



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

**DISEÑO DE DISIPADOR DE ENERGÍA PARA EL DESFOGUE DEL
COLECTOR QUE DESEMBOCA EN LA QUEBRADA LAS ARDILLAS**

Heidi Hannah Beatrix Orozco Ramirez

Asesorado por el Ing. Elfego Odvin Orozco Fuentes

Guatemala, octubre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE DISIPADOR DE ENERGÍA PARA EL DESFOGUE DEL
COLECTOR QUE DESEMBOCA EN LA QUEBRADA LAS ARDILLAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

HEIDI HANNAH BEATRIX OROZCO RAMIREZ

ASESORADO POR EL ING. ELFEGO ODVIN OROZCO FUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADO	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
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 DISIPADOR DE ENERGÍA PARA EL DESFOGUE DEL COLECTOR QUE DESEMBOCA EN LA QUEBRADA LAS ARDILLAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 4 de abril de 2018.



Heidi Hannah Beatrix Orozco Ramirez

Guatemala, 10 de mayo 2019

Ingeniero
Luis Manuel Sandoval Mendoza
Área de Hidráulica
COORDINADOR

Ingeniero Sandoval

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **DISEÑO DE DISIPADOR DE ENERGÍA PARA EL DESFOGUE DEL COLECTOR QUE DESEMBOCA EN LA QUEBRADA LAS ARDILLAS**, elaborado con la estudiante universitaria Heidi Hannah Beatrix Orozco Ramírez, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considerando que el trabajo desarrollado por la estudiante universitaria Orozco Ramírez, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, recomiendo su aprobación.

Atentamente,



Elfego O. Orozco Fuentes
Ing. Civil
Col. No. 2,551

Elfego Odvin Orozco Fuentes
Ing. Civil, Col. No. 2,551
ASESOR



Guatemala, 15 de Mayo de 2019

Ingeniero

Hugo Leonel Montenegro Franco

Director Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero


Le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **“DISEÑO DE DISIPADOR DE ENERGÍA PARA EL DESFOGUE DEL COLECTOR QUE DESEMBOCA EN LA QUEBRADA LAS ARDILLAS”**, desarrollado por la estudiante de ingeniería civil Heidi Hannah Beatrix Orozco Ramírez, quien contó con la asesoría del ingeniero Elfego Odvin Orozco Fuentes.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y habiendo cumplido con los objetivos doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el tramite respectivo.

Sin otro particular, me despido atentamente.



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC



Dr C. Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
Jefe del Departamento de Hidráulica





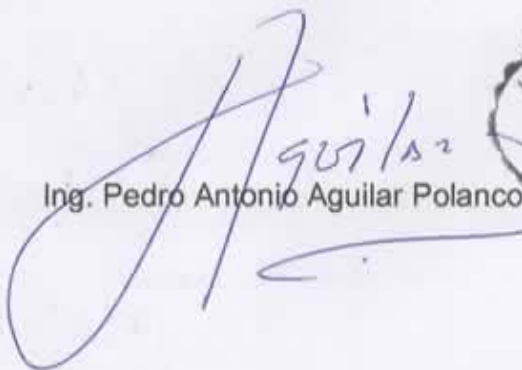
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<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. Elfego Odvin Orozco Fuentes y Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza, al trabajo de graduación de la estudiante Heidi Hannah Beatrix Orozco Ramirez **DISEÑO DE DISIPADOR DE ENERGÍA PARA EL DESFOGUE DEL COLECTOR QUE DESEMBOCA EN LA QUEBRADA LAS ARDILLAS** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, octubre 2019

/mmm.




Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



Ref.DTG.417.2019

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE DISIPADOR DE ENERGÍA PARA EL DESFOGUE DEL COLECTOR QUE DESEMBOCA EN LA QUEBRADA LAS ARDILLAS**, presentado por la estudiante universitaria: **Heidi Hannah Beatrix Orozco Ramirez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, Octubre de 2019

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme sabiduría, ser mi guía y estar conmigo en todo momento para lograr este triunfo.

Mis padres

Georgina Celeste Ramírez y Elfego Orozco por su apoyo incondicional y sacrificios para poder alcanzar mis metas a lo largo de mi carrera.

Mis hermanos

Aldo Orozco Ramirez, Erick Orozco Ramirez, Roberto Orozco Ramirez y Daniel Orozco Ramirez, por los consejos y apoyo que me brindaron.

Mis amigos

Por acompañarme en las buenas y las malas a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	En especial a la Facultad de Ingeniería por darme los conocimientos para formarme como profesional.
Dr. Ing. Luis Sandoval	Por el apoyo profesional brindado en el presente trabajo de graduación.
Mis amigos de la Facultad	Carlos Andrade, Kevin Montenegro, Brandon Estrada, Daniel Rodas, Katherine Serrano, Melani Catalán, Fernando Séquen, Rodolfo Miranda, Diana Mérida.
Licda. Luisa Ramírez	Por ser la persona que confió en mí y que me ha apoyado en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. RIESGOS EN LA QUEBRADA LAS ARDILLAS.....	1
1.1. Quebrada Las Ardillas.....	1
1.2. Inestabilidad y deslizamiento en taludes.....	2
1.3. Erosión.....	4
1.4. Tormentas.....	6
1.4.1. Ciclón tropical Mitch.....	10
1.4.2. Ciclón tropical Stan.....	12
1.4.3. Ciclón tropical Agatha.....	13
2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	15
2.1. Descripción del área.....	15
2.2. Análisis de crecidas.....	15
2.2.1. Cuenca tributaria.....	15
2.3. Análisis de caudales.....	18
2.3.1. Método racional.....	19
2.3.1.1. Variables del modelo.....	19
2.3.1.2. Área tributaria.....	21
2.3.1.3. Coeficiente de escorrentía.....	21

	2.3.1.4.	Tiempo de concentración.....	22
	2.3.2.	Caudales pico.....	23
	2.3.3.	Capacidad máxima de conducción del colector	23
	2.3.4.	Caudal de diseño.....	24
3.		ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	25
	3.1.	Disipadores de energía	25
	3.1.1.	Tipos de disipadores	26
	3.1.1.1.	Resalto hidráulico	26
	3.1.1.2.	Salto de esquí o de trampolín	27
	3.1.1.2.1.	Salto de esquí convencional.....	29
	3.1.1.2.2.	Salto de esquí con deflectores	29
	3.1.1.2.3.	Salto de esquí con estrechamiento	30
	3.1.1.3.	Disipador de energía con caídas verticales	31
	3.1.1.4.	Disipador con bloques de impacto o con umbrales	33
	3.1.1.4.1.	Tipo I	34
	3.1.1.4.2.	Tipo II	34
	3.1.1.4.3.	Tipo III.....	35
	3.1.1.5.	Tanques amortiguadores	36
	3.1.1.6.	Canales	37
	3.1.1.6.1.	Rápidas lisas	37
	3.1.1.6.2.	Rápidas escalonadas....	38
	3.1.1.7.	Pozo de bandejas	40

	3.1.1.7.1.	Descripción del pozo de bandejas.....	43
	3.1.1.8.	Descargador a vórtice	43
3.1.2.		Variables del cálculo del disipador	45
	3.1.2.1.	Caída vertical	45
	3.1.2.2.	Estanques amortiguadores.....	51
CONCLUSIONES			59
RECOMENDACIONES.....			61
BIBLIOGRAFÍA.....			63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sección predominante del cauce de la quebrada Las Ardillas.....	2
2.	Deslizamiento en los taludes, a la altura de la editorial universitaria	4
3.	Desfogue del colector de aguas residuales y pluviales de la parte sur de la colonia La Reformita zona 12.	5
4.	Lluvia máxima diaria en la estación INSIVUMEH.	8
5.	Trayectoria de ciclones tropicales en territorio guatemalteco para el registro entre 1949 y 2018.	9
6.	Magnitud de lluvias desencadenadas por el paso del ciclón tropical Mitch en 1998.	11
7.	Magnitud de lluvias desencadenadas por el paso del ciclón tropical Stan en 2005.....	12
8.	Magnitud de lluvias desencadenadas por el paso del ciclón tropical Agatha en 2010.....	14
9.	Área tributaria para el desfogue del colector en estudio, en la hoja cartográfica, escala 1:50,000.	16
10.	Área tributaria para el desfogue del colector en estudio, en la hoja cartográfica, escala 1:15,000.	17
11.	Área tributaria para el desfogue del colector en estudio, en la foto aérea de Google Earth Pro, 2018.....	18
12.	Curvas de duración-intensidad-frecuencia para la estación INSIVUMEH.	20
13.	Tipos de resaltos hidráulicos	27
14.	Salto de esquí en la descarga del vertedero	28

15.	Salto de esquí convencional	29
16.	Salto de esquí con deflectores	30
17.	Salto de esquí con estrechamiento	31
18.	Caída vertical.....	32
19.	Horizonte de energía	32
20.	Bloques de impacto	33
21.	Estanque amortiguador tipo I	34
22.	Estanque amortiguador tipo II	35
23.	Estanque amortiguador tipo III	35
24.	Tanques de amortiguamiento trapezoidal	37
25.	Rápidas lisas	38
26.	Rápidas escalonadas	40
27.	Esquema general del pozo de bandejas	41
28.	Elementos constitutivos del pozo de bandejas.....	42
29.	Vista en planta y corta del descargador vórtice.....	44
30.	Esquema general de un descargador vórtice.....	45
31.	Variables de cálculo del dissipador de caída vertical	46
32.	Perfil del diseño del dissipador de caída vertical	50
33.	Sección de inicio del dissipador de caída vertical	51
34.	Dimensiones del dissipador	56
35.	Diente deflector	56

TABLAS

I.	Lluvia diaria máxima anual (PDMX) en mm, en la estación INSIVUMEH.....	7
II.	Coeficiente de escorrentía según tipo de zona	22
III.	Intensidad de lluvia y caudales pico para períodos de retorno de 100, 25, 10 y 2 años.	23

IV.	Datos para disipador de caída vertical	47
V.	Cálculos	48
VI.	Comprobación.....	48
VII.	Cálculo de colchón.....	49
VIII.	Comprobación de la profundidad	49
IX.	Datos para disipador de bloques de impacto.....	51
X.	Cálculo del tirante contraído Y1	53
XI.	Cálculo del número de Froude	54
XII.	Cálculo de dientes deflectores	55
XIII.	Cálculo de las dimensiones del umbral terminal.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área tributaria
D	Diámetro de tubería
DIF	Curvas de duración-intensidad-frecuencia de lluvias
hr	Hora
ha	Hectárea
i	Intensidad de lluvia
k²	Kilómetro cuadrado
km	Kilómetro
m	Metro
mm	Milímetro
m/s	Metros sobre segundo
mm/hr	Milímetro por hora
m³/s	Metros cúbicos por segundo
Q	Caudal
s	Segundo
S	Pendiente
tc	Tiempo de concentración
°	Grado

GLOSARIO

Aguas pluviales	Son las aguas de escorrentía que se derivan de las lluvias, se recolectan y desfogan mediante un sistema de drenaje pluvial.
Aguas residuales	Aguas que han recibido uso en áreas residenciales, comerciales e industriales y cuyas cualidades han sido modificadas, se recolectan y desfogan mediante un sistema de drenaje sanitario.
Ciclón tropical	Sistema de baja presión atmosférica en regiones intertropicales, que favorece fuertes vientos y lluvia abundante.
Colector	Es un conjunto de tuberías, canales, conductos que colectan las aguas residuales, pluviales o ambas, provenientes de los ramales colectores, y que los conducen a plantas de tratamiento o a su disposición final en un desfogue.
Cuenca	Área geográfica, definida por la topografía, cuyas aguas de lluvia sobre ella, drenan a un único punto de control.
Desfogue	Sitio de evacuación final de un sistema de drenaje pluvial o sanitario.

Disipador de energía	Estructura hidráulica que amortigua la energía cinética del agua que se conduce en una canalización.
Erosión	Es el desgaste y pérdida de suelo producida por la lluvia y escorrentía sobre superficies susceptibles a este proceso.
Inestabilidad	Es cuando miembros estructurales están dispuestos de tal manera que es susceptible de colapsar o derrumbarse al ser sometida a la acción de una carga.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
Manning-Strickler	Fórmula hidráulica para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos.
Método racional	Fórmula para estimar el caudal pico en el punto de control de una cuenca, en función de la intensidad de lluvia y área tributaria.
Riesgo	Combinación de la amenaza de ocurrencia de un evento y el grado de vulnerabilidad del bien expuesto.
Socavación	Resultado de la acción erosiva del agua que remueve y desplaza material del lecho de un cauce.

Periodo de retorno	Intervalo de tiempo, en años, en el que se estima que, la magnitud de un evento extremo puede ser igualado o excedido.
Quebrada	Cauce de corriente de agua, relativamente pequeña, aplica para cauces con flujo de agua intermitente, o río pequeño.
Talud	Pendiente o inclinación de una ladera o márgenes de un cauce o canal.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se presentan los resultados de la evaluación hidrológica e hidráulica en el área del desfogue del colector de aguas residuales y pluviales en el inicio de la quebrada Las Ardillas.

La caída del agua en dicho desfogue es de 16 m. El impacto del agua en el lecho del río ha favorecido la erosión y socavación, que a su vez, han venido contribuyendo a la inestabilidad y desgaste del suelo en las laderas, provocando deslizamientos en ambas laderas del cauce. Con la finalidad de evitar estos problemas, es necesaria la construcción de un dissipador de la energía para el mencionado desfogue.

El caudal de diseño para el dissipador de energía, se estima en $23 \text{ m}^3/\text{s}$, para un área tributaria de 0.99 km^2 . Ese valor está asociado a un período de retorno de 100 años o probabilidad de excedencia anual de 0.01. De los tipos de dissipadores analizados, se concluye que el de caída vertical y el de estanques amortiguadores son los más apropiado, desde el punto de vista hidráulico.

El primero consiste en cuatro unidades de 4 m de caída cada una, y el estanque amortiguador requerido para el segundo es el de tipo III.

OBJETIVOS

General

Diseñar un disipador de energía para el desfogue del colector que desemboca en la quebrada Las Ardillas.

Específicos

1. Evaluar los riesgos existentes en el desfogue actual.
2. Estimar los caudales con diferente período de retorno en el desfogue del colector.
3. Definir el caudal de diseño para el disipador.
4. Elaborar, desde el punto de vista hidráulico, un disipador de energía en el desfogue del colector.

INTRODUCCIÓN

Al oeste del campus de la Universidad de San Carlos de Guatemala se localiza la quebrada Las Ardillas, que conduce las aguas residuales y pluviales de parte de la zona 12 de la ciudad de Guatemala. En el extremo superior de esta quebrada se encuentra el desfogue de las aguas mencionadas. Prácticamente, la quebrada inicia en dicho desfogue.

En el sitio del desfogue es necesario instalar un disipador para amortiguar el impacto de la energía del flujo del agua que sale de dicho colector en el cauce receptor. Este hecho está provocando erosión y socavación en el cauce del río, que, a su vez, puede favorecer la inestabilidad de las laderas aledañas.

Un disipador de energía es una obra hidráulica necesaria para compensar el cambio de energía hidráulica en los sitios de transición del flujo desde canales hacia cauces naturales. De esa manera, evitar daños en el cauce natural.

El dimensionamiento de un disipador requiere, en primer lugar, del conocimiento apropiado del caudal de diseño, que está asociado a un determinado período de retorno. Un estudio de caudales en el sitio de interés es esencial y se debe conocer la topografía en el sitio, las dimensiones del canal o tubería que desfoga en el cauce natural y la geometría del cauce natural a donde llega la descarga.

1. RIESGOS EN LA QUEBRADA LAS ARDILLAS

1.1. Quebrada Las Ardillas

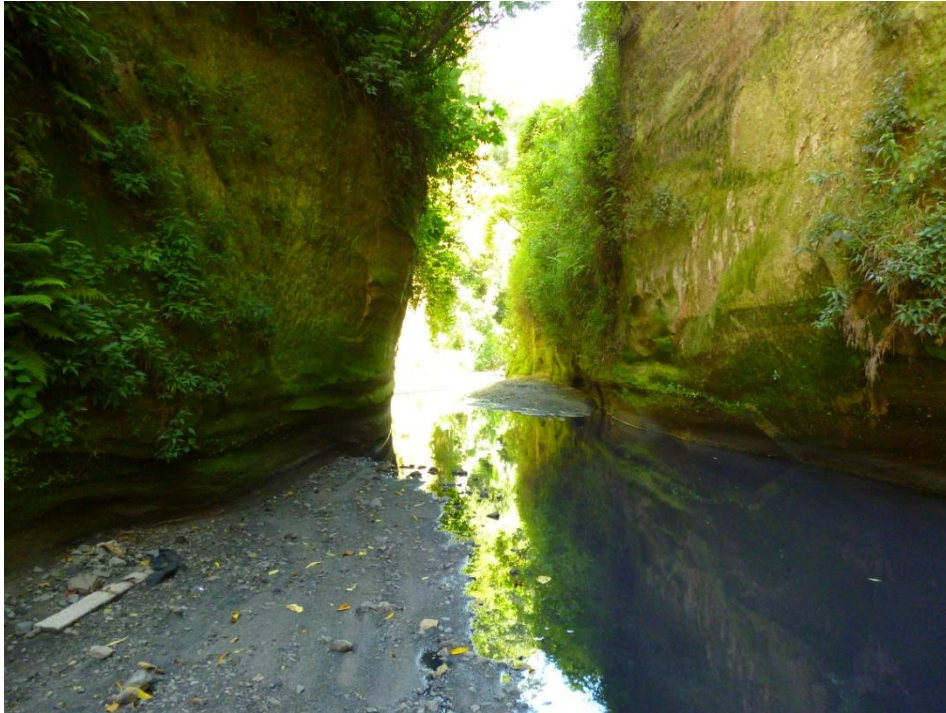
La quebrada Las Ardillas inicia en el desfogue del colector de aguas pluvial y residual de la parte sur de la colonia La Reformita de la zona 12. Esta colonia es un área residencial densa. Esta quebrada toma el nombre de El Frutal, aguas abajo del campus universitario, y fluye hacia el río Villalobos, que desemboca en el lago de Amatitlán.

El cauce de la quebrada Las Ardillas es un paso, predominantemente estrecho (ver figura 1), ubicada al oeste del bosque del mismo nombre perteneciente al área de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El desfogue del colector, que viene de la colonia La Reformita, en el extremo superior de la quebrada ha causado varios daños. Esto se debe, principalmente, a la falta de una obra de protección adecuada en el desfogue.

Los riesgos que persisten en el lugar, básicamente, están relacionados con la inestabilidad de los taludes que causan deslizamientos de los mismos hacia la quebrada, desencadenados por la erosión y socavación en el lecho de la misma.

Figura 1. **Sección predominante del cauce de la quebrada Las Ardillas**



Fuente: elaboración propia.

1.2. Inestabilidad y deslizamiento en taludes

El deslizamiento de los taludes es un problema que existe en diferentes sectores del valle de Guatemala. Estos se deben a diferentes factores: la escorrentía superficial derivado de las lluvias, la pendiente de los taludes, la sismicidad y aspectos geológicos relacionados con la estabilidad del material y el flujo del agua subterránea a través del mismo.

La combinación de estos factores, favorecen la inestabilidad de los taludes y consecuentes deslizamientos. En la figura 1 se observa el talud típico en la quebrada, que es prácticamente vertical. En la figura 2 se observa deslizamientos

en la margen izquierda del cauce, a la altura de la Editorial Universitaria de la USAC.

En la quebrada Las Ardillas han ocurrido deslizamientos durante varios años. Como ejemplo, es los continuos deslizamientos en la curva del cauce, cercana al área de la Editorial Universitaria, que ha conducido al traslado de dicha editorial a un sitio más seguro. Esto también está ocurriendo en otros sitios y en ambas laderas de la quebrada. Por ejemplo, algunas residencias de la colonia El Carmen han sido abandonadas, como se ha podido observar.

El flujo de agua en la quebrada socaba las bases de los taludes, como se observa en la foto de la figura 2. Lo empinado de los mismos favorece los desprendimientos y deslizamientos. Los cambios del caudal, en la época de lluvias incrementan estos efectos.

La altura de los taludes, en la quebrada Las Ardillas para el 2011, estaba entre 60 a 40 metros de altura respecto a la quebrada. Poitán comenta que se ha observado una pérdida de 20 metros en el talud de la colonia El Carmen, esta pérdida se dio en 2 meses en el año 2011, sufriendo así el mismo deslizamiento del lado de la ciudad universitaria de la USAC, e indica que, estudios que empezaron el 1 de enero del 2002 hasta el 11 de septiembre del 2008, establecen que se ha observado que la ampliación del talud hacia la orilla en el bosque Las Ardillas, ha aumentado a una tasa de aproximadamente 2 m por año cada año.

Figura 2. **Deslizamiento en los taludes, a la altura de la editorial universitaria**



Fuente: elaboración propia.

1.3. Erosión

La erosión es la degradación o el desgaste de los suelos debido a algunos agentes los cuales se clasifican en antrópicas y naturales. El tipo de agentes naturales causa el desgaste del suelo a causa de las corrientes de agua en la superficie de la tierra o escorrentía superficial, aguas subterráneas o también el viento. La erosión causa la pérdida de suelo, que eventualmente es transportado y depositado en sitios aguas abajo del proceso de erosión.

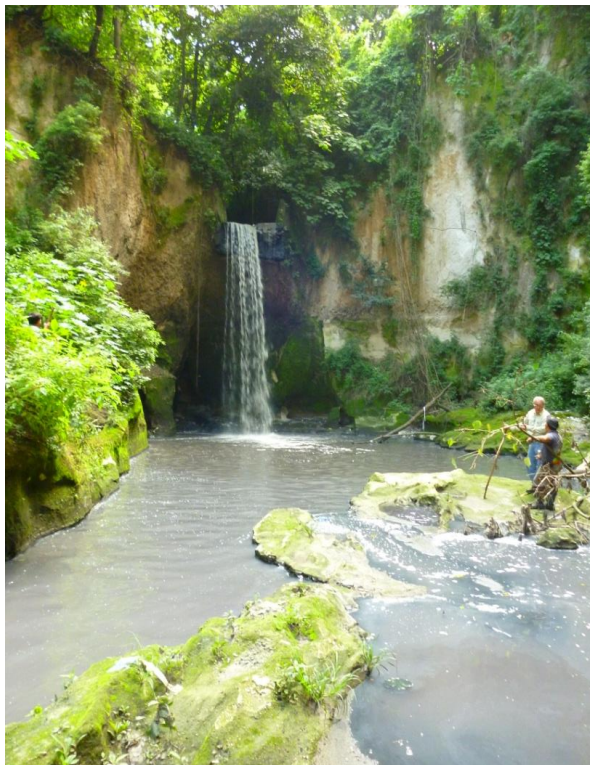
El régimen de lluvias que cae en el valle de Guatemala es variable, lo que determina la variabilidad de caudales que se originan en las áreas tributarias.

Asimismo, determina el caudal que llega a los desfogues de los sistemas de drenaje pluvial.

Se han observado señales de erosión y socavación en el sitio del desfogue del colector de la colonia La Reformita, debido a la falta de una transición adecuada del flujo entre el colector y la quebrada Las Ardillas.

En la foto de la figura 3 se ilustra el avance de la erosión y socavación en el cauce, inmediato al desfogue del colector de la colonia La Reformita, debido al impacto de la caída constante de agua.

Figura 3. **Desfogue del colector de aguas residuales y pluviales de la parte sur de la colonia La Reformita zona 12**



Fuente: elaboración propia.

1.4. Tormentas

El régimen de lluvias en el Valle de Guatemala es muy variable. En La figura 4, se muestra la variabilidad de la serie anual de lluvia máxima diaria, reportada en la estación INSIVUMEH. La estación meteorológica dentro de la cuenca en estudio, es INSIVUMEH, y cuenta con un registro de 91 años continuos (1928 – 2018). En esta gráfica se resalta el evento de mayor magnitud en el registro disponible.

En el mencionado cuadro se observa que la lluvia máxima diaria del registro ocurrió el día 29 de mayo del 2010, durante el paso del ciclón tropical Agatha, la magnitud fue de 232.5 mm, en 24 horas. Esta magnitud es la mayor observada desde 1928 (91 años). La segunda mayor fue durante el paso del ciclón tropical Mitch, en noviembre de 1998, con una lluvia de 198.2 mm en 24 horas. Otros eventos importantes, fueron los ocurridos en 1949 con 178 mm en 24 horas, en 1982 con 157 mm en 24 horas y en 1929 con 150 mm en 24 horas.

Todos estos eventos estuvieron asociados a lluvias de origen ciclónico. La variabilidad de la lluvia máxima diaria de la tabla I, se ilustra gráficamente en la figura 4.

En la figura 5 se muestra el mapa de Guatemala y la trayectoria de ciclones tropicales desde 1949, a la fecha, que han pasado cerca del país. En términos medios, dentro de un área de 100 km alrededor del valle de Guatemala, se tienen que 3 eventos han pasado, en los últimos 69 años; mientras que, en un radio de 200 km, 10 eventos.

El efecto de los ciclones puede ser importante, aunque su trayectoria esté alejada del país; por ejemplo, el paso del último ciclón relevante, el Agatha en mayo de 2010, como se ilustra en el mapa de la figura 9.

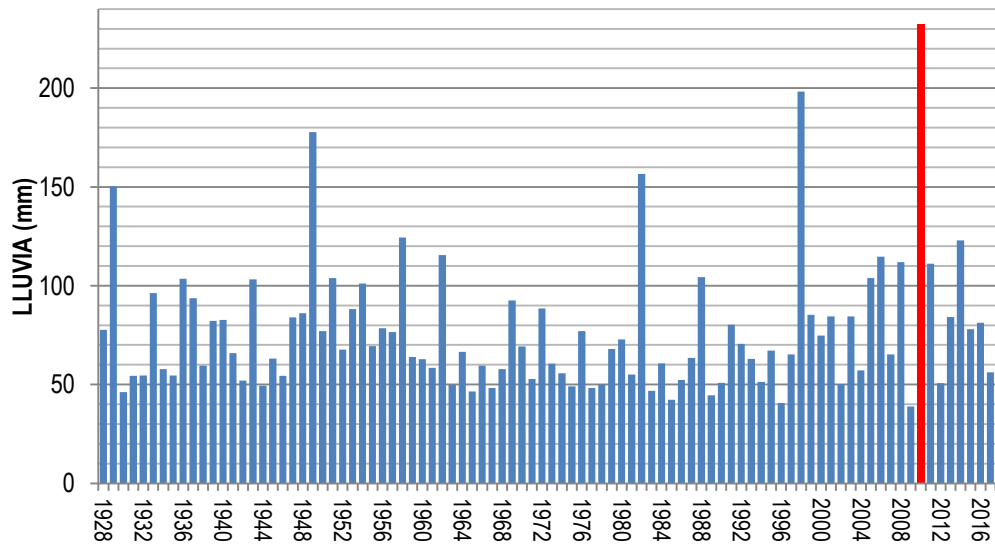
La tabla I muestra la magnitud de la lluvia máxima diaria en la estación INSIVUMEH, y cuenta con un registro de 91 años continuos (1928 – 2018). Esta serie se muestra, gráficamente, en la figura 4.

Tabla I. **Lluvia diaria máxima anual (PDMX) en mm, en la estación INSIVUMEH**

AÑO	PDMX	AÑO	PDMX	AÑO	PDMX	AÑO	PDMX	AÑO	PDMX	AÑO	PDMX
1928	78	1944	49	1960	63	1976	77	1992	71	2008	112
1929	150	1945	63	1961	59	1977	48	1993	63	2009	38.8
1930	46	1946	54	1962	116	1978	50	1994	51	2010	233
1931	54	1947	84	1963	50	1979	68	1995	67	2011	111
1932	55	1948	86	1964	67	1980	73	1996	41	2012	51
1933	96	1949	178	1965	47	1981	55	1997	65	2013	84
1934	58	1950	77	1966	60	1982	157	1998	198	2014	123
1935	55	1951	104	1967	48	1983	47	1999	85	2015	78
1936	104	1952	68	1968	58	1984	61	2000	75	2016	81
1937	94	1953	88	1969	93	1985	42	2001	85	2017	56
1938	60	1954	101	1970	69	1986	52	2002	50	2018	74
1939	82	1955	70	1971	53	1987	63	2003	85		
1940	83	1956	79	1972	89	1988	104	2004	57		
1941	66	1957	77	1973	61	1989	45	2005	104		
1942	52	1958	124	1974	56	1990	51	2006	115		
1943	103	1959	64	1975	49	1991	80	2007	65		

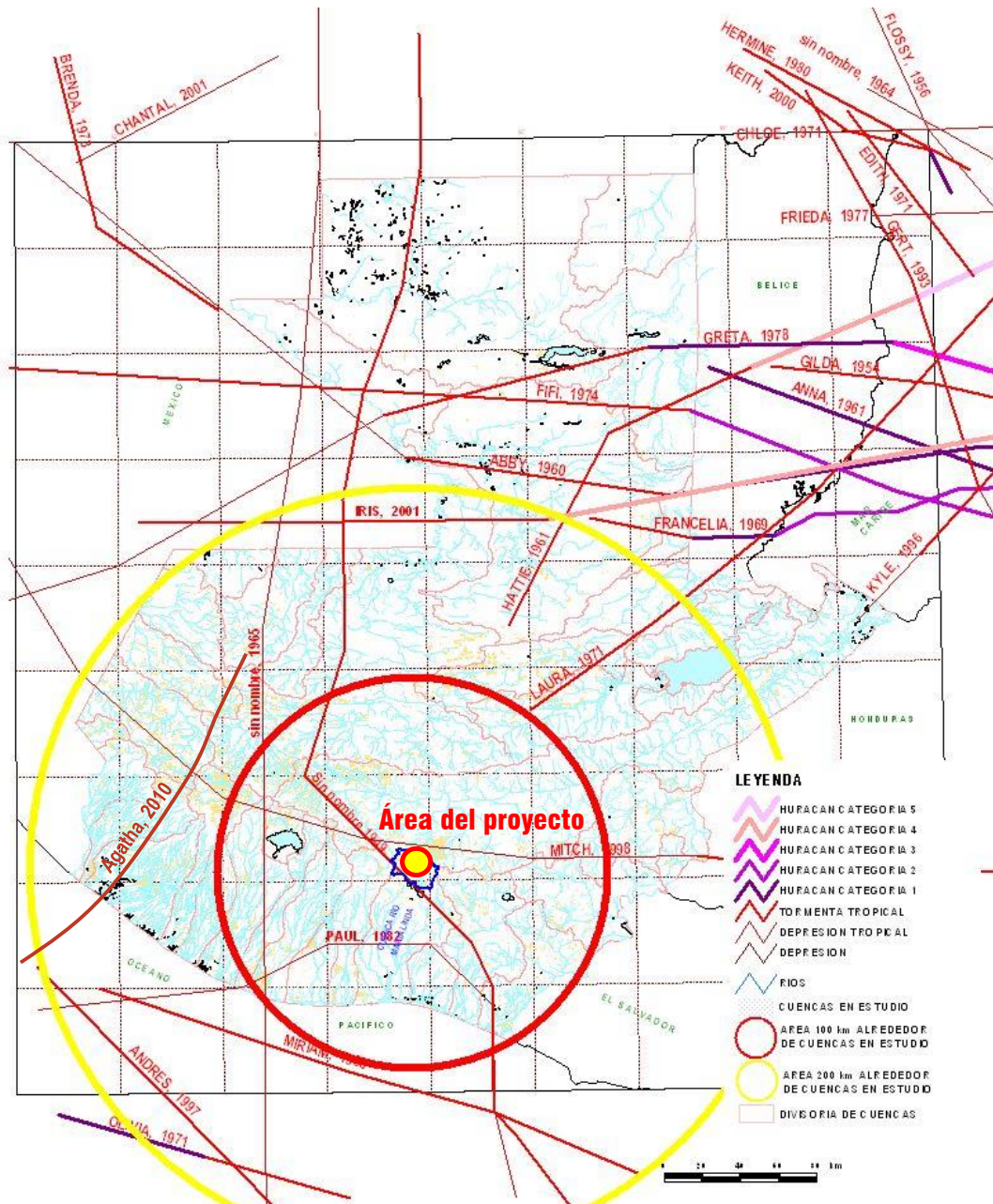
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Lluvia máxima diaria en la estación INSIVUMEH**



Fuente: elaboración propia, empleando información de lluvia diaria del INSIVUMEH.

Figura 5. Trayectoria de ciclones tropicales en territorio guatemalteco para el registro entre 1949 y 2018



Fuente: elaboración propia, empleando información de la base de datos de la NOAA.

En los siguientes mapas se muestra las cantidades de lluvia generados por los últimos eventos ciclónicos que han impactado el valle de Guatemala. Las lluvias abundantes, generadas, ocasionaron caudales altos y de larga duración en, prácticamente todas las quebradas del Valle de Guatemala, contribuyendo a erosión, socavación, saturación de suelos y consecuentemente favoreciendo deslizamientos de taludes; especialmente, aquellos que tiene pendiente muy empinada, como el de Las Ardillas.

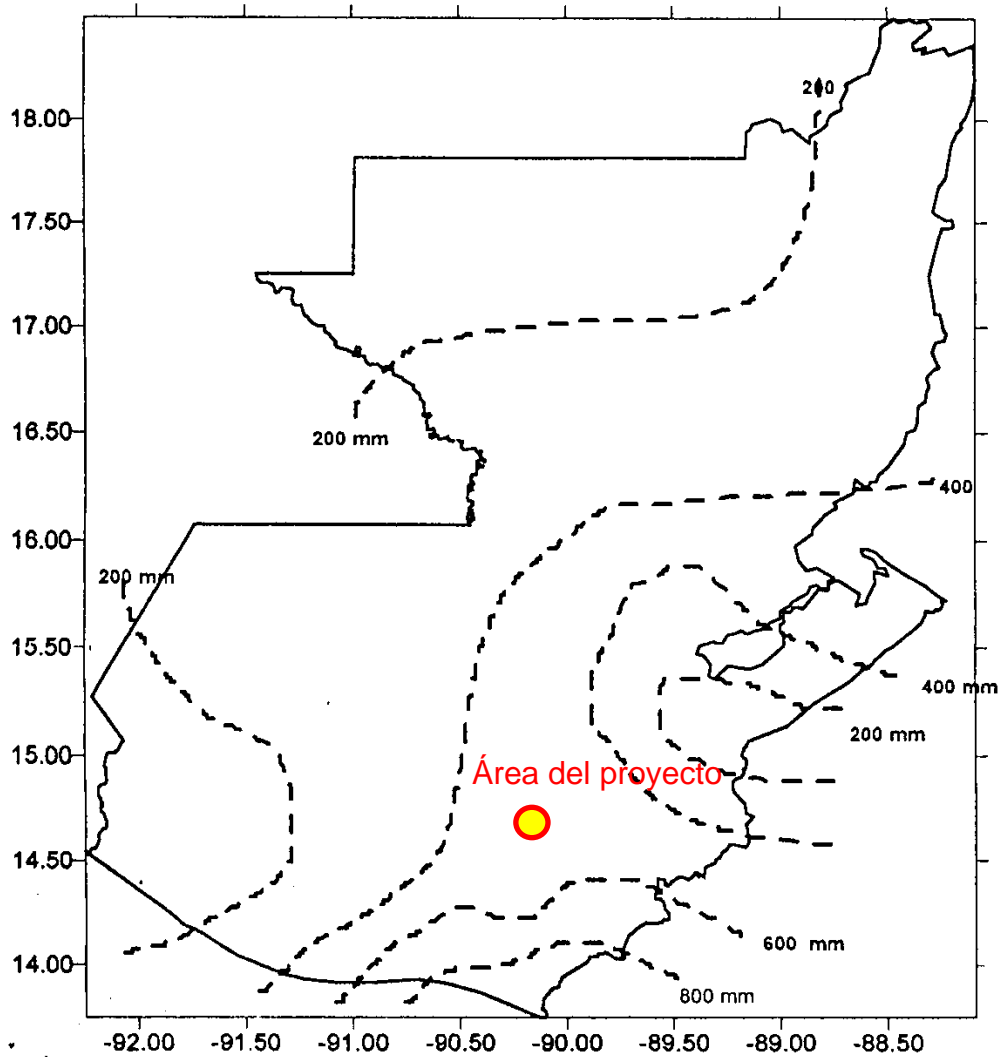
1.4.1. Ciclón tropical Mitch

El ciclón tropical Mitch fue uno de los eventos que desencadenó uno de los mayores desastres naturales en Centroamérica, durante su paso por territorio guatemalteco entre el 22 de octubre al 5 de noviembre del año 1998. Las lluvias durante este ciclón tropical causaron lluvias de moderada a fuerte intensidad, con 198.2 mm en 24 horas y unos 600 mm de lluvia en un periodo de 13 días. Esta magnitud de lluvias equivale al 50 % de la lluvia total en un año promedio (1,200 mm).

Figura 6. Magnitud de lluvias desencadenadas por el paso del ciclón tropical Mitch en 1998

PRECIPITACION PLUVIAL REGISTRADA DURANTE EL EVENTO CICLONICO MITCH (20/10/98 - 10/11/98)

INSIVUMEH, GUATEMALA

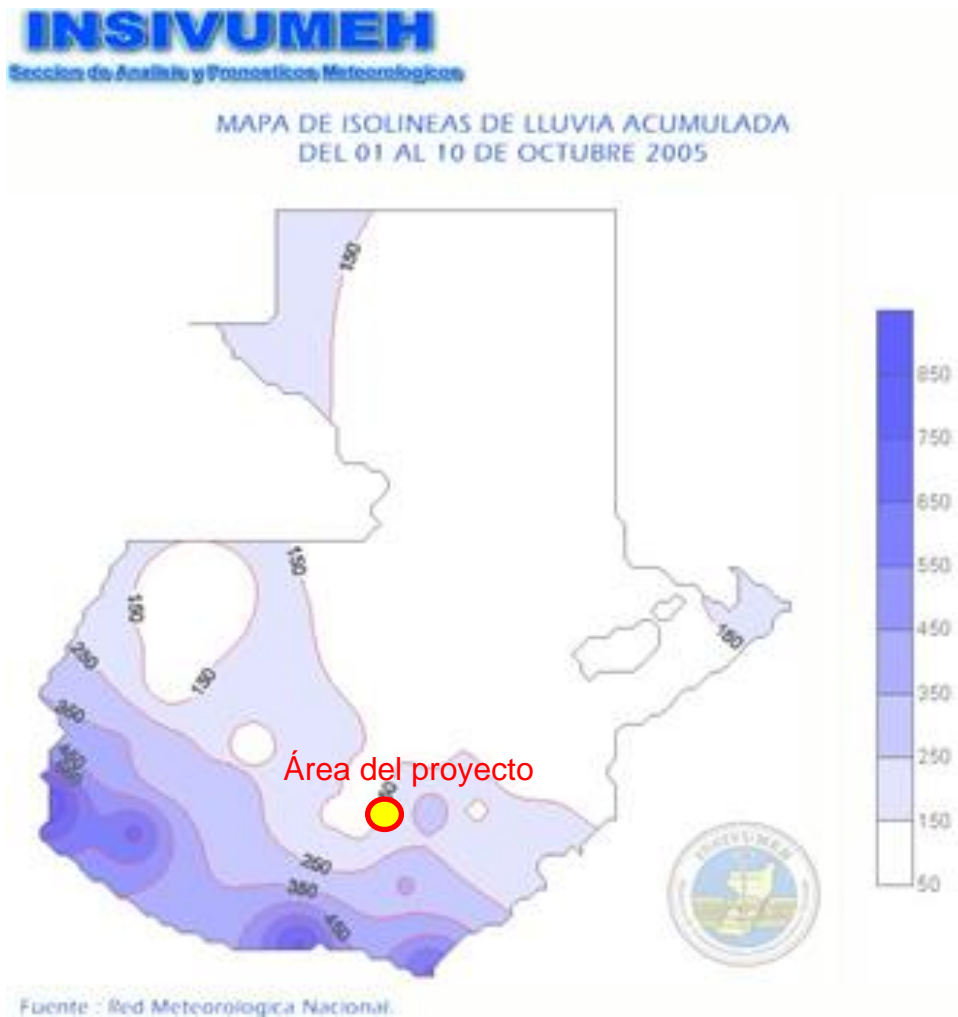


Fuente: INSIVUMEH. Unidad de servicios climáticos. *Resumen del impacto asociado al Huracán "Mitch" en Guatemala*. p. 4.

1.4.2. Ciclón tropical Stan

El ciclón tropical Stan ocurrió en octubre del año 2005. Este ciclón generó lluvias abundantes que provocaron caudales altos en el cauce de los ríos, especialmente en el sur del país.

Figura 7. **Magnitud de lluvias desencadenadas por el paso del ciclón tropical Stan en 2005**



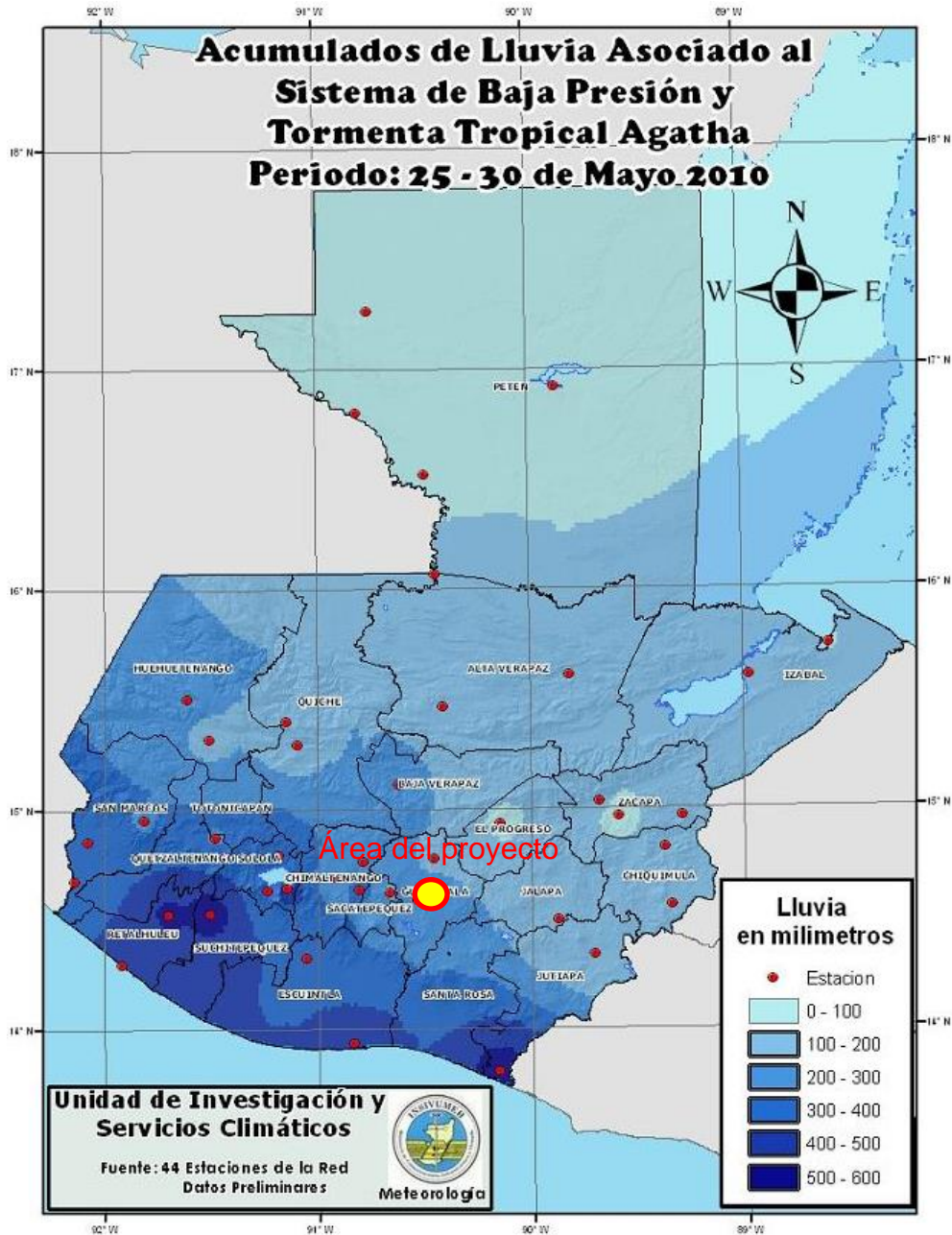
Fuente: INSIVUMEH. *Resumen del impacto asociado al Huracán "Stan" en Guatemala*. p. 5.

1.4.3. Ciclón tropical Agatha

Agatha se originó en la zona de convergencia intertropical (ZCIT), el 24 de mayo del 2010. La ZCIT es la región ecuatorial donde converge la humedad tropical y se desarrollan numerosas tormentas eléctricas.

La magnitud de la tormenta desencadenó varios deslizamientos, bloqueando carreteras en el Sur del país, impidiendo el tránsito. Igualmente, en la quebrada Las Ardillas causando erosión de igual forma a la base de los taludes y provocando deslizamientos en ellos.

Figura 8. Magnitud de lluvias desencadenadas por el paso del ciclón tropical Agatha en 2010



Fuente: INSIVUMEH. *Resumen del impacto meteorológico Tormenta Tropical Agatha, mayo 2010*. p. 4.

2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

2.1. Descripción del área

La quebrada El Frutal inicia en el desfogue del sistema de drenaje de la colonia La Reformita, zona 12 de la ciudad de Guatemala. El cauce del río pasa al oeste de la ciudad universitaria de la USAC (ver figuras 9 y 10).

2.2. Análisis de crecidas

El análisis de crecidas consiste, básicamente, en la estimación del caudal de diseño. El cual depende de la cuenca tributaria, la tormenta de diseño y del uso del suelo de la cuenca tributaria.

2.2.1. Cuenca tributaria

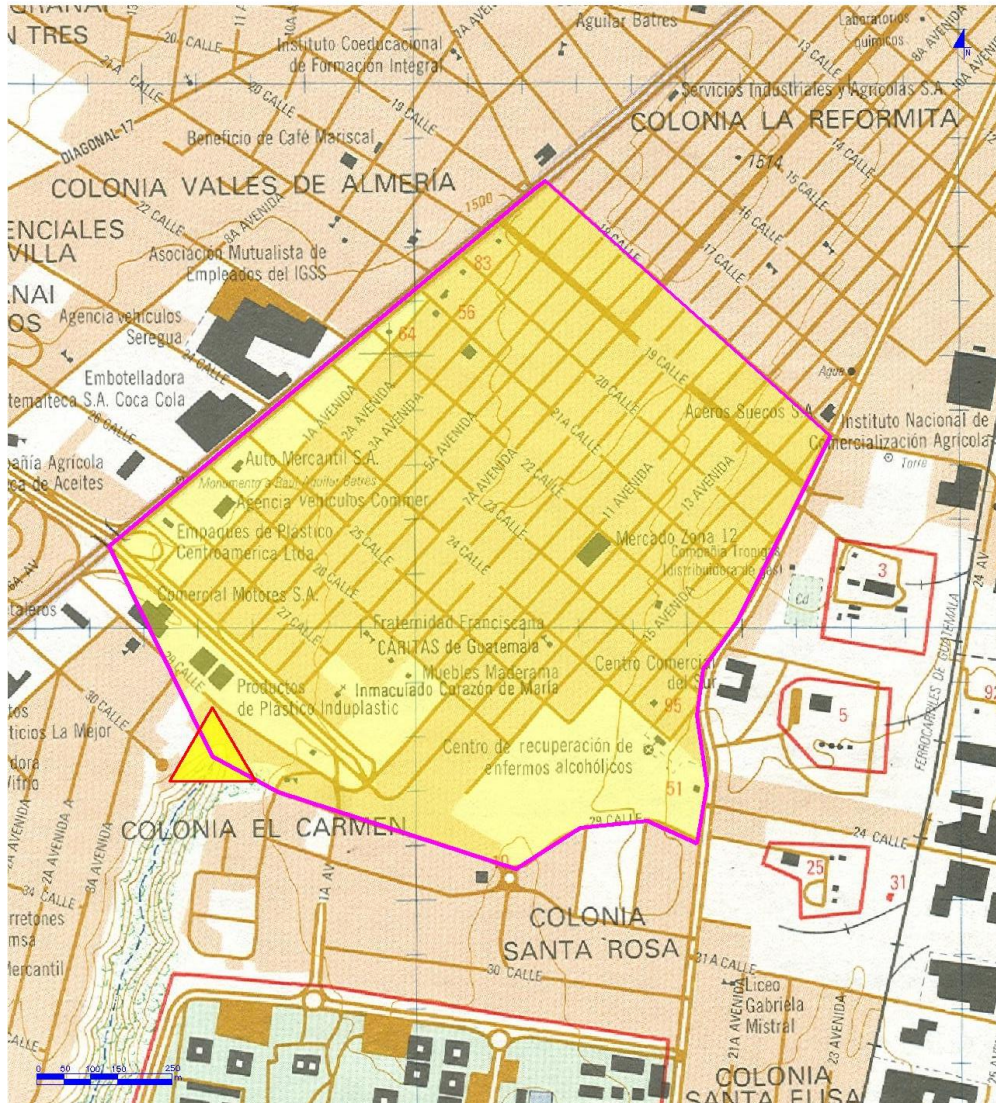
La magnitud del caudal en un punto, depende del área tributaria que contribuye con escorrentía en el sitio de control. En las figuras 9 y 10, se muestra el área tributaria estimada del colector que desfoga en la quebrada Las Ardillas. El área tributaria es de 99 ha (0,99 km²).

Figura 9. Área tributaria para el desfogue del colector en estudio, en la hoja cartográfica, escala 1:50,000



Fuente: cartografía IGN, 2010.

Figura 10. Área tributaria para el desfogue del colector en estudio, en la hoja cartográfica, escala 1:15,000



Fuente: cartografía IGN, 2010.

Figura 11. Área tributaria para el desfogue del colector en estudio, en la foto aérea de Google Earth Pro, 2018



Fuente: Google Earth Pro, 2018.

2.3. Análisis de caudales

En el área en estudio, no existe monitoreo hidrológico, porque el cauce es muy pequeño. La magnitud del área es inferior a 1 km². Asimismo, el uso de la tierra en el área tributaria es de tipo urbano. Por tales razones, la estimación de caudales con diferente frecuencia de ocurrencia se hace a través de métodos indirectos. Para el caso particular, se emplea un modelo tipo lluvia-escorrentía: método racional (Ec. 2.1).

2.3.1. Método racional

El método racional se aplica usualmente para áreas inferiores a los 1 km² (100 ha). La ecuación básica es (2.1):

$$Q_{Tr} = \frac{CAi_{Tr}}{3.6} \quad (2.1)$$

Donde:

Q_{Tr} (m³/s): es el caudal con período de retorno, T_r

i_{Tr} (mm/hr): es la intensidad de lluvia con período de retorno T_r y con duración igual al tiempo de concentración del área tributaria (t_c).

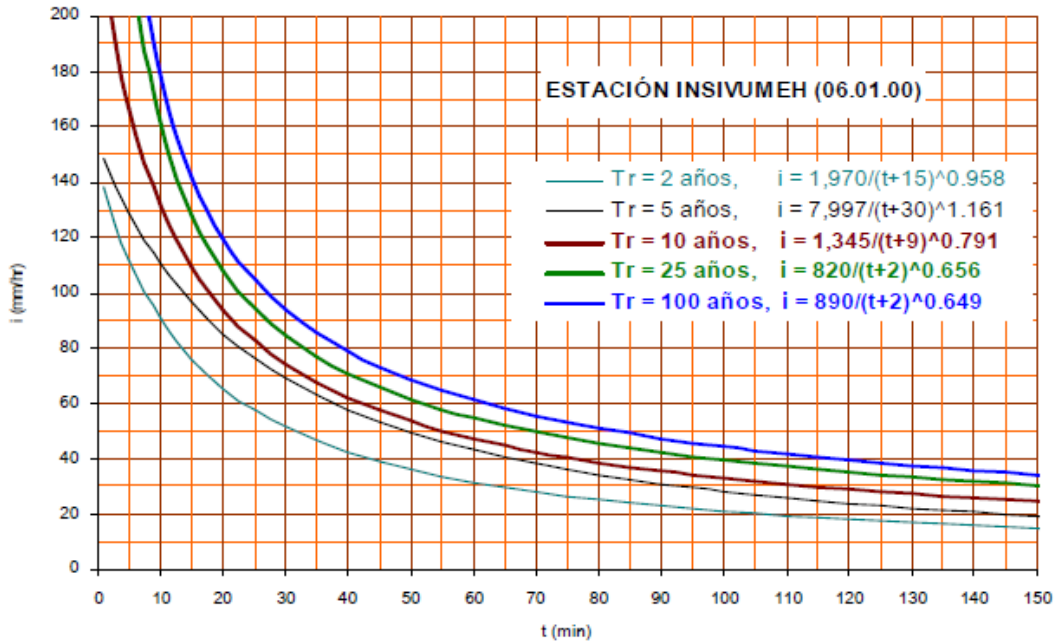
C (-): es el coeficiente de escorrentía.

A (km²): es el área tributaria hasta el sitio de control.

2.3.1.1. Variables del modelo

El método racional requiere de la magnitud de una tormenta de diseño, la cual está asociada a un período de retorno y una duración igual al tiempo de concentración del área tributaria. La estimación resulta de las curvas de duración-intensidad-frecuencia (DIF), para el área de estudio. En este caso se estima razonable utilizar las curvas existentes para la estación INSIVUMEH, la cual se ilustra en la gráfica 1.

Figura 12. **Curvas de duración-intensidad-frecuencia para la estación INSIVUMEH**



Fuente: INSIVUMEH. *Estudio de Intensidades de Precipitación en la república de Guatemala*.
 Apéndice B-3: Curvas DIF, 2002.

Para el proyecto, se estiman caudales con períodos de retorno de 2, 10, 25 y 100 años, en base las tormentas con los mismos períodos de retorno.

Según las curvas DIF (gráfica 1) obtenidas de la estación del INSIVUMEH, para un período de retorno de 100 años se tiene la ecuación 2.2. También se puede observar que, para un periodo de retorno de 25, 10 y 2 años se utilizan las ecuaciones; Ec. 2.3, 2.4, 2.5, respectivamente, que de igual manera se obtienen de las curvas.

$$i_{100} = \frac{890}{(tc+2)^{0.649}} \quad (2.2)$$

$$i_{25} = \frac{820}{(tc+2)^{0.656}} \quad (2.3)$$

$$i_{10} = \frac{1345}{(tc+9)^{0.791}} \quad (2.4)$$

$$i_2 = \frac{1970}{(tc+15)^{0.958}} \quad (2.5)$$

A partir de estas ecuaciones se obtienen los valores para la intensidad de lluvia, los cuales se presentan en la tabla III.

2.3.1.2. Área tributaria

El área de la cuenca tributaria, se obtiene a partir de la hoja cartográfica, escala 1:50,000 y 1:15,000. En el área tributaria se toma en cuenta las aguas residuales de la parte sur de la colonia La Reformita zona 12, aguas abajo de la 18 calle de dicha colonia; porque aguas arriba de esta calle, el caudal se intercepta y se conduce por el colector denominado RMR, que desfogon hacia la cuenca del río Las Vacas.

2.3.1.3. Coeficiente de escorrentía

En relación al coeficiente de escorrentía, éste se estima para dos usos de suelo, básicamente área urbanizada y verde. Para el área tributaria en estudio se utiliza un coeficiente de escorrentía de 0.6, debido al uso del suelo que, que es vivienda unifamiliar, edificios y comercios, que tienen una baja área verde; según lo sugerido en la tabla II.

Tabla II. **Coeficiente de escorrentía según tipo de zona**

	Valor de C
a. Descripción del área:	
Comerciales céntricas	0.70 – 0.95
Comerciales suburbanas	0.50 – 0.70
b. Residenciales:	
Edificación unifamiliar	0.30 – 0.50
Unidades múltiples separadas	0.40 – 0.60
Unidades múltiples agregadas	0.60 – 0.75
Zona residencial suburbana	0.25 – 0.40
Área de edificios (departamentos)	0.50 – 0.70
c. Industrial:	
Áreas con poca densidad	0.50 – 0.80
Áreas con alta densidad	0.60 – 0.90
d. Tipo de superficie:	
Calzadas o carpetas	
Asfalto	0.70 – 0.95
Hormigón	0.80 – 0.95
Ladrillos	0.70 – 0.85
Aceras y pasajes	0.75 – 0.85
Techos	0.75 – 0.95
Prados en suelos arenosos	
Planos ($\leq 2\%$)	0.05 – 0.10
Medios (2% a 7%)	0.10 – 0.15
De gran pendiente ($>7\%$)	0.25 – 0.35
e. Otros:	
Parques y cementerios	0.10 – 0.25
Aceras de juegos y esparcimiento	0.20 – 0.35
Patios de estaciones de FFCC	0.20 – 0.40
Áreas no urbanizadas ni habitadas	0.10 – 0.30

Fuente: SILÍN LÓPEZ, Oscar Armando. *Diseño de la red de drenaje sanitario del sector los aguacatillos zona 2; saneamiento de los ríos Sacumá, Cuyumpá y minerva por medio de la canalización de las aguas residuales de las zonas 1, 2, 3, 5, 6 y 7; y diseño de canal cerrado sobre el río minerva de la cabecera municipal de Huehuetenango.* p. 58.

2.3.1.4. **Tiempo de concentración**

El tiempo de concentración de una cuenca, es el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca aporten escorrentía hacia el punto de desfogue.

El tiempo de concentración, t_c , se estima mediante dos métodos distintos: Kirpich e hidráulico. En el primero, el t_c está en función de parámetros morfométricos de la cuenca, como elevaciones y longitud del cauce principal hasta el extremo superior del área tributaria. El segundo se basa en la definición de la velocidad del flujo. El valor estimado es de 15 minutos.

2.3.2. Caudales pico

Aplicando el modelo lluvia-escorrentía del método racional se obtienen los caudales pico, asociados a un período de retorno de 100 años, 25, 10 y 2 años, para cada sitio de control. En la tabla III, se presentan los valores estimados.

Tabla III. **Intensidad de lluvia y caudales pico para períodos de retorno de 100, 25, 10 y 2 años**

Tr (años)	100	25	10	2
i_{Tr} (mm/hr)	142	128	109	76
Q_{Tr} (m³/s)	23,4	21,12	17,99	12,54

Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Capacidad máxima de conducción del colector

Para estimar la capacidad de conducción del colector que desfoga en la quebrada Las Ardillas se aplica la fórmula de *Manning-Strickler* (Ec. 2.6), y la fórmula de continuidad (Ec. 2.7). Esta fórmula es una de las más populares mundialmente y la más aceptada en el medio guatemalteco.

$$V = kR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

$$Q = AV \quad (2.7)$$

Donde:

V = velocidad media del flujo en el conducto [m/s],

k = coeficiente de rugosidad [$m^{1/3}/s$],

R = radio hidráulico [m],

$R = A/P$,

A = sección hidráulica [m^2] y

P = perímetro mojado [m],

S = pendiente hidráulica [-],

Q = Caudal [m^3/s]

La magnitud del caudal máximo de conducción de una tubería de concreto de 3 m de diámetro es de $34 m^3/s$, para una pendiente de 0.5 % (5 m/km) y una rugosidad de Manning de 0,014.

2.3.4. Caudal de diseño

Para el diseño del dissipador, el caudal de diseño que se recomienda es el obtenido a partir de la evaluación hidrológica, y es el asociado a un período de retorno de 100 años; o sea, $23 m^3/s$.

3. ANÁLISIS HIDRÁULICO

3.1. Disipadores de energía

El flujo de agua en salidas o caídas manifiesta diferentes regímenes, normalmente supercrítico, dependiendo de las velocidades en los conductos. Con la finalidad de amortiguar el impacto del chorro de agua, en la sección del cauce receptor, se requiere de una estructura de disipación de la energía cinética final de caída, de esa manera cambiar el régimen del flujo de supercrítico a subcrítico, en el cauce o canal receptor.

Los disipadores de energía son estructuras complementarias u obras de protección que sirven para disipar energía cinética del flujo en la parte final de canalizaciones o la ganada por la transformación de la energía potencial a cinética, en caídas del agua hacia niveles inferiores a la descarga.

Desde el punto de vista hidráulico, un disipador de energía favorece el cambio brusco, de un flujo con régimen supercrítico a otro subcrítico.

Existen diferentes tipos de disipadores. La selección del apropiado para un caso específico, opina Córdón que debe considerar los siguientes aspectos:

- Energía de la corriente
- Economía y mantenimiento
- Condiciones del cauce aguas abajo
- Ubicación de las vías de acceso
- Poblaciones aguas abajo

3.1.1. Tipos de disipadores

Desde el punto de vista hidráulico, existen diferentes tipos de disipadores de energía del agua en canalizaciones. Entre los más relevantes se encuentran: el resalto hidráulico, salto de esquí, caídas verticales, bloques de impacto y otros. En este trabajo se describen los mencionados.

3.1.1.1. Resalto hidráulico

El resalto hidráulico se empezó a estudiar desde 1818 por el italiano Bidole. Se hicieron investigaciones experimentales con pendientes suaves y empinadas para saber la diferencia de resaltos hidráulicos en un flujo de agua y que tan significativa podía ser.

En opinión de Chow el resalto hidráulico se utiliza para disipar la energía del agua sobre presas, vertederos y prevenir la socavación aguas debajo de la estructura, además de indicar condiciones del flujo así sea supercrítico o la presencia de una sección de control en la estación del aforo.

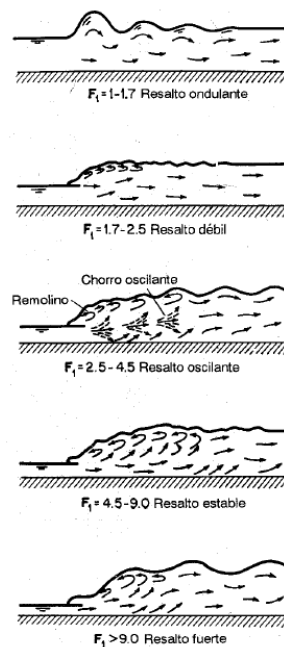
Tipos de resalto

Los resaltos hidráulicos se pueden clasificar según el número de Froude

- $F_1 = 1$, el flujo es crítico y no se forma resalto
- $F_1 = 1$ a 1.7 , la superficie del agua muestra ondulaciones y se presenta el resalto ondulante.
- $F_1 = 1.7$ a 2.5 , se desarrollan remolinos sobre la superficie del resalto y la pérdida de energía es baja.
- $F_1 = 2.5$ a 4.5 , resalto oscilante.

- $F_1 = 4.5$ a 9 , tiene alta velocidad y el resalto se encuentra bien balanceado y su comportamiento es el mejor. La disipación de energía varía de 45% a 70%. Resalto estable.
- $F_1 = 9$, la disipación de energía puede alcanzar un 85% debido a que es un resalto fuerte.

Figura 13. Tipos de resaltos hidráulicos



Fuente: CHOW, Ven Te. *Hidráulica de canales abiertos*. p. 388.

3.1.1.2. Salto de esquí o de trampolín

Este tipo de dissipador es normalmente usado en vertederos debido a las grandes descargas de agua y el material del lecho rocoso. Consiste en un canal con una inclinación aproximada de 30° , que tiene capacidad de captar el flujo de

agua y que va a tener una caída con una curvatura cóncava. Esta trayectoria depende de la velocidad y el ángulo de salida que tenga el flujo.

El salto de esquí reduce la erosión y socavación aguas abajo de la corriente de agua, evitando así daños en el lecho del cauce receptor.

Figura 14. **Salto de esquí en la descarga del vertedero**



Fuente: *imagen Google/Salto de esquí.*

https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Vertedero_presa_Ralco,_VIII_Regi%C3%B3n.JPG.

Consulta: agosto de 2018.

Existen distintos tipos de saltos de esquí, entre ellos, se pueden mencionar:

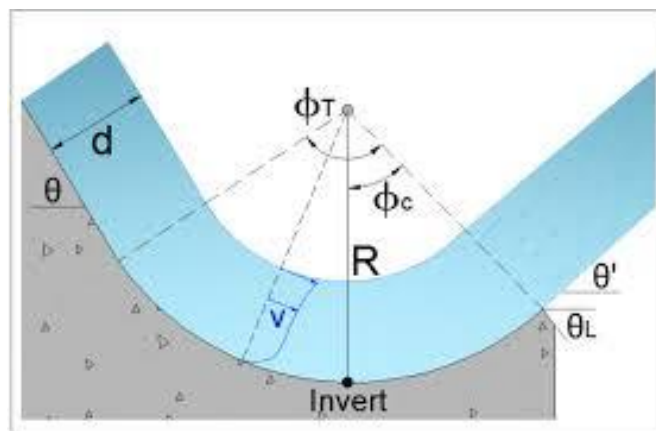
- Salto de esquí convencional
- Salto de esquí con deflectores
- Salto de esquí con estrechamiento

Los cuales son utilizados en distintas circunstancias dependiendo del tipo de salida que tenga el flujo del agua.

3.1.1.2.1. Salto de esquí convencional

Es aquel tipo de salto de esquí en el cual el chorro de agua sale con mayor ángulo y choca con la superficie, creando remolinos y haciendo que el flujo no sea uniforme. Para esto se tienen que tomar diferentes factores importantes para prevenir que la caída del chorro de agua provoque socavación aguas abajo, ni que la estructura de disipación quede sumergida.

Figura 15. Salto de esquí convencional



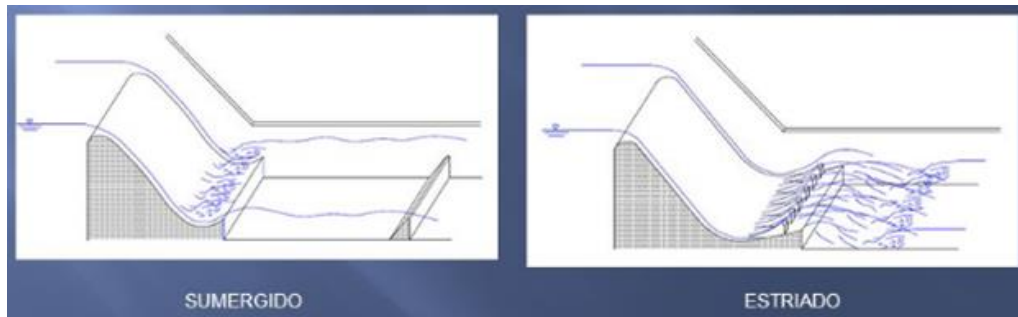
Fuente: TOAPAXL, Jorge. *Bases y criterios para el dimensionamiento hidráulico de formas especiales de saltos en esquí en presas*. p. 3.

3.1.1.2.2. Salto de esquí con deflectores

Este tipo de salto de esquí es el de mayor complejidad debido a que la construcción está compuesta de unos deflectores o dientes los cuales tienen

diferentes formas (rectangulares, trapezoidales), y requiere de frecuente mantenimiento. Este puede estar sumergido o no. Se utiliza cuando se requiere mayor disipación, en comparación con el convencional, debido a que sus dientes hacen que haya mayor turbulencia y menor erosión y el choque con la superficie receptora es más leve.

Figura 16. **Salto de esquí con deflectores**



Fuente: *imagen Google/salto de esquí con deflectores.*

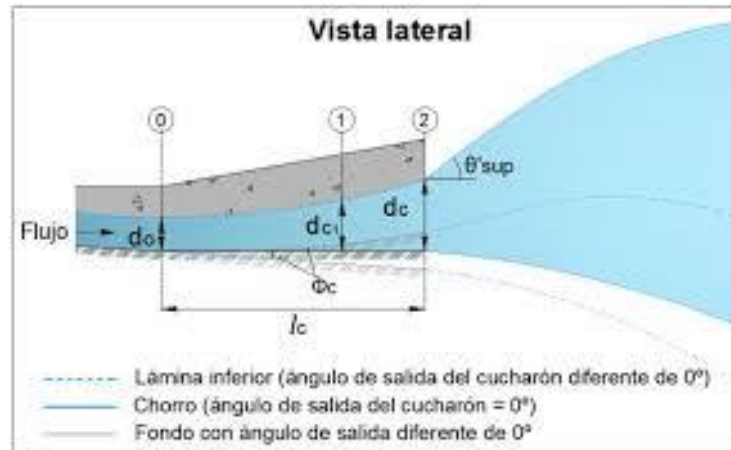
<https://www.slideshare.net/Dasilvamaría2017/diapositivas-disipadores-de-energia-71303760>.

Consulta: agosto de 2018.

3.1.1.2.3. Salto de esquí con estrechamiento

Este tipo de salto de esquí es el que se utiliza más que todo en cauces estrechos y profundos, y reduce la socavación en un 33 %, más que el convencional.

Figura 17. **Salto de esquí con estrechamiento**



Fuente: TOAPAXL, Jorge. *Bases y criterios para el dimensionamiento hidráulico de formas especiales de saltos en esquí en presas*. p. 5.

3.1.1.3. **Disipador de energía con caídas verticales**

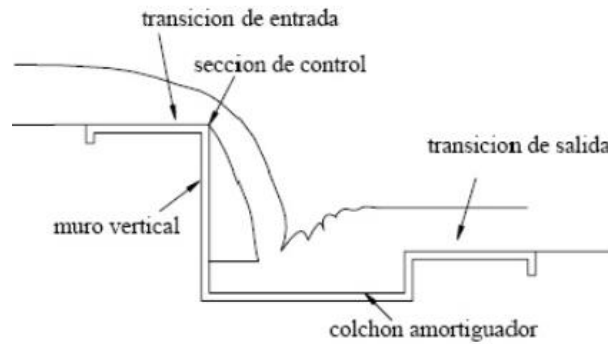
Las caídas son estructuras utilizadas en aquellos puntos donde es necesario efectuar cambios bruscos en la rasante del canal, permite unir dos tramos de un canal, en los cuales el agua cae libremente hacia el tramo de abajo. La finalidad de las caídas verticales es disipar la energía que causa la diferencia de niveles en la conducción de agua desde un punto o elevación alta, hacia una elevación baja.

Una caída vertical está compuesta por los siguientes componentes:

- Transición a la entrada: Une por medio de un estrechamiento progresivo la sección del canal superior con la sección de control.
- Sección de control: Es la sección correspondiente al punto donde se inicia la caída, cercano a este punto se presentan las condiciones críticas.

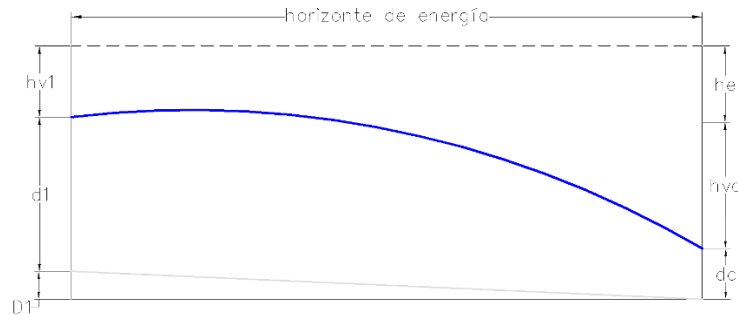
- Transición de salida: Une la poza de disipación con el canal aguas abajo.

Figura 18. **Caída vertical**



Fuente: Trabajo escalonado 3. *Diseño de caídas verticales*. p. 10.

Figura 19. **Horizonte de energía**



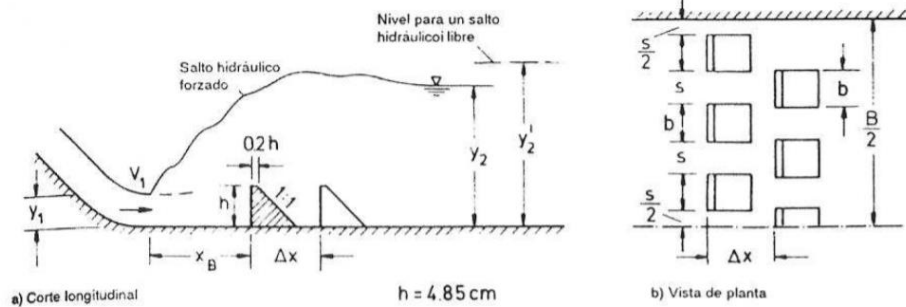
Fuente: adaptado de, trabajo escalonado 3. *Diseño de caídas verticales*. p. 10.

El disipador de caída vertical se utiliza, generalmente para caídas en un rango entre 1 a 4.5 m, según la referencia de las figuras 17 y 18.

3.1.1.4. Disipador con bloques de impacto o con umbrales

Este tipo de disipador utiliza bloques para estabilizar el resalto hidráulico a la salida de la compuerta de una presa. Los bloques se colocan al final del disipador para controlar y minimizar la socavación. Se utiliza, normalmente, en diseños que tienen altas velocidades de entrada para poder controlar el resalto hidráulico con los bloques de impacto como se muestra en la figura 17.

Figura 20. Bloques de impacto



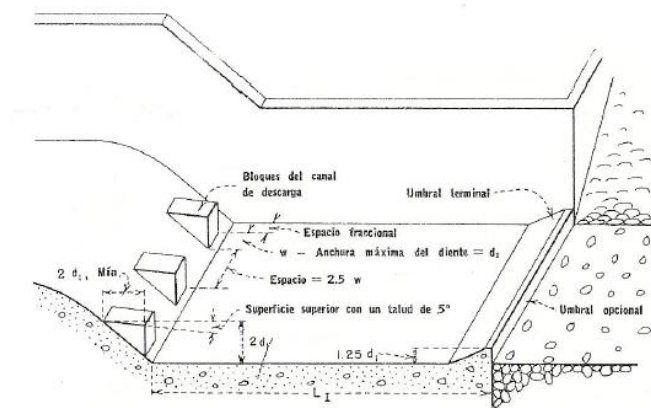
Fuente: NAUDASCHER, Eduard. *Hidráulica de canales*. p. 72.

Las ventajas de este tipo de disipador está la reducción de la longitud del disipador al hacer más efectivo la pérdida de energía. Es interesante el poder considerar la segunda fila de bloques intercalados con la primera fila como se puede apreciar en la figura lo cual produce un diseño efectivo.

3.1.1.4.1. Tipo I

Estanques con pendientes pronunciadas. Este tipo de dissipador no tiene un resalto hidráulico bien desarrollado, debido a que el número de Froude varía entre 2.5 y 4.5.

Figura 21. Estanque amortiguador tipo I

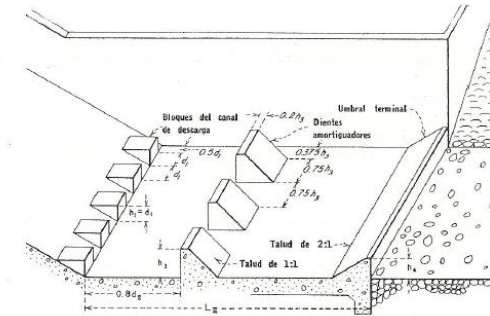


Fuente: VILLAMARIN, Sorayda. *Manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica*. p. 40.

3.1.1.4.2. Tipo II

Pequeños estanques amortiguadores para estructuras de canal, pequeñas estructuras de salida y vertederos menores. Este tipo de estanque se utiliza cuando se forma un resalto hidráulico bien desarrollado, esto quiere decir que comprenda del número de Froude mayor a 4,5. Los bloques ayudan a darle un efecto estabilizador al agua y finalmente disipar la energía.

Figura 22. **Estanque amortiguador tipo II**

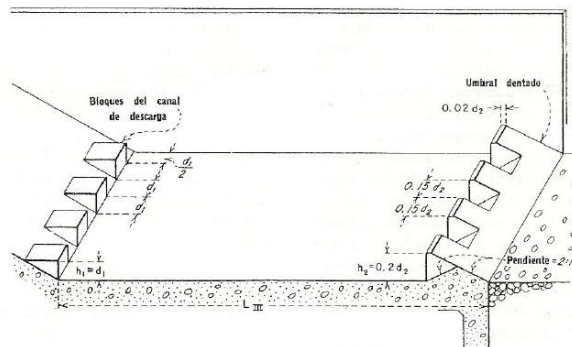


Fuente: VILLAMARIN, Sorayda. *Manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica*. p. 41.

3.1.1.4.3. Tipo III

Estanques amortiguadores para vertederos de presas grandes y de tierra con canales extensos. La longitud del estanque será mayor a los de tipo II para disipar adecuadamente la energía que lleva el agua con resalto hidráulico.

Figura 23. **Estanque amortiguador tipo III**



Fuente: VILLAMARIN, Sorayda. *Manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica*. p. 42.

3.1.1.5. Tanques amortiguadores

Es uno de los sistemas más comunes de disipación de energía, y consiste en un resalto hidráulico sumergido que forma un tanque de amortiguación de sección rectangular o trapezoidal. El fin del resalto hidráulico es convertir las altas velocidades del flujo supercrítico en velocidades que no dañen a las estructuras o cauce aguas abajo, provocando la pérdida de energía.

Los tanques amortiguadores pueden ser:

- Trapezoidales
- Rectangulares

Los tanques amortiguadores trapezoidales se adaptan a cualquier terreno, los cuales requieren de profundidades de excavación menores y recubrimientos de menor espesor.

Los tanques rectangulares se utilizan en grandes caídas en canales o presas, cuando los números de Froude varían entre 2,50 y 4,50. se colocan dientes para mejorar la eficiencia en los tanques, estos son útiles para eliminar ondas en la superficie del agua.

Figura 24. **Tanques de amortiguamiento trapezoidal**

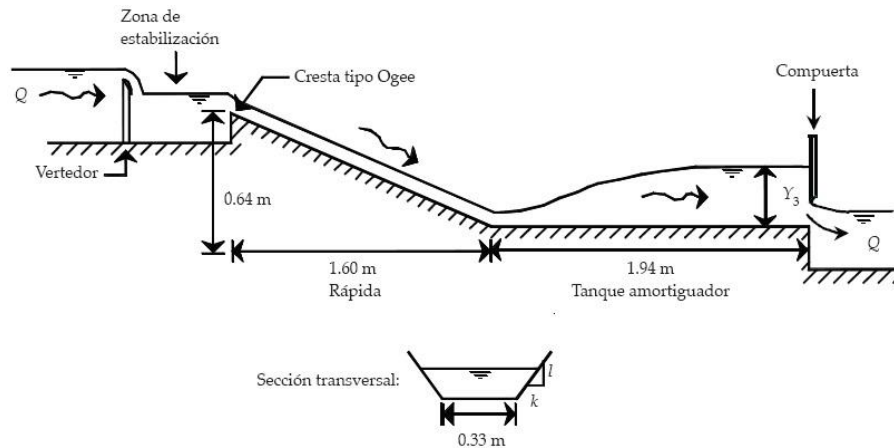


Figura 6. Características del dispositivo experimental.

Fuente: FRANCO, Victor. *Salto hidráulico oblicuo en tanques amortiguadores de sección transversal trapezoidal*. p. 42.

3.1.1.6. Canales

Son estructuras disipadoras de energía del agua que se pueden diseñar lisas o escalonadas dependiendo de la pendiente y cantidad de agua que se quiera disipar.

3.1.1.6.1. Rápidas lisas

Son canales de fondos lisos que se construyen con concreto reforzado, y tiene una pendiente adecuada sobre el terreno y sirve para que el flujo del agua escurra a una velocidad apreciable hasta que llegue al pie del talud en el cual se localizan los tanques amortiguadores para que disipe la energía cinética y no erosione la base de los taludes.

Es considerado por Villamarin que los canales tienen que soportar velocidades mayores a 6 m/s y son apropiados cuando la pendiente es mayor a 30 %.

Figura 25. **Rápidas lisas**



Fuente: MEJÍA FERNÁNDEZ, Fernando. *Estructuras de vertimiento de aguas en laderas de media a fuerte pendiente*. p.15.

3.1.1.6.2. Rápidas escalonadas

Son canales escalonados o gradas que, a comparación de los canales lisos, estos van conduciendo el agua y disipando la energía cinética al impactar con cada escalón. El flujo del agua tiene un resalto hidráulico en cada escalón hasta llegar al suelo provocando que la energía sea disipada y con una velocidad mucho menor al de aguas arriba del canal.

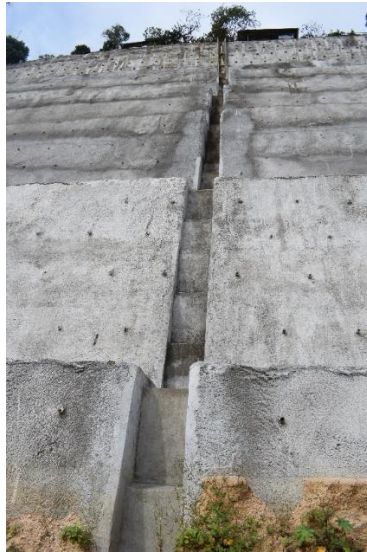
Para el diseño de las rápidas escalonadas Mejía considera que se necesita saber el tipo de flujo para el caudal de diseño. El flujo puede ser saltante o

rasante. La disipación de la energía en el primero se caracteriza por una sucesión de chorros en caída libre que impactan en el siguiente escalón, seguidos por un resalto hidráulico. En el segundo el agua fluye sobre los escalones como una corriente estable rasando sobre ellos y formando vórtices en las gradas que amortiguan el fluido.

Para el diseño se recomienda:

- Estimar el caudal de diseño
- Evaluar la geometría del canal (pendiente, altura, ancho)
- Seleccionar la altura optima del escalón para obtener el régimen del flujo seleccionado.
- Calcular las características hidráulicas del flujo.
- Calcular el contenido de aire disuelto aguas debajo de la estructura.
- Diseñar la cresta de la rápida.
- Calcular la altura de las paredes del canal considerando un borde libre, por si existe aumento del caudal.

Figura 26. **Rápidas escalonadas**



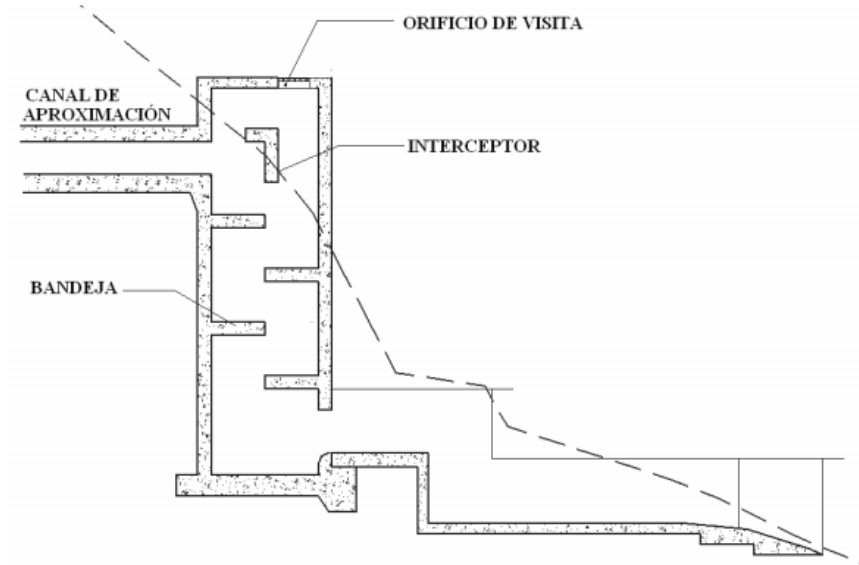
Fuente: elaboración propia.

3.1.1.7. Pozo de bandejas

Es una estructura recomendada para efectuar cambios de nivel, en colectores con diferencias de alturas mayores a los 2 m, que cumple con la función de disipar la energía y permitir el cambio de dirección del flujo a la salida de la obra. Está formada por una sección transversal en la entrada del pozo, no requiere de desarrollo longitudinal porque es una estructura con descenso del flujo vertical.

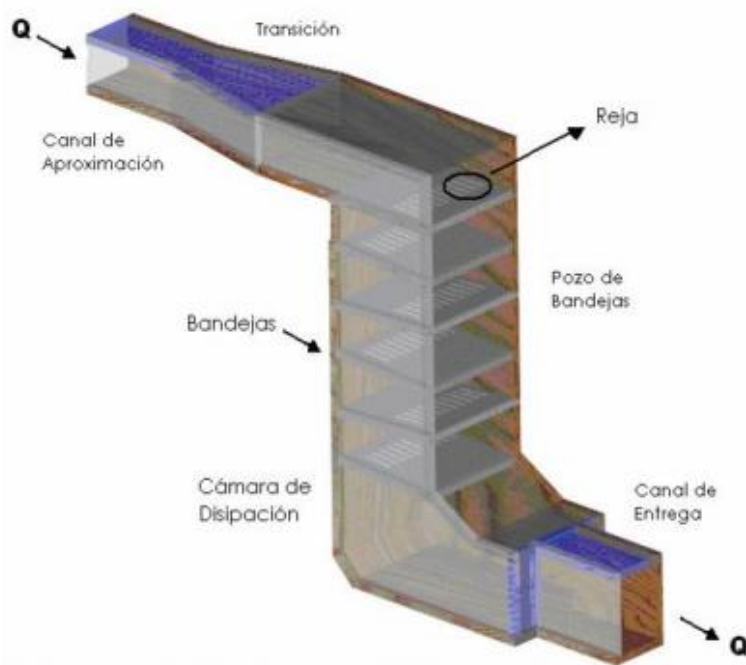
En la entrada del colector elevado se dispone de una pantalla plana vertical que corresponde al primer elemento de impacto para reducir la velocidad del flujo que ingresa al pozo. Luego de interceptar en la pantalla vertical, hay un cambio de dirección hacia las bandejas horizontales en la parte inferior.

Figura 27. **Esquema general del pozo de bandejas**



Fuente: HARO, Patricia. *Manual básico de diseño de estructuras de cambio de nivel y cambio de dirección con flujo a gravedad.* p. 12.

Figura 28. Elementos constitutivos del pozo de bandejas



Fuente: HARO, P. y JARA F. *Eficiencia en la disipación de energía en estructuras para cambio simultaneo de nivel y de dirección en sistemas de alcantarillado en ciudades andinas*. p. 4.

Cada bandeja horizontal tiene determinadas características geométricas, las cuales hacen que el flujo de agua forme una cascada por un escurrimiento con superficie libre que disipa la energía hasta llegar a la salida del pozo.

En el fondo del pozo se prevé la formación de un colchón de agua, que permita la disipación de la energía residual antes de entregar el flujo al colector de aguas abajo.

3.1.1.7.1. Descripción del pozo de bandejas

- Canal de aproximación

Se recomienda que el flujo no debe tener perturbación para que sea subcrítico estable hacia el pozo vertical.

- Análisis en cada bandeja

Las bandejas pueden tener inclinación para que se mejoren las condiciones del flujo y forme un colchón de agua, así disminuir su velocidad y disipar su energía.

- Análisis del flujo en la cámara de salida

La cámara de salida lo que busca es permitir que al pie de la estructura el flujo sea estable con mínima turbulencia; además, de ofrecer la posibilidad de inspección de la estructura.

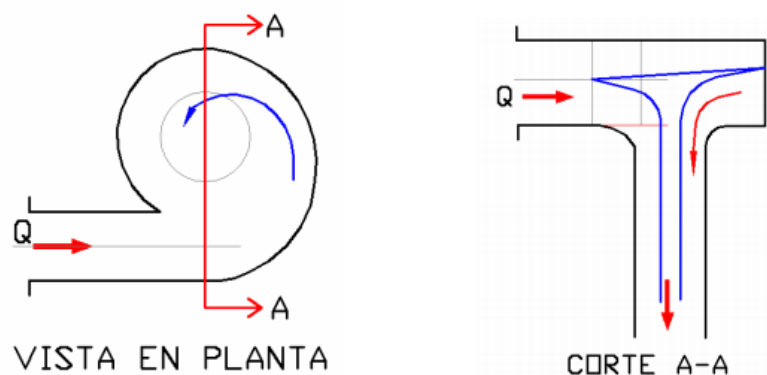
De acuerdo a la opinión de Haro es conveniente indicar que a la salida del pozo de disipación se le puede colocar un pozo de alivio, o una piscina que funciona como disipación de la energía residual del flujo.

3.1.1.8. Descargador a vórtice

Es una estructura hidráulica de disipación de la energía y se caracteriza porque induce un movimiento helicoidal en el ingreso a un pozo de caída vertical, descendiendo hasta llegar a la cámara de disipación y continua por el canal de

entrega hacia el colector de salida del sistema. Durante el descenso en el tubo vertical, debido a la fricción y a la curvatura de las líneas de corriente permite la disipación de la energía.

Figura 29. **Vista en planta y corta del descargador vórtice**

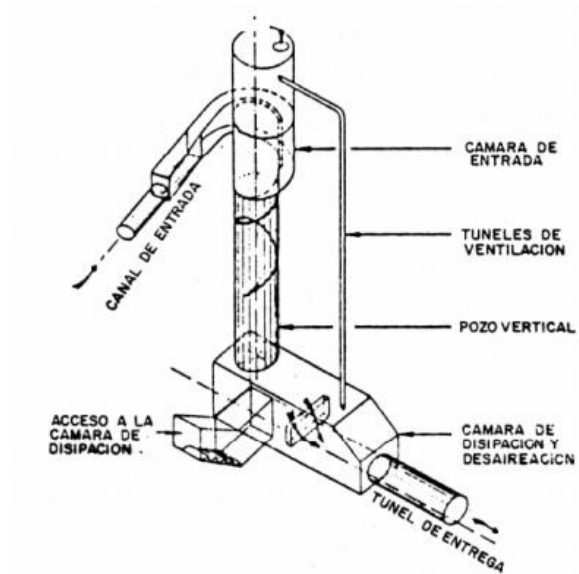


Fuente: HARO, Patricia. *Manual básico de diseño de estructuras de cambio de nivel y cambio de dirección con flujo a gravedad*. p. 10.

Ventajas:

- Posibilidad de descargar caudales máximos del orden de 100 m³/s y en desniveles máximos hasta de 100 m.
- Garantía de flujo estable en el movimiento helicoidal.
- Ausencia de ruido en el movimiento de caída.
- Disminución y/o eliminación de olores desagradables.
- Mínimo de energía remanente al pie.
- Garantía de flujo controlado y regulado en la salida del desnivel.
- Posibilidad de control eficiente en las crecidas.

Figura 30. Esquema general de un descargador vórtice



Fuente: HARO, Patricia. *Manual básico de diseño de estructuras de cambio de nivel y cambio de dirección con flujo a gravedad*. p. 11.

3.1.2. Variables del cálculo del dissipador

El dimensionamiento de un dissipador como los que a continuación se presentan, se basan en las variables siguientes: caudal, velocidad de ingreso, la caída total (desnivel), tirante del flujo.

3.1.2.1. Caída vertical

De la figura 18 se tiene: $d_1 + hv_1 + D_1 = d_c + h_{vc} + h_e$

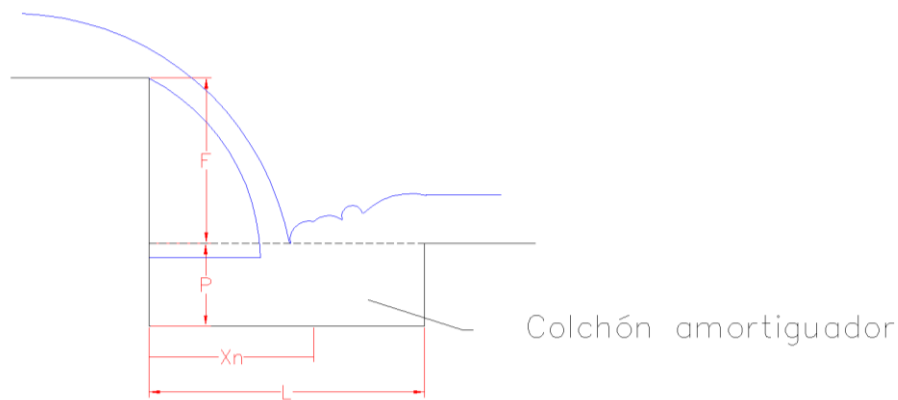
Donde:

d_1 = tirante normal en el canal superior

hv_1 = carga de velocidad en el canal superior

- D1 = desnivel entre el sitio donde comienza el abatimiento y la sección de control, cuyo valor se desprecia por pequeño.
- h_{vc} = carga de velocidad en la sección de control.
- d_c = tirante crítico.
- h_e = suma de las pérdidas ocurridas entre las dos secciones.

Figura 31. **Variables de cálculo del dissipador de caída vertical**



Fuente: elaboración propia, empleando Civil 3D, 2018.

Paso 1. Datos para realizar los cálculos.

Tabla IV. **Datos para disipador de caída vertical**

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal	Q	23	m ³ /s
Velocidad	V	4,60	m/s
Ancho	B	3,20	m
tirante normal	d1	2,0	m
Desnivel	F	4,0	m
Abatimiento	D1	0,00	despreciable
Prof. colchón	P	1,45	m

Fuente: elaboración propia.

Paso 2. Cálculo del tirante crítico (d_c).

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 g}}$$

Paso 3. Cálculo de la carga de velocidad en la sección de control (h_{vc}).

$$h_{vc} = \frac{1}{2} d_c$$

Paso 4. Carga de velocidad en el canal superior (h_{v1}).

$$h_{v1} = \frac{v^2}{2g}$$

$$vc = (2ghvc)^{1/2}$$

$$he = \frac{0.5(vc^2 - v^2)}{2g}$$

Tabla V. **Cálculos**

Estimación		
hv1	1,078	m
d1+hv1	3,068	m
dc	1,816	m
hvc	0,908	m
vc	4,221	m/s
he	-0,085	m

Fuente: elaboración propia.

Paso 5. Comprobar que $dc + hvc + he \cong d1 + hv1$

Tabla VI. **Comprobación**

Comprobación		
dc+hvc+he	2,505	m
d1+hv1	3,068	m

Fuente: elaboración propia.

Por lo que se debe disminuir el ancho para que cumpla la comprobación de la sección planteada sino seguir con la siguiente comprobación.

Paso 6. Calcular el colchón hidráulico, calculando la longitud del colchón L suponiendo la profundidad P.

Desnivel F= 4,50 m

Profundidad P=1,82 m

$$Y = P + F$$

$$Xn = vc * \left(\frac{2y}{g}\right)^{1/2}$$

Longitud del colchón

$$L = 2 * Xn$$

Tabla VII. **Cálculo de colchón**

Colchón		
Y	5,45	m
Xn	4,35	m
L	8,71	m

Fuente: elaboración propia.

Paso 7. Comprobar que la profundidad propuesta y calculada sea casi igual.

$$P = \frac{L}{6}$$

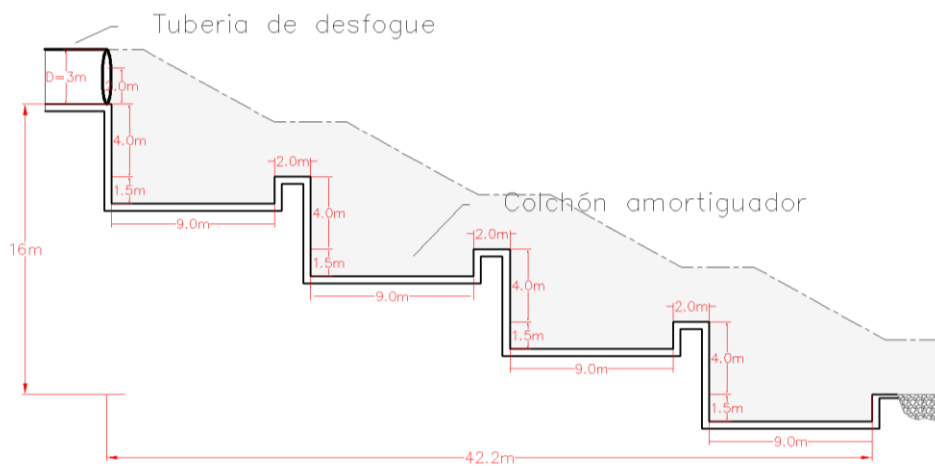
Tabla VIII. **Comprobación de la profundidad**

Comprobación profundidad		
P	1,45	m

Fuente: elaboración propia.

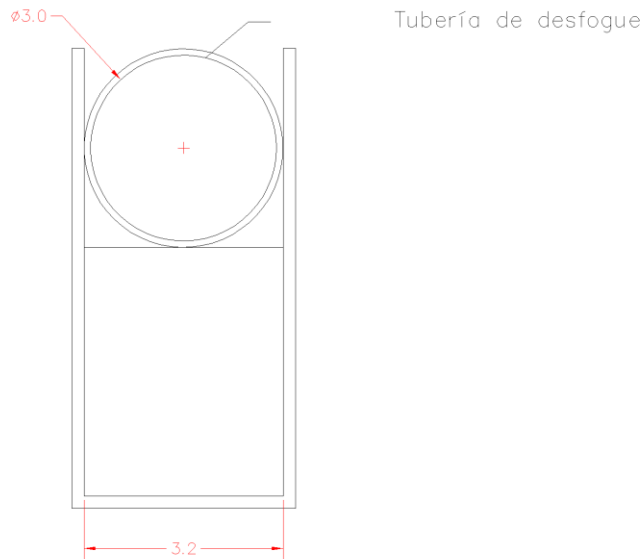
Como las profundidades son iguales se acepta el dimensionamiento del colchón. Las dimensiones finales del colchón se dejan en $L = 9,0$ m y una altura, $P = 1,5$ m.

Figura 32. Perfil del diseño del dissipador de caída vertical



Fuente: elaboración propia, empleando Civil 3D, 2018.

Figura 33. **Sección de inicio del dissipador de caída vertical**



Fuente: elaboración propia, empleando Civil 3D, 2018.

3.1.2.2. Estanques amortiguadores

Para el calculo del dissipador de energía de estanques amortiguadores se necesita saber el caudal, el ancho para el canal, altura de salida del flujo de agua, carga del flujo (tirante).

Tabla IX. **Datos para dissipador de bloques de impacto**

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal	Q	23	m ³ /s
Ancho	L	4	m
Altura de salida	P	16	m
Carga del flujo	H ₀	2	m

Fuente: elaboración propia.

Paso 1. Cálculo del tirante contraído (y_1).

$$Y_1 = \frac{E_0}{3} * (1 - 2 \cos(60 + \frac{\theta}{3}))$$

Siendo:

$$\theta = \cos^{-1}(1 - 0.73q^2E_0^{-3})$$

$$q = \frac{Q}{L}$$

$$E_0 = P + H_0$$

Donde:

Y_1 =profundidad de circulación en la sección inicial del salto (m)

E_0 =Energía específica (m)

θ = Ángulo de inclinación

q = Relación entre el caudal total y la longitud total ($m^3/s/m$)

Q = Caudal total (m^3/s)

$L=b$ = Ancho del vertedero (m)

P' = Altura a la salida del vertedero (m)

H_0 = Carga del flujo (m)

Tabla X. **Cálculo del tirante contraído Y1**

Símbolo	Valor
q	5,75
E₀	18
θ°	5,21
Y1	0,32

Fuente: elaboración propia.

Paso 2. Cálculo de la velocidad a la entrada del estanque V₁.

$$V_1 = \frac{q}{Y_1}$$

Donde:

q= Caudal unitario (m³/s/m)

Paso 3. Cálculo del número de Froude a la entrada del estanque Fr₁.

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gY_1}}$$

Calculado el número de Froude se analiza el tipo de salto que se va a dar en el estanque, para saber el tipo de estanque que se va a diseñar:

Si $2.5 \leq Fr_1 \leq 4,5$ = Salto oscilante, se diseña un estanque Tipo 1

Si $Fr_1 > 4,5$ = salto estable

$V_1 < 15$ m/s = Estanque Tipo II

$V_1 \geq 15$ m/s= Estanque Tipo III

Tabla XI. **Cálculo del número de Froude**

Símbolo	Valor
V_1	18,08 m/s
Fr_1	10,24

Fuente: elaboración propia.

El régimen hidráulico indica que el número de $Fr > 4,5$ y $V_1 \geq 15$ m/s, lo que indica que el tipo de resalto es estable, requiriendo un estanque amortiguador tipo III.

Paso 1. Cálculo del tirante conjugado (Y_2).

$$y_2 = \frac{Y_1}{2} \left(\sqrt{8Fr_1^2 + 1} - 1 \right)$$

Paso 2. Cálculo de la longitud del estanque amortiguador tipo III (L_1).

$$L_{III} = Y_2 (3,55 + 0,06Fr_1 - 0,00015Fr_1^2)$$

Paso 3. Calcular la dimensión de los dientes deflectores.

Ancho = y_1

Alto = y_1

Espacio entre dientes = y_1

Espacio fraccional = $\frac{(b-(2n-1)y_1)}{2}$

Paso 4. Calcular el número de dientes (n).

$$n = \frac{b}{2Y_1}$$

Tabla XII. **Cálculo de dientes deflectores**

Cálculo de dientes deflectores	
Y2	4,45
LIII	18,45
Ancho	0,32
Alto	0,32
Espacio entre dientes	0,32
Espacio fraccional	0,25
n	6

Fuente: elaboración propia.

Paso 5. Calcular las dimensiones del umbral terminal.

Altura = 0,2 y2

Ancho = 0,15 y2

Espacio entre dientes = 0,15 y2

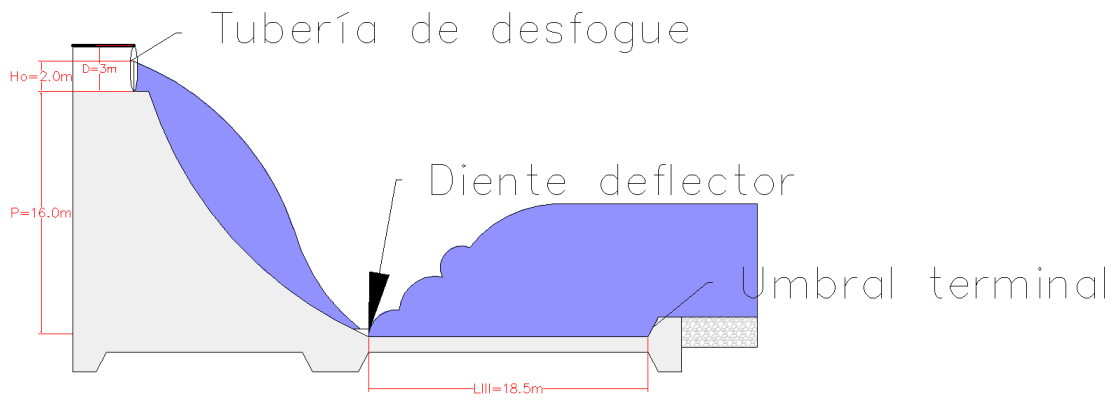
Ancho superior del diente = 0,02 y2

Tabla XIII. **Cálculo de las dimensiones del umbral terminal**

Dimensiones del umbral	
Altura	0,89
Ancho	0,67
Espacio entre dientes	0,67
Ancho superior del diente	0,09

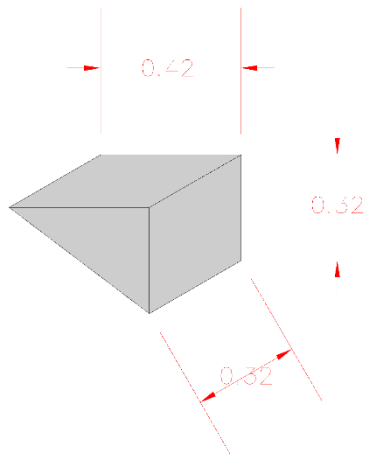
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Dimensiones del dissipador



Fuente: elaboración propia, empleando Civil 3D, 2018.

Figura 35. Diente deflector



Fuente: elaboración propia, empleando Civil 3D, 2018.

Debido a la altura de la caída (16 m), el dissipador de energía requiere un perfil hidráulico similar a un vertedero tipo cimacio, lo que vendría a elevar el costo de la obra, en comparación con el dissipador de caída vertical.

En la entrada del estanque el dissipador cuenta con 6 dientes deflectores, con un espacio de 0,32 m entre cada uno, en un ancho total de 4 metros. La longitud total del estanque amortiguador es de 18,45 m, con un umbral terminal de 0,89 de altura con 0,67 de ancho y un espacio de 0,67 m entre cada diente para terminar de amortiguar la energía del flujo.

CONCLUSIONES

1. La caída desde el desfogue del colector de aguas residuales y pluviales es de 16 m hasta la quebrada Las Ardillas. La erosión y socavación han venido contribuyendo a la profundización del cauce, esto ha ido afectando la estabilidad de los taludes, provocando deslizamientos en ambas laderas del cauce.
2. El caudal de diseño para el dissipador de energía propuesto, se estima en $23 \text{ m}^3/\text{s}$, y está asociado a un período de retorno de 100 años o probabilidad de excedencia anual de 0,01.
3. Para el área de estudio, se aplicaron dos tipos de dissipadores: caída vertical y estanque amortiguador. El primero consiste en 4 unidades de caída de 4 m cada una. El segundo requiere de un estanque amortiguador tipo III. Desde el punto de vista hidráulico ambas opciones son apropiadas.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar, desde el punto de vista económico, financiero, ambiental y constructivo, las dos opciones analizadas hidráulicamente en este estudio, para decidir cuál de ellas es la más apropiada.
2. Estimar, las condiciones hidráulicas del cauce de la quebrada Las Ardillas, como tirantes de agua, velocidades, niveles de socavación, aguas abajo del dissipador propuesto y para el caudal de diseño, estimado en este trabajo, con fines de establecer medidas de protección de la misma.
3. Valuar las medidas de protección de taludes y lecho del cauce de la quebrada, aguas abajo del dissipador propuesto.
4. Establecer opciones para la prolongación del colector, a partir del desfogue hacia aguas abajo, para evitar el flujo directo del agua en el cauce actual de la quebrada Las Ardillas.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRIZUELA MARTINEZ, Victor Samuel. *Criterios para el diseño de descargas de sistemas de drenaje pluvial, en el área metropolitana de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 83 p.
2. CHOW, Ven Te. *Hidráulica de canales abiertos*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A., 1994. 667 p.
3. CORDÓN GIRÓN, Héctor Aroldo. *Propuesta de la instalación de disipadores de energía para proteger las bases de los puentes*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 112 p.
4. GRACIA SANCHEZ, Jesús. *Salto hidráulico oblicuo en tanques amortiguadores de sección transversal trapecial*. Tecnología y ciencias del agua, vol II. [en línea]. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000200003>. [Consulta: 3 de octubre de 2018].
5. HARO RUIZ, Patricia Lorena. *Manual básico de diseño de estructuras de cambio de nivel y cambio de dirección con flujo a gravedad*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería y Ciencias, Escuela Politécnica Nacional de Quito, 2006. 126 p.

6. HARO, Patricia. *Eficiencia en la disipación de energía en estructuras para cambio simultáneo de nivel y de dirección en sistemas de alcantarillado en ciudades Andinas*. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Revista politécnica. Vol. 38, No 2, Quito Ecuador, 2017. 11 p.
7. MARMONTI, Ignacio. *Evaluación de la erosión local aguas debajo de saltos de esquí convencional sin impacto entre sus trayectorias*. Laboratorio de hidráulica. Instituto Nacional del Agua. Ezeiza, Argentina, 7 p.
8. MEJÍA FERNÁNDEZ, Fernando. *Estructuras de vertimiento de aguas en laderas de media a fuerte pendiente*. Universidad Nacional de Colombia, 2003. 99 p.
9. POITÁN RODRÍGUEZ, Alvin Vontayre. *Análisis del proceso erosivo y de falla del talud ubicado en el parque ecológico Las Ardillas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad de Guatemala zona 12*. Universidad de San Carlos de Guatemala, División de Servicios Generales, 2014. 12 p.
10. RAMÍREZ BACH, Jacob Isaac. *Diseño geotécnico para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico "las ardillas" y viveros dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 146 p.

11. RIOS VARILLAS, Diego. *Investigación de la disipación de energía en el modelo hidráulico del proyecto alto Piura*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Piura, 2014. 131 p.
12. ROSADO CANTILLO, Gabriel Alfonso. *Metodología para el diseño de canales escalonados de energía, empleados en drenaje urbano, basada en modelación física*. Trabajo de graduación. Facultad de Minas, Medellín, Colombia, 2017. 149 p.
13. SILLIN LOPEZ, Oscar Armando. *Diseño de la red de drenaje sanitario del sector los aguacatillos zona 2; saneamiento de los ríos Sacumá, Cuyumpá y Minerva por medio de la canalización de las aguas residuales de las zonas 1, 2, 3, 5, 6 y 7; y diseño de canal cerrado sobre el río minerva de la cabecera municipal de Huehuetenango, Huehuetenango*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 117 p.
14. VILLAMARIN PAREDES, Sorayda Carolina. *Manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Escuela Politécnica del Ejercito de Sangolquí, 2013. 233 p.

