterior	Cara Interior	Horm. m <sup>3</sup>	Fe. Redondo Kg.	Excavación m <sup>2</sup>	Piedra m <sup>2</sup>	Hormigon Simple							
							(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	C1	F1 Ø8	F2 Ø12	E1	C2	C3
CVM	90	100	1.30	2.30	0.50	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	3.6	209	92	14	3	0.2			
CVM	90	125	1.50	2.65	0.60	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	4	242	108	16	3	0.2			
CVM	90	150	1.50	2.90	0.60	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	4.2	245	112	17	3	0.2			
CVM	90	175	1.60	3.25	0.70	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	4.6	267	129	18	3	0.2			
CVM	90	200	1.70	3.60	0.80	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	5.1	279	136	20	3	0.2			
CVM	120	100	1.90	2.50	0.60	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	5.6	280	133	24	4	0.3			
CVM	120	125	2.00	2.85	0.70	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	6	304	151	26	4	0.3			
CVM	120	150	2.20	3.20	0.80	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	6.7	324	162	29	4	0.3			
CVM	120	175	2.30	3.45	0.80	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	7	349	178	31	4	0.3			
CVM	120	200	2.40	3.80	0.90	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	7.6	365	188	34	4	0.3			
CVM	150	100	2.50	2.80	0.70	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	7.4	347	180	39	6	0.5			
CVM	150	125	2.80	3.15	0.80	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	8.1	387	203	43	6	0.5			
CVM	150	150	3.00	3.50	0.90	Ø	8 a 0.30	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	8.8	432	227	48	6	0.5			
CVM	150	175	3.10	3.75	0.90	Ø	8 a 0.20	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	9.3	482	234	50	6	0.5			
CVM	150	200	3.30	4.10	1.00	Ø	8 a 0.20	Ø	12 a 0.30	Ø	8 a 0.30	Ø	10.1	529	253	56	6	0.5			

Cuadro No. 2		
Dimensiones y armaduras generales		
Obra	Dimensiones Generales	
	b	L1 L3 d t d
CVM- 90	0.9	0.8 1.55 0.9 1.2 0.6 0.4 0.5 0.65 0.25
CVM- 120	1.2	1.1 2.15 1.05 1.05 0.6 0.45 0.9 1.13 0.3
CVM- 150	1.5	1.5 2.45 1.25 1.65 0.6 0.75 1.1 1.43 0.3

Cuadro No. 3		
Selección del ancho b		
Gasto Q (m <sup>3</sup> /s)	Utilice	
	De	Hasta
0	0.28	90
0.281	0.5	120
0.501	0.999	150

Cuadro No. 4									
Selección de la caída H									
Desnivel efectivo He (m)	Utilice obra definida por H (cm)								
	De	Hasta							
0	0.25	25							
0.26	0.5	50							
0.51	0.75	75							
0.76	0.99	100							
1	1.25	125							
1.26	1.5	150							
1.51	1.75	175							
1.76	2	200							

Fuente: MAGA, Manual de diseño de obras tipo, para caudales menores de 1m<sup>3</sup>/s, Guatemala

### Anexo 3. Normas de diseño para rejillas manuales y normas de diseño recomendadas para desarenadores horizontales

Cuadro 3-1: Normas de Diseño para Rejillas Manuales

Parámetro	Norma Recomendada
Forma de barra	Rectangular No debe utilizar barras de refuerza
Ancho de barra	5—15 mm
Espesor de barra	25—40 mm
Espaciamiento (abertura) entre barras	25—50 mm 50 mm recomendado para que las heces humanas pasen por las barras
Inclinación con la vertical	45—60°
Plataforma de drenaje	Suficiente para el almacenamiento temporal del material retenido en condiciones sanitarias
Canaleta de desvío (By-pass)	Suficiente para desviar el caudal máximo durante una emergencia
Material de construcción de barras y plataforma de drenaje	Aceros inoxidable o galvanizado; aluminio
Velocidad de aproximación	0.45 m/s
Tiempo de retención en canal de aproximación	≥ 3 s
Largo de canal de aproximación	≥ 1.35 m
Velocidad a través de las barras	≤ 0.6 m/s para caudal promedio ≤ 0.9 m/s para caudal máximo
Pérdida de carga máxima	0.15 m
Cantidades de material retenido	0.008—0.038 m <sup>3</sup> /1,000 m <sup>3</sup>
Disposición final de residuos	Solución técnica utilizando métodos sanitarios

Adaptado de Reynolds y Richards, 1996; Rolim, 2000; y Viceministerio de Vivienda y Construcción, 1997.

Cuadro 3-4: Normas de Diseño Recomendadas para Desarenadores Horizontales

Parámetro	Norma Recomendada
Velocidad horizontal	$v_{max} = 0.3 \text{ m/s}$ $v_{min} \geq 0.80 v_{max}$
Velocidad de sedimentación	0.02 m/s (partículas de 0.2mm)
Forma de la sección transversal	Rectangular (Con un resalto entre la cota del desarenador y la de la canaleta Parshall)
Tiempo de retención hidráulica	≤ 60s para $v_{min}$ ≥ 45s para $v_{max}$ $v_{max} = 0.3 \text{ m/s}$ $v_{min} = 0.3 C_v$
Largo de canal	$45 v_{max} \leq L \leq 60 v_{min}$ $13.5 \text{ m} \leq L \leq 18 C_v$
Sección de control de velocidad	Canaleta Parshall prefabricada con flujo libre
Carga en el canal aguas abajo la canaleta Parshall para asegurar flujo libre	≤ 60% de la carga en el desarenador
Número de canales	Dos en paralelo, cada uno con drenaje (Uno en operación y otro para limpieza)

Adaptado de Marais y van Haandel, 1996; Reynolds y Richards, 1996; Rolim, 2000; y Viceministerio de Vivienda y Construcción, 1997.

Cuadro 3-2: Cantidades de Sólidos Arenosos Encontradas en Aguas Residuales en América Latina, India y los EE.UU.

Lugar	Cantidades m <sup>3</sup> /1,000m <sup>3</sup>	Relación de Máximo Diario Promedio Diario
Brasil (1970)		
Época seca	0.015—0.029	
Época lluviosa	0.030—0.040	
Honduras (2003) (Estimado)	0.010—0.085	
India (1970)		
Promedio Diario	0.026—0.090	
Pico de la carga (Durante 1-2 horas)	0.370—0.740	
EE.UU.		
Promedio Diario	0.002—0.176	
Máximo Diario (Durante una tormenta)	0.006—3.900	1.0—1,800

Adaptado de Arceivala, *et al.*, 1970; Oakley, 2004; Rolim, 2000; y ASCE/WPCF, 1977.

Fuente: STEWART, Oakley. *Tratamiento de aguas residuales en Centroamérica.*

Anexo 4. Red de colectores municipales y reguladores de caudal



Fuente: Empagua, *Dirección de Planificación*.

Anexo 5. **Tablas de colectores primarios, secundarios y reguladores de caudal**

Tabla XVII. **\*Listado de ubicaciones de reguladores de caudal**

No.	Ubicación	Desfogue	Efluente
1	12 Calle "B" y 36 Av., Z5	Ø1,75m (Combinado)	Rio La Barranquilla
2	43Av y 9a. Calle Chácara, Z5	Ø2,00m (Pluvial)	Rio Las Vacas
3	31 Av. y 17 Calle Abril, Z5	Ø1,75 (Pluvial)	Rio la Barranquilla
4	18 Calle Final, Z1	Ø2,5m (Pluvial)	Rio la Barranquilla
5	18 Av. y 24 calle Z5	Ø1,00m. (Combinado)	Rio La Barranquilla
6	27 Calle Final, Z,5	Ø1,00m (Pluvial)	Rio Negro
7	23 Av, Zona 6	Ø2,75 (Combinado)	Rio la Barranquilla
8	Boulevard Asunción, Z1	Ø2,00m (Combinado)	Río La Barranquilla
9	10a Calle y 15 Av, Z1	Ø2,25 (Combinado)	Río La Barranquilla
10	13 Calle y 17 Av. "A", Z1	Ø1,75 (Combinado)	Río La Barranquilla

Fuente: EMPAGUA. *Dirección de Planificación.*

\*Se presentará de forma gráfica su ubicación ver anexo D siguiendo el número de correlativo dado en esta tabla

Anexo 6. **Caudales medios de agua residuales de origen institucional y comercial**

Caudal, l / Unidad\*d

ORIGEN	UNIDAD	INTERVALO	VALOR TÍPICO
Apartamento de temporada	Persona	200 - 280	220
Refugio de temporada	Persona	130 - 190	160
Cafetería	Cliente	4 - 10	6
	Empleado	30 - 50	40
Camping	Persona	80 - 150	120
Bar	Asiento	50 - 100	75
Cafetería	Cliente	15 - 30	20
	Empleado	30 - 50	40
Club de campo	Socio actual	250 - 500	400
	Empleado	40 - 60	50
Campamento de día (sin comidas)	Persona	40 - 60	50
Comedor	Comida servida	15 - 40	30
Dormitorio, barracón	Persona	75 - 175	150
Hotel de temporada	Persona	150 - 240	200
Lavandería	Máquina	1800 - 2600	2200
Almacén de temporada	Cliente	5 - 20	10
	Empleado	30 - 50	40
Piscina	Cliente	20 - 50	40
	Empleado	30 - 50	40
Teatro	Asiento	10 - 15	10
Centro de visita	Visitante	15 - 30	20

Tomado de: Melcaf y Eddy, 1995

Caudal, l / Unidad\*d

INSTITUCIÓN	UNIDAD	INTERVALO	VALOR TÍPICO
Hospital	Cama	500 - 950	650
	Empleado	20 - 60	40
Hospital Psiquiátrico	Cama	300 - 550	400
	Empleado	20 - 60	40
Cárcel	Presidiario	300 - 600	450
	Empleado	20 - 60	40
Casa de reposo	Residente	200 - 450	350
	Empleado	20 - 60	40
Colegio, por día. Con cafetería, gimnasio y duchas.	Estudiante	60 - 115	80
Colegio, por día. Solo con cafetería,	Estudiante	40 - 80	60
Colegio, por día.	Estudiante	20 - 65	40
Internado	Estudiante	200 - 400	280

Tomado de: Melcaf y Eddy, 1995

Fuente: Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales* 1995.