

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



INGENIERÍA BÁSICA DE OBRAS CIVILES DE DESCARGA SUPERFICIAL TERMINAL DE DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES MEDIANTE RÁPIDAS ESCALONADAS EN EL CONJUNTO URBANÍSTICO “LUISA CÁCERES DE ARISMENDI” (ES-1), EN LA POBLACIÓN DE EL SALTO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA.

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR LOS
BACHILLERES BETANCOURT
G., ANGEL RICARDO Y MUÑOZ
A., ERICK MEL PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL**

CIUDAD BOLÍVAR, JUNIO DE 2022



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, intitulado **“INGENIERÍA BÁSICA DE OBRAS CIVILES DE DESCARGA SUPERFICIAL TERMINAL DE DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES MEDIANTE RÁPIDAS ESCALONADAS EN EL CONJUNTO URBANÍSTICO “LUISA CÁCERES DE ARISMENDI” (ES-1), EN LA POBLACIÓN DE EL SALTO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA”**, presentado por los bachilleres **ANGEL RICARDO BETANCOURT GIL.** de Cédula de identidad No. **20.286.253** y **ERICK MEL MUÑOZ ALCALÁ.** de Cédula de identidad No. **20.286.165** para optar al título de ingeniero civil, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres y apellidos	Firmas
<u>Profesor Dafnis Echeverría.</u> (Asesor)	_____
<u>Prof. Francisco Monteverde</u> (Jurado)	_____
<u>Prof(a). Beatriz Echeverría</u> (Jurado)	_____
_____ Profesor Rodolfo González Jefe del Depto de Ing Civil	_____ Profesor Francisco Monteverde Director de la Escuela Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, Junio de 2022.

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso.

A mis padres.

A mi familia.

Ángel Ricardo Betancourt Gil

DEDICATORIA

A Dios.

A mis Padres.

A toda mi familia.

Erick Mel Muñoz Alcalá

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos a Dios por guiarnos y protegernos.

Gracias a nuestros padres y demás familiares.

Gracias a nuestros amigos y compañeros de estudio.

A nuestro tutor y profesor Dafnis Echeverría.

A la Universidad de Oriente,

A la CVG-TECMIN, C.A.

Ángel Ricardo Betancourt Gil

Erick Mel Muñoz Alcalá

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación se basa en la propuesta de la ingeniería básica de un sistema que se encargue de recolectar aguas pluviales drenadas fuera del conjunto urbanístico Luisa Cáceres de Arismendi (codificado ES-1) mediante el diseño de canales abiertos tipo rápidas escalonadas en El Salto, estado Monagas. El nivel de este estudio es de proyecto factible o investigación proyectiva y el diseño o estrategia que será aplicada será de campo y documental, debido a que la información fue recopilada de datos tomados directamente del lugar donde ocurren los hechos en observación. Para realizar esta investigación se tuvo como base la información de antecedentes que permitió guiarse a lo largo del proyecto. Posteriormente, se realizó un estudio del área a tratar con la finalidad de saber qué medidas tomar para cumplir con el objetivo planteado; estimando los parámetros dimensionales e hidráulicos de la zona y la cantidad de agua que escurre fuera de la misma, para determinar el caudal de diseño drenado fuera del urbanismo. Esto se llevó a cabo utilizando el método racional para el cálculo del caudal donde se consideró: el coeficiente de escorrentía necesario para cada tipo de área, la intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 25 años y la cantidad de área de influencia. Los cálculos realizados en este proyecto condujeron al diseño de una torrentera que debe conducir fuera del urbanismo un caudal total de $4.84 \text{ m}^3/\text{s}$. El diseño de esta rápida escalonada se efectuó considerando los caudales que serán drenados por cada parcela urbanizada, por cada tramo de calle y por todas las zonas verdes pautadas en el diseño del urbanismo. Asimismo, utilizando el programa HEC-RAS se verificará que las velocidades y niveles de los flujos que se producirán en la torrentera, cumplirán con lo establecido por el Ministerio de Obras Públicas (M.O.P) y la Gaceta Oficial N° 5.318. Para culminar se analizaron los resultados arrojados y se llegó a la conclusión que era factible la propuesta, ya que cumplía con los objetivos establecidos. La torrentera tendrá una alineación en dirección N 70 W con un recorrido horizontal de 955 m y salvando una diferencia de altura de 12.5 m. tendrá escalones disipadores de energía con una altura máxima de huella (h) cada uno de 1.52 a 1.68 m y una longitud mínima de contrahuella (L_T) de 3.00 m.

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VI
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XIII
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I	4
SITUACIÓN A INVESTIGAR	4
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2 Objetivos de la investigación	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos	7
1.3 Justificación de la investigación	8
1.4 Alcance de la investigación.....	8
CAPÍTULO II	9
GENERALIDADES	9
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	9
2.2 Vegetación típica de la región	11
2.3 Geología del área de estudio	12
2.4 Geomorfología del área de estudio	12
2.5 Suelos del área de estudio	14
CAPÍTULO III	16
MARCO TEÓRICO	16
3.1. Antecedentes de la investigación.....	16
3.2. Bases teóricas	19
3.2.1 Hidrología urbana	19
3.2.2 Sistemas de drenaje	19
3.2.3 Acciones del sistema de drenaje urbano	20
3.2.4 Objetivos de un sistema de drenaje	20
3.2.5 Tipos de Drenaje.....	21

3.2.6	Variables hidrometeorológicas.....	22
3.2.7	Canales abiertos.....	27
3.2.8	Tipos de canales abiertos	28
3.2.9	Tipos de flujo en canales.....	30
3.2.10	Estados del flujo	32
3.2.11	Distribución de velocidades en canales	33
3.2.12	Geometría de canal	34
3.2.13	Elementos geométricos de una sección de canal	35
3.2.14	Ecuaciones fundamentales que rigen el flujo de un canal	37
3.2.15	Energía específica en un canal	39
3.2.16	Tiempo de concentración	45
3.2.17	Coefficiente de escurrimiento.....	47
3.2.18	Curvas Intensidad, duración y frecuencia	50
3.2.19	Área de captación y cuenca de drenaje	52
3.2.20	Determinación de la capacidad hidráulica de una vía.....	53
3.2.21	Trazado de canales abiertos.....	54
3.2.22	Simulación de los niveles del agua en canales abiertos.....	56
3.2.23	Torrenteras	60
3.3	Bases legales.....	73
3.4	Definición de términos básicos	76
3.4.1.	Acequias.....	76
3.4.2.	Aguas pluviales	77
3.4.3.	Cauce	77
3.4.4.	Caudal	77
3.4.5	Clima.....	77
3.4.6	Cuenca.....	78
3.4.7	Drenaje superficial.....	78
3.4.8	Drenaje transversal	78
3.4.9	Escurrimiento	78
3.4.10	Fluido	79
3.4.11	Flujo	79
3.4.12	Hidráulica	79
3.4.13	Numero de Reynolds	79
3.4.14	Número de Froude	80
3.4.15	Pendiente	80
3.4.16	Régimen	81
3.4.17	Superficie	81
3.4.18	Topografía	81
3.4.19	Volumen.....	81
CAPÍTULO IV.....		82
METODOLOGÍA DE TRABAJO		82

4.1 Tipos de investigación	82
4.1.1 Proyecto factible o investigación proyectiva	82
4.2 Diseño de la investigación	83
4.2.1 Investigación de campo.....	84
4.2.2 Investigación documental	84
4.3 Población y muestra de la investigación.....	85
4.3.1 Población.....	85
4.3.2 Muestra de la investigación.....	85
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	86
4.4.1 Técnicas de recolección de datos	86
4.4.1.2 Revisión literaria.....	87
4.4.1.3 Entrevistas no estructuradas.	87
4.4.2 Instrumentos de recolección de información	87
4.5 Flujograma de investigación	88
A continuación se presentará el flujograma de la investigación en el cual se incluyen las actividades más importantes requeridas para darle respuesta a los objetivos específicos formulados.....	88
Figura 4.1 Flujograma de la investigación.....	88
4.6.1 Procedimiento para el logro de los objetivos	88
CAPÍTULO V	91
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	91
5.1 Características pluviométricas del área en estudio	91
5.1.1 Precipitación.....	92
5.2 Delimitación de la cuenca que aportará las aguas de escorrentía.....	93
5.3 Estimación del coeficiente de escurrimiento ponderado	95
5.4 Estimación del caudal de drenaje	96
5.4.1 Tiempo de concentración e intensidad de lluvia	96
5.4.2 Caudales de drenaje	99
5.5 Trazado en planta y longitudinal de la torrentera	99
5.5.1 Trazado en planta de la torrentera	99
5.5.2 Perfiles longitudinales.....	100
5.6 Elementos geométricos y dimensionales de la torrentera	101
5.6.1 Estimación del ancho de la solera (b) de la torrentera.....	101
5.6.2 Profundidad normal y profundidad crítica de la torrentera.....	102
5.6.3 Parámetros hidro-geométricos de la rápida escalonada.....	104
5.6.4 Huella y contrahuella de la torrentera.....	106
5.7 Evaluación de los flujos que se producen en la rápida escalonada	108
CAPÍTULO VI.....	111
LA PROPUESTA.....	111

6.1 Objetivo de la propuesta	111
6.2 Alcance de la propuesta	111
6.3 Justificación de la propuesta	111
6.4 Metodología de trabajo	111
6.5 Propuesta de canales	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
Conclusiones	113
Recomendaciones	114
REFERENCIAS.....	115

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación nacional del área de estudio.....	9
2.2 Ubicación regional del área de estudio.....	10
2.3 Ubicación relativa del urbanismo.....	10
2.4 Vegetación típica en el área de estudio.....	12
2.5 Relieve típico del área.....	14
2.6 Suelos del área de estudio.....	15
3.1 Abaco para estimación del tiempo de concentración en cuencas rurales (Arocha, 2012).....	47
3.2 Interfase de entrada y salida de datos del programa HCANALES para el caso de canales de sección rectangular...	60
3.3 Torrentera en gradería (Aristizabal et al,2013).....	64
3.4 Torrentera en gradería con bloques en el fondo (Aristizábal et al, 2013).....	65
3.5 Régimen de flujo saltante sobre un canal en gradería (Mejía, 1999).....	65
3.6 Flujo rasante sobre una rápida escalonada. (Casa et al, 2018)...	70
3.7 Ejemplo dimensional de una rápida escalonada (Casa, et al, 2018).....	70
3.8 Ejemplo dimensional de una rápida escalonada (Casa, et al, 2018).....	70
3.9 Ejemplo de distribución de presiones en el escalón (Casa et al, 2018).....	72
3.10 Esquema de la distribución de velocidades (Casa et al, 2018)....	73
4.1 Flujograma de la investigación.....	88
5.1 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).....	93
5.2 Modelo de propuesta urbana del urbanismo Luisa Cáceres de Arismendi.....	94
5.3 Sentido de los flujos de escorrentía a través de vialidades.....	94
5.4 Curva IDF para estación El Silencio período 1968 - 2000 (CVG Tecmin, C.A., 2015).....	98
5.5 Trazado en planta de la torrentera.....	100
5.6 Perfil longitudinal de la rápida escalonada.....	101
5.7 Profundidad normal para canales de sección rectangular (Camacho,F., 1996).....	103
5.8 Cálculo del tirante crítico (y_c) según HCANALES.....	104
5.9 Modelamiento de canal tipo caída sin disipación de energía generado por el programa HCANALES.....	105

5.10	Modelamiento de los flujos en la rápida escalonada.....	109
5.11	Perfil longitudinal básico de la rápida escalonada.....	110

LISTA DE TABLAS

		Página
2.1	Coordenadas UTM de los vértices del área de estudio. (Datum REGVEN, Huso 20, elipsoide GRS-80).....	11
3.1	Velocidades de escurrimiento en laderas. Cobertura Vegetal (V= m/minutos). (Arocha Ravelo, 2012).....	46
3.2	Coefficiente de escurrimiento (Bolinaga, 1979).....	48
3.3	Coefficientes de escurrimiento de acuerdo con la zonificación del uso de tierra (Bolinaga, 1979).....	49
3.4	Factores de incremento de “C” (Bolinaga, 1979).....	49
3.5	Coefficientes de escorrentía para su uso en taludes (Japan Road Association, 1984).....	67
3.6	Parámetros hidráulicos del canal rápida.....	68
3.7	Velocidad máxima del material.....	74
3.8	Coefficiente de rugosidad del material (canales).....	74
4.1	Flujograma de la investigación.....	88
5.1	Características de las estaciones climatológicas utilizadas (INAMEH, 2017).....	91
5.2	Precipitación media mensual y anual (mm). Período 1950-2011 (INAMEH, 2017).....	92
5.3	Área total y tipo de cobertura en el urbanismo.....	95
5.4	Estimación del coeficiente de escorrentía ponderado.....	96
5.5	Datos de Intensidad (mm/h) para diferentes duraciones y diferentes períodos de retorno para la estación El Silencio (CVG Tecmin, C.A., 2015).....	97
5.6	Estimación del caudal de drenaje por el método racional.....	100
5.7	Parámetros geométricos e hidráulicos del canal	105
5.8	Valores establecidos para el cálculo de torrenteras (Camacho, 1996).	107
5.9	Parámetros hidráulicos del flujo modelado en la rápida escalonada....	108

INTRODUCCION

Los sistemas de drenaje fueron creados por la necesidad de canalizar las aguas para disminuir los daños que las lluvias ocasionan a la ciudadanía y las edificaciones. Sin embargo el constante crecimiento urbano obliga a una meditación en cuanto a la solución del drenaje, con el objetivo de preservar la integridad física de las vías, garantizar el libre desenvolvimiento de la ciudadanía en épocas de grandes lluvias.

La vida útil de los sistemas de drenaje urbano está muy relacionados no solo con la calidad de los materiales utilizados y la calidad de construcción, sino en su planificación y concepción de los criterios de diseño. La recolección, encauzamiento y disposición de las aguas, tanto superficiales como subterráneas son especiales para garantizar la estabilidad e integridad de las ciudades.

Es importante destacar que se debe hacer mantenimiento a los sistemas de drenaje de aguas pluviales o en algunos casos, debido al desarrollo del urbanismo, rediseñar sus características para un mejor funcionamiento.

Un problema que muchas veces se deja de lado es el destino final de las aguas de escorrentía pluvial una vez que ha sido drenada fuera del urbanismo, y es que este caudal acumulado puede causar mucho daño al ambiente y a otras infraestructuras aledañas al urbanismo en estudio. En vista de ello, se hace necesario la implementación de canales recolectores finales de especial diseño que permitan encauzar estas aguas y disponerlas a niveles más bajos donde no causen traumas a las infraestructuras.

Este es el caso que se tratará en este documento, en el cual se presentará un sistema de disposición final de drenaje de aguas pluviales basado en torrenteras que manejarán las escorrentías pluviales fuera del conjunto urbanístico “Luisa Cáceres de Arismendi” (ES-1).

Esta investigación se plantea con un nivel de proyecto factible para el cual se aplica un diseño o estrategia de investigación de campo y documental. Para plantear la propuesta se deberá previamente estimar el caudal que se drenará fuera del urbanismo, para ello se utilizará el método racional por tratarse de un área inferior a las 500 ha. Posteriormente se plantea el alineamiento en planta y en perfil de los elementos integrantes del sistema de drenaje, se determinan los parámetros geométricos y dimensionales de la rápida escalonada final y la ubicación de su descarga.

El desarrollo del estudio se presenta en este documento estructurado en capítulos:

Capítulo I. Situación a investigar: se presentan los argumentos que sustentan el planteamiento del problema así como el enfoque requerido para que se desarrollará la investigación. Se especifican los objetivos necesarios para el desarrollo del estudio, la justificación y el alcance del mismo.

Capítulo II. Generalidades: se describen aspectos pertinentes a la investigación sobre el área de estudio, su ubicación geográfica, acceso al área y características físicas de las vías.

Capítulo III. Marco teórico: se mencionan investigaciones realizadas por otros autores, las cuales sirvieron de referencias para considerar distintos factores y complementar algunos aspectos del presente estudio. Se presenta toda la información

bibliográfica referente a las distintas áreas y componentes del estudio, además de las bases legales que aplican para el mismo.

Capítulo IV. Metodología de trabajo: se explica de manera precisa todas las etapas llevadas a cabo en el desarrollo del trabajo de grado y los pasos específicos necesarios para la recolección, procesamiento e interpretación de los datos.

Capítulo V. Análisis e interpretación de los resultados: es donde analiza e interpreta, los resultados obtenidos a través de los objetivos de la investigación.

Capítulo VI. Propuesta: en esta parte del documento se muestran todos los aspectos conspicuos de la obra hidráulica que se propone construir.

Conclusiones y recomendaciones: se establecen los resultados del proyecto y se establecen las posibles recomendaciones de acuerdo a lo obtenido.

Finalmente, se muestran las Referencias: representa la fuente de información para la realización del proyecto.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad existe una evidente problemática en los sectores urbanizados de las grandes urbes pobladas de Latinoamérica, que han venido creciendo indiscriminadamente sin una planificación verdaderamente efectiva, pues en la mayoría de los casos las construcciones de las viviendas no cumplen con las leyes y reglamentaciones indicadas por los organismos establecidos para ello, en este caso específico, con las reglamentaciones que están relacionadas con la recolección, conducción y disposición de las aguas de lluvia.

En este orden de ideas, es por todos conocido las dificultades que deben afrontar los habitantes de las poblaciones cuando comienza el ciclo de lluvias de cada año. De hecho, aun cuando las lluvias sean de corta duración, las vías de circulación permanecen anegadas de agua, ya que no existen pendiente adecuada en las cunetas que permitan el desagüe del agua que se acumula en las calles, producto de estas precipitaciones, lo que constituye una evidencia fehaciente del diseño y ejecución inadecuados de los sistemas de drenaje en estas áreas.

En este sentido, se puede observar que en Venezuela, más que un incómodo problema urbanístico, las aguas de escorrentía se transforman en un factor modificador del relieve impulsando los procesos de erosión, transporte y depositación de sedimentos que tienden a producirse en el entorno de los urbanismos que han sido drenados mediante sistemas internos de conducción de estas aguas de escorrentía pluvial. El problema se presenta, justamente una vez que el agua de escorrentía sale del urbanismo; surge, entonces, la necesidad de darle una adecuada disposición final

a estas escorrentías para controlar o mitigar el efecto que estos caudales tendrán en el relieve inmediato a las zonas urbanizadas.

La problemática planteada es común al urbanismo “Luisa Cáceres de Arismendi” (ES-1) de la población de El Salto en el estado Monagas, donde hay que señalar el hecho de que las aguas de escurrimiento de los techos, terrazas, patios de las casas y edificaciones y de sus alrededores, ubicadas dentro del área en estudio desaguan directamente desde tales niveles a las calles y/o sistema de cloacas, provocando el colapso de las mismas.

Por otro lado, debido al desnivel que hay entre el citado conjunto urbanístico y las corrientes naturales existentes en el entorno de la población de El Salto y la carencia de un óptimo sistema de drenaje que disipe la energía del agua proveniente de la escorrentía, esta genera oquedades que amenazan con convertirse en cárcavas y otra parte de estas aguas de escorrentía queda estancada en la parte baja, ocasionando agrietamiento y/o socavación del suelo produciendo aún mayor impacto al relieve del entorno de la zona urbanizada.

Por consiguiente, el desarrollo de sistemas óptimos y funcionales de drenajes mediante canales abiertos, torrenteras y fosas de disipación para aguas pluviales es de gran importancia, constituyéndose en una prioridad para las comunidades, ya que estas obras están destinadas a una mejor conducción y disminución de la energía del agua para mitigar su impacto sobre el terreno y en las actividades antrópicas que se pretendan desarrollar en la zona afectada.

Evidentemente existe una gran responsabilidad por parte de la población en cuanto al cumplimiento de las regulaciones y ordenanzas referidas a la forma de recolección, conducción y disposición de las aguas de escurrimiento, sin embargo la tarea del Estado, representado en los organismos competentes es aún mayor, ya que le

corresponde velar porque la disposición de las aguas drenadas se realice en atención a las regulaciones establecidas para ello.

Lo planteado anteriormente nos lleva a las siguientes interrogantes en relación al control de las descargas de drenaje final de aguas de escorrentía pluvial provenientes de la urbanización codificada como ES-I en la población de El Salto en el estado Monagas.

¿Cuáles características pluviométricas se presentan en el área de estudio?

¿Cuáles son los parámetros dimensionales e hidráulicos de la zona de captación en dicha área de estudio?

¿Cómo determinar el caudal de la cuenca y subcuencas en el área de estudio?

¿Cuál sería el trazado en planta y perfil longitudinal de las obras de descarga final en el área de estudio?

¿Cuáles son los parámetros geométricos e hidráulicos de los canales de descarga final propuestos en el área de estudio?

¿Cuáles son las características de los flujos que se producen a través de la rápida escalonada propuesta?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Proponer la ingeniería básica de obras civiles de descarga superficial terminal de drenaje de aguas pluviales mediante rápidas escalonadas en el conjunto urbanístico “Luisa Cáceres De Arismendi” (Es-1), en la población de El Salto, estado Monagas, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar pluviomtricamente el área de estudio.
2. Delimitar la cuenca aportadora de escorrentía de aguas pluviales.
3. Estimar coeficiente de escorrentía ponderado de la cuenca aportadora de agua de escorrentía.
4. Determinar el caudal de drenaje drenado fuera del urbanismo.
5. Efectuar el trazado en planta y perfil longitudinal de la obra civil de drenaje final
6. Calcular los elementos geométricos e hidráulicos del sistema de drenaje.
7. Efectuar el modelamiento de los flujos que se producen a través de la rápida escalonada propuesta.

1.3 Justificación de la investigación

El presente estudio se justifica debido a que se intenta presentar una propuesta factible para prevenir las posibles consecuencias del drenaje pluvial incontrolado en el entorno de las zonas urbanizadas de la zona residencial “Luisa Cáceres de Arismendi” (ES-1) en el sector de El Salto, en relación con la manera como funciona actualmente el drenaje de las aguas de escorrentía pluvial en el sector, de tal manera que conducirá al diseño de un sistema de drenaje óptimo y funcional mediante canales abiertos, torrenteras y una fosa de disipación, las cuales facilitarán la conducción de las aguas pluviales de manera segura, para evitar el impacto negativo en el relieve por la generación de erosión (formación de cárcavas) o depositación de sedimentos que estas aguas puedan ocasionar en el entorno del urbanismo.

1.4 Alcance de la investigación

La ejecución de esta investigación tiene un alcance que abarca desde el análisis de la pluviometría predominante en la zona, la delimitación de las cuencas y subcuencas que drenarán sus aguas pluviales, la determinación del coeficiente de escorrentía ponderado adecuado para la zona, los tiempos de concentración de los tramos de canales que conducirán las aguas pluviales. Asimismo, se determinará la intensidad de lluvia y el respectivo caudal de drenaje total que aportará la cuenca. Tales parámetros permitirán decidir sobre la geometría y dimensiones de los canales, de la torrentera y de la fosa de disipación de descarga final y también de su alineamiento en planta y de su perfil longitudinal.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El estado Monagas está ubicado en la Región Nor-Oriental al noreste del País. Su capital es la ciudad de Maturín. Tiene una extensión geográfica de 28930 km² lo que representa el 3,15% del territorio nacional. Limita por el norte con el estado Sucre, al sur con el Estado Bolívar, al este con el estado Delta Amacuro y el Océano Atlántico y al oeste con el estado Anzoátegui. El área de interés para la realización de la presente investigación comprende una superficie aproximada mayor de 55.23 ha, localizada en una zona perteneciente al municipio Maturín del estado Monagas y en la cual se incluye la población de El Salto y el grupo de micro-cuencas hidrográficas cuyos cauces drenen hacia y desde el área de estudio.



Figura 2.1. Ubicación nacional del área de estudio.

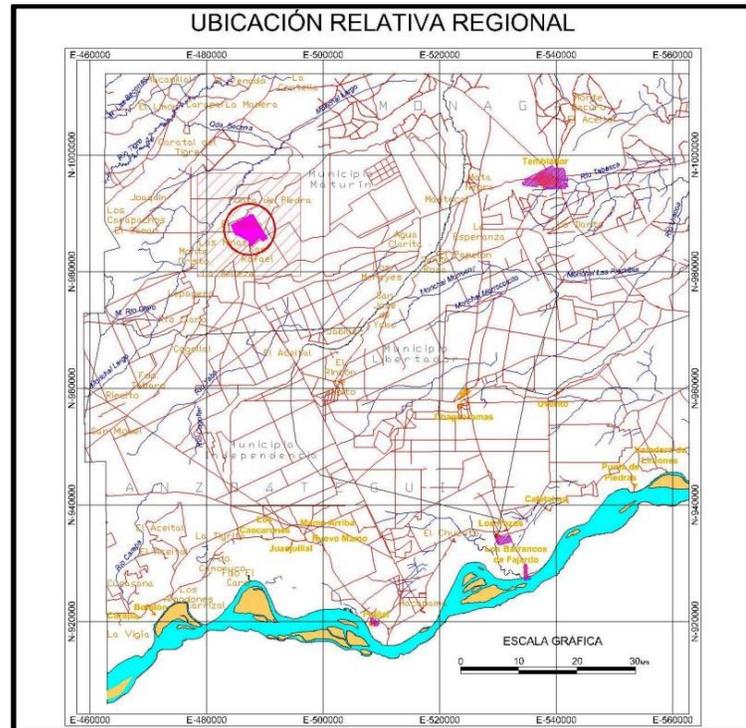


Figura 2.2 Ubicación regional del área de estudio.



Figura 2.3 Ubicación relativa del urbanismo.

Tabla 2.1. Coordenadas UTM de los vértices del área de estudio. (Datum REGVEN, Huso 20, elipsoide GRS-80).

ESTE	NORTE
500830	986086
503860	984417

2.2 Vegetación típica de la región

Las comunidades establecidas en este paisaje son el resultado de factores ecológicos y antrópicos. Así en planicie inundable, producto de reiteradas inundaciones anuales y en una franja, se conformaron albardones de orilla e interiormente, cubetas de desborde y decantación de forma redonda y alargada, depresiones marginales y un síntoma complejo de laguna (Figura 2.4).

Predominantemente domina las comunidades de porte herbáceo y de diferentes fisonomía y composición florística, dependiendo de la disponibilidad de humedad, con individuos arbustivos aislados.

Entre las especies se encuentran. *Cnidoscolus urens* (Guaritoto), *Acanthocereus tetragonus*, *Melochia parvifolia* (Bretónica), *Croton conduplicatus* (Carcanapire), *Merremia aegyptia*, *Ipomoea* sp., *Helicteres guazumaefolia* (Tornillo), *Waltheria indica*, *Hyptis suaveolens* (Mastranto), *Calotropis gigantea* (Algodón de seda), *Wedelia calycina*, *Vismia* sp., *Zanthoxylum* sp., *Securidaca pendula*, *Senna* sp., *Guettarda divaricata*, *Aristida setifolia*, *Rhynchelytrum repens* (Paja rosada), *Panicum* sp, entre otras.



Figura 2.4 Vegetación típica en el área de estudio.

2.3 Geología del área de estudio

Geológicamente el área de estudio está constituida por sedimentos formados por depósitos aluviales de edad Plio-pleistoceno, correspondiente a la Formación Mesa. Además, presentan un perfil topográfico rectilíneo a ligeramente inclinado, con algunos desniveles significativos y un micro-relieve relativamente liso. La mayoría de la Altiplanicie de Mesa posee un carácter depositacional, la cual se manifiestan con la presencia de características que dependen de los procesos sobre el que se depositó un manto superficial de sedimentos aluviales.

2.4 Geomorfología del área de estudio

Fisiográficamente, el área de estudio está conformada por un tipo de paisaje bien diferenciado como es la Altiplanicie de Mesa, cuyo tipo de relieve es una mesa y la forma del terreno varía entre plano a suavemente inclinado. La pendiente de esta unidad geomorfológica está entre 2% y 4%

Además, presentan un perfil topográfico rectilíneo a suavemente inclinado, sin desniveles significativos y un micro-relieve relativamente liso. La mayoría de la

Altiplanicie de Mesa posee un carácter depositacional, de edad Plio-pleistoceno, correspondientes a la Formación Mesa, la cual se manifiestan con la presencia de características que dependen de los procesos sobre el que se depositó un manto superficial de sedimentos aluviales.

En términos generales, puede afirmarse que los procesos erosivos es de tipo laminar, de intensidad baja a ligera y de modalidad generalizada.

Presenta un balance morfodinámico casi estable, ya que constituye un medio con pocos o sin problemas de erosión. No obstante durante los períodos de lluvia en zonas desprovistas de vegetación los procesos erosivos son ligeros a moderados.

En relación al potencial morfodinámico, varía entre baja, a moderado, esta clase de potencial corresponde a la superficie plano- suavemente inclinado, debido a que los factores de precipitación, cobertura vegetal y pendiente no favorecen los procesos erosivos severos. Puede decirse que la cantidad de lluvia es relativamente baja, la vegetación es sabana arbustiva.

La erosión es de tipo escurrimiento difuso, de intensidad ligera y de modalidad generalizada. Estas áreas planas y suavemente inclinada, han sido intervenidas para la construcción de pequeñas viviendas, fundos y uso pecuario, sobre una formación vegetal de sabana gramínea arbustiva.



Figura 2.5 Relieve típico del área.

2.5 Suelos del área de estudio

Los suelos formados en el área, se han desarrollado a partir de sedimentos detríticos que fueron depositados durante el periodo Plio – Pleistoceno. Estos sedimentos han sido sometidos a través del tiempo a una dinámica determinada por un bioclima actual Ombrófilo Macrotérmico, así como un factor hídrico que han sido determinantes en la formación de los suelos.

Estos suelos exhiben un avanzado desarrollo pedogenético (figura 2.6), debido a los intensos procesos de intemperización, a través de prolongados periodos, actuando sobre superficie geomorfológica de relativo grado de estabilidad y condiciones climáticas (bajas precipitaciones y alta temperaturas), que han favorecido la ocurrencia de horizontes de iluviación de arcilla (argílico o kándico).



Figura 2.6 Suelos del área de estudio.

Presentan un avanzado desarrollo evolutivo, son muy profundos (más de 150 cm. de espesor), con colores marrón grisáceo oscuro, marrón amarillento y marrón, en superficie; y en profundidad, rojo amarillento, amarillo rojizo y rojo.

En lo referente a la textura esta es arenosa, areno francosa y franco arenosa en los primeros estratos; tornándose franco arcillo arenosa, franco arcillosa arenosa en profundidad. Son suelos bien drenados, químicamente exhiben pH fuerte a extremadamente ácido, baja saturación con bases y baja capacidad de intercambio de cationes, condiciones que les confiere una baja a muy baja fertilidad natural.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

Para obtener información documental del tema de investigación es necesario hacer referencias a investigaciones anteriormente realizadas, relacionados con el tema en estudio, con la finalidad de comparar y ampliar la información. A continuación, se citaron los siguientes proyectos de grado:

Socorro y Rodríguez (2005) realizaron una investigación denominada **“CAUSAS DE INUNDACIONES POR LLUVIA EN LA URBANIZACIÓN ALTOS DEL PILAR”**. El tipo de investigación utilizada fue de carácter descriptivo. La información se obtuvo por medio de la observación directa en el sitio, toma de fotografías y entrevistas realizadas a los habitantes de la urbanización. Entre los resultados obtenidos, se revela que la urbanización presenta problemas de drenaje de aguas de lluvia en sus calles y en los sistemas cloacales, debido a la adición o incorporación de aguas provenientes de otras urbanizaciones y al uso de los sistemas cloacales como conductos recolectores de aguas de lluvias provenientes de las casas.

Rubén, R. (2009), estudiante del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño Extensión Barinas. En su trabajo especial de grado titulado **“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL EN LA VIALIDAD RURAL DE SANTA LUCIA – JACOÁ, (FUNDO ZAMORANO) DEL MUNICIPIO BARINAS ESTA BARINAS”** fundamentó su proyecto de tipo factible, apoyado en la modalidad de investigación documental y de campo. El mismo consistió en proporcionar una solución a la problemática planteada el cual permitirá por medio de la topografía demarcar la posición exacta del drenaje a utilizar de

acuerdo a su condición de uso (longitudinal o transversal); de igual manera se determinan las nuevas estructuras hidráulicas acordes a las nuevas secciones correspondientes al diseño.

Cedeño y Guerra (2010), en su trabajo de grado titulado **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA RED DE DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES ADYACENTES AL CANAL DE CINTURA EXISTENTE DESDE LA PROGRESIVA 0+000 HASTA LA 1+235 EN CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR**, determinaron la capacidad hidráulica del sistema de drenaje en estudio y delimitaron las áreas tributarias que descargan aguas pluviales en el canal. Siguiendo una metodología descriptiva utilizaron información de la Corporación Venezolana de Guayana “C.V.G”, C.V.G. Tecmin, a partir de estos datos pudieron conocer el material, sección transversal y perímetro mojado, con el cual se pudo calcular el radio hidráulico y coeficiente de rugosidad ponderado que constituye la sección del canal de Cintura, los caudales generados por cada área tributaria, se estudiaron por los métodos racional, Chow y el del Hidrograma Triangular según las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (I.D.F.) reflejado como resultado un perímetro mojado de 9,20 metros, un radio hidráulico de 0,57 metros, y el caudal máximo de 29,95 metros cúbicos/segundo. Concluyendo así, que debido al aumento de tamaño de la ciudad se van incorporando nuevas aguas de escorrentía a dicho canal provocando así las inundaciones.

Esta investigación es de importancia para el presente, porque nos permite guiar en la determinación del caudal de la cuenca y subcuencas en el área de estudio a través del método racional, así como también los parámetros geométricos e hidráulicos en los canales de drenaje propuestos. También es de importancia destacar que los autores consideraron en sus cálculos y análisis de resultados el posible crecimiento de la ciudad para así evitar futuros problemas en el sistema.

Benitez y Seijas, (2.013), en su trabajo de grado titulado: **“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CALLE VICTORIA A LA ALTURA DEL BARRIO LIBERTAD, DE LA PARROQUIA AGUA SALADA, MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR”** plantean como objetivo principal: “Formular una propuesta de un sistema de recolección de aguas pluviales en la calle Victoria del Barrio Libertad parroquia Agua Salada Ciudad Bolívar-Estado Bolívar”, buscando una posible solución a la problemática de inundaciones en zonas urbanas que suelen producirse en épocas de lluvia principalmente en los sectores marginados, como barrios y específicamente como lo es en el Barrio Libertad.

En ese sentido, esta investigación aportará metodológicamente los procedimientos de diseño que en ella se aplicaron y que pueden ser utilizados en el presente estudio.

Blanco Gladys y De Brito Roger, (2009), en su tesis de grado titulada **DISEÑO DE PROGRAMA COMPUTARIZADO PARA EL ESTUDIO DE CANALES ABIERTOS. UNIVERSIDAD DE ORIENTE. CIUDAD BOLÍVAR. VENEZUELA**, evaluaron y diseñaron un programa para la construcción de canales abierto por el método de tablas. Siguieron un tipo de investigación proyectiva y un diseño de tipo aplicada, debido a que la creación del programa constituye una solución al problema planteado y da respuesta a sus objetivos.

Como conclusión resultaron cuarenta y cuatro algoritmos que varían según el procedimiento de cálculos, ya sea para canales revestidos, para canales revestidos con cobertura vegetal, y para canales no revestidos, utilizaron un lenguaje de programación llamado Microsoft Visual Basic y un manejador de base de datos conocido como Microsoft Access; ambos permiten una gestión eficiente y rápida de los datos.

Cabe destacar que utilizaron un ejemplo físico, tomando el canal revestido de la urbanización Vista Hermosa para verificar la eficiencia del programa. Este trabajo es relevante para el presente por el tipo de investigación que presenta la metodología en el desarrollo del proyecto.

Estos trabajos son relevantes para el presente porque posee las herramientas necesarias para guiarnos en el trazado de los canales del sistema de drenaje por el que circularan las aguas pluviales, tomando en cuenta la topografía del lugar. También el cálculo del caudal máximo que circula en la zona.

3.2. Bases teóricas

3.2.1 Hidrología urbana

Es la rama de la hidrología que estudia la hidrología de las zonas urbanas y metropolitanas, y describe los procedimientos utilizados en la determinación de los escurrimientos para la planificación y proyecto de sistemas de drenaje urbano.

3.2.2 Sistemas de drenaje

Se entenderá por sistema de drenaje un conjunto de acciones, materiales o no, destinadas a evitar en la medida de lo posible que las aguas pluviales causen daños a las personas o a las propiedades en las ciudades u obstaculicen el normal desenvolvimiento de la vida urbana, es decir, dirigidas al logro de los objetivos establecidos.

Dentro del término “aguas pluviales” quedan comprendidas no solamente las aguas originadas por las precipitaciones que caen directamente sobre las áreas urbanizadas que conforman la población, sino también aquellas que provienen de

otros sectores y discurren a través de la ciudad, bien sea por cauces naturales, conductos artificiales o simplemente a lo largo de su superficie (Chow, 2008).

3.2.3 Acciones del sistema de drenaje urbano

Las acciones a que se refiere la definición de sistema de drenaje urbano pueden ser de dos tipos: Preventivas, que disminuyen los daños mediante la administración adecuada de los usos de las áreas potencialmente sujetas a ellos; y Correctivas, que alivian esos daños en las áreas donde las medidas de tipo preventivo son insuficientes.

Como un ejemplo práctico podemos decir que las acciones que impliquen la construcción de una obra hidráulica, u otras cuyas dimensiones y características se modifiquen por razones hidráulicas, son correctivas, y las restantes se consideran preventivas (Chow, 2008).

3.2.4 Objetivos de un sistema de drenaje

Un sistema de drenaje urbano debe de estar dirigido al logro de unos objetivos, es decir los fines o intenciones hacia los cuales se dirigen las acciones a llevar a cabo.

Estos objetivos son dos uno básico, que evita al máximo posible los daños que las aguas de lluvia puedan ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano; y un objetivo complementario, que propone garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las poblaciones, permitiendo un apropiado tráfico de personas y vehículos durante la ocurrencia de precipitaciones.

3.2.5 Tipos de Drenaje

3.2.5.1 Drenaje superficial

Comprende las acciones correctivas constituidas por el conjunto de facilidades naturales y artificiales que conducen al escurrimiento superficial, desde el lugar de caída de las aguas de lluvia hasta su entrada en un cauce natural o en un conducto artificial, disminuyendo las molestias al tráfico de personas y vehículos (Chow, 2008).

3.2.5.2 Drenaje secundario

Es el conjunto de acciones correctivas constituidas por los conductos y obras conexas construidas por el hombre, las cuales permiten garantizar que las aguas no obstaculicen el normal desenvolvimiento del tráfico de personas y vehículos en las áreas de escurrimiento (Chow, 2008).

3.2.5.3 Drenaje primario

Es el conjunto de acciones correctivas constituido por los cauces naturales, los conductos artificiales y obras conexas, dirigidas a salvaguardar la vida de las personas y evitar el daño a las propiedades existentes en las áreas de escurrimiento. Sin embargo, en la práctica lo anterior se traduce en que el drenaje primario debe ser concebido principalmente en forma tal, que conjuntamente con las acciones preventivas cumpla con el objetivo básico, comprobándose su funcionamiento para el complementario; y en el caso del drenaje superficial y secundario debe verificarse en primer lugar el objetivo complementario y luego comprobar para el básico.

Una manera sencilla de distinguir el drenaje primario del secundario es asociándolo al caso de un conducto artificial. Si las dimensiones del conducto establecidas de acuerdo con la función complementaria permanecen sin modificaciones y garantizan el grado de protección requerido en la función básica, entonces el conducto es un drenaje secundario, pero si por el contrario existe la necesidad de aumentar esas dimensiones para garantizar el buen funcionamiento del sistema, entonces estamos en presencia de un drenaje primario.

Asimismo, la secuencia del escurrimiento no es necesariamente del drenaje superficial, al secundario y luego al primario, pues el drenaje secundario puede ser parcial o totalmente descartado (Chow, 2008).

3.2.6 Variables hidrometeorológicas

3.2.6.1 Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal, etc.) por unidad de tiempo.

Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

Generalmente se mide en m^3/s , y es directamente influenciado por: La precipitación sobre la cuenca, las características geológicas, edafológicas y topográficas de la cuenca y la cobertura vegetal (Chow, 2008).

3.2.6.2 Evaporación

Se define como el proceso mediante el cual se convierte el agua líquida en un estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible.

También se requiere que la humedad de la atmósfera sea menor que la superficie de evaporación (a 100% de humedad relativa no hay evaporación).

Generalmente se expresa en mm por unidad de superficie, por unidad de tiempo, y es directamente influenciada por:

- a. El viento.
- b. La temperatura del agua y del aire.
- c. La humedad del aire (Chow, 2008).

3.2.6.3 Evapotranspiración

Se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo. Es directamente influenciada por:

- a. El tipo de cobertura vegetal.
- b. La disponibilidad de humedad (agua libre) en el suelo.
- c. La profundidad del manto freático.
- d. La radiación solar.
- e. La temperatura (Chow, 2008).

3.2.6.4 Precipitación

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la .única entrada principal al sistema hidrológico continental. Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico. Generalmente se expresa en mm, y es directamente influenciada por:

- a. Los vientos.
- b. La topografía del área.
- c. Presión atmosférica.
- d. Presencia de frentes.
- e. Temperatura (Chow, 2008).

3.2.6.5 Humedad

La cantidad de vapor de agua presente en el aire se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad. La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura (Chow, 2008).

La humedad del aire es un factor que sirve para evaluar la comodidad térmica del cuerpo vivo que se mueve en cierto ambiente. Sirve para evaluar la capacidad del aire para evaporar la humedad de la piel, debida a la transpiración fundamentalmente. También es importante, tanto la del aire, como la de la tierra, para el desarrollo de las plantas. Generalmente se expresa en %, y es directamente influenciada por:

- a. La temperatura.
- b. La radiación solar.
- c. El viento.
- d. La disponibilidad de humedad en el suelo.
- e. El tipo de vegetación.
- f. La proximidad o no de grandes superficies líquidas como el mar o lagos.

3.2.6.6 Temperatura

La temperatura es una propiedad física que se refiere a las nociones comunes de calor o ausencia de calor, sin embargo, su significado formal en termodinámica es más complejo (Chow, 2008).

La temperatura está íntimamente relacionada con la energía interna y con la entalpía de un sistema: a mayor temperatura mayor será la energía interna y la entalpía del sistema.

La temperatura es una propiedad intensiva, es decir, que no depende del tamaño del sistema, sino que es una propiedad que le es inherente y no depende ni de la cantidad de sustancia ni del material del que este compuesto.

3.2.6.7 Radiación solar

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar (Chow, 2008).

3.2.6.8 Viento

El viento es el flujo de gases a gran escala. En la Tierra, el viento es el movimiento en masa del aire en la atmósfera en movimiento horizontal. Generalmente se expresa en km/h, y es directamente influenciada por: presencia de frentes (Chow, 2008).

3.2.6.9 Presión Atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire sobre la superficie terrestre. La presión atmosférica en un punto coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera. Como la densidad del aire disminuye conforme aumenta la altura, no se puede calcular ese peso a menos que seamos capaces de expresar la variación de la densidad del aire ρ en función de la altitud z o de la presión p (Chow, 2008) .

3.2.6.10 Transpiración

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración (Chow, 2008).

3.2.6.11 Nubes

Una nube es un hidrometeoro que consiste en una masa visible formada por cristales de nieve o gotas de agua microscópicas suspendidas en la atmósfera. Las nubes dispersan toda la luz visible y por eso se ven blancas.

Sin embargo, a veces son demasiado gruesas o densas como para que la luz las atraviese, cuando esto ocurre la coloración se torna gris o incluso negra (Chow, 2008).

3.2.6.12 Neblina

La neblina es un fenómeno meteorológico, concretamente un hidrometeoro, que consiste en la suspensión de muy pequeñas gotas de agua en la atmósfera, de un tamaño entre 50 y 200 micrómetros de diámetro, o de partículas higroscópicas húmedas, que reducen la visibilidad horizontal a una distancia de un kilómetro o más.

Ocurre naturalmente como parte del tiempo o de la actividad volcánica. Es común en atmósfera fría debajo de aire templado (Chow, 2008).

3.2.6.13 Interceptación

Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora.

La interceptación, juntamente con el agua que permanece retenida en las pequeñas pozas, y la humedad del suelo (agua retenida en los poros, sin llegar a saturarla), constituyen la humidificación del suelo, y no contribuyen al escurrimiento superficial ni al subterráneo (Chow, 2008).

3.2.7 Canales abiertos

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua, fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial. En los canales

naturales influyen todos los tipos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales (Chow, 2008).

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes en las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante tratamiento analítico de la hidráulica teórica. Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras etc., así como canales de modelos de laboratorio con propósitos experimentales; las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirá resultados bastante similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseños (Chow, 2008).

3.2.8 Tipos de canales abiertos

Los canales abiertos pueden ser clasificados como naturales o artificiales. La terminología de canal natural se refiere a todos los canales que han sido desarrollados por procesos naturales y que no han tenido una mejoría significativa por parte de los humanos.

Dentro de esta categoría están los riachuelos, grandes y pequeños ríos y los estuarios. La teoría de canales artificiales incluye todos los canales que han sido desarrollados por el esfuerzo humano (Chow, 2000) .

Dentro de esta categoría están los canales de navegación, canales de fuerza e irrigación, cunetas y acequias de drenaje. En este caso, se van a desarrollar los tipos de canales abiertos artificiales, dentro de la amplia categoría los canales abiertos tienen la siguiente subdivisión:

3.2.8.1 Prismáticos

Un canal prismático es el que tiene constantes tanto la forma transversal como la pendiente del fondo. Los canales que no entran en este criterio son los llamados no-prismáticos (Chow, 2000).

3.2.8.2 Canal

El termino canal se refiere a un gran conducto abierto de pendiente suave. Estos conductos abiertos pueden ser no revestidos o revestidos con concreto, cemento, pasto, madera, materiales bituminosos, o una membrana artificial (Chow, 2000).

3.2.8.3 Medidor de régimen crítico

En la práctica el término medidor de régimen crítico se refiere a un canal construido sobre la superficie del terreno para conducir un flujo a través de una depresión. Estos medidores usualmente se construyen de madera, metal, mampostería o concreto. El término medidor de régimen crítico es también aplicado a canales construidos en el laboratorio para estudios básicos y de aplicación.

3.2.8.4 Caída y disipadores

Una caída es un canal de pendiente fuerte. Un canal disipador también tiene una pendiente fuerte pero mucho menor que una caída (Chow, 2000).

3.2.8.5 Alcantarilla

Una alcantarilla fluye solo parcialmente llena, y se trata de un canal abierto principalmente utilizado para drenar carreteras, caminos y calles (Chow, 2000).

3.2.9 Tipos de flujo en canales

3.2.9.1 Flujo permanente

Un flujo permanente es aquel en el que las propiedades fluidas, son constantes en el tiempo, a pesar de que las mismas no lo sean en el espacio.

Las características de este tipo de flujo se pueden describir como: Velocidad (V), Caudal (Q), y Calado (h), estas son independientes del tiempo, pero podrían variar a lo largo del canal (Chow, 2004).

3.2.9.2 Flujo transitorio o no permanente

Es el que presenta cambios en sus características al paso del tiempo, para estudiar el comportamiento del canal (Chow, 2004).

3.2.9.3 Flujo uniforme

Este es el que se da en un canal recto, cuya sección es de pendiente constante, y se encuentra a una distancia considerable de los puntos en que se realizan las mudanzas de sección transversal, puede ser

3.2.9.4 Flujo gradualmente variado

Es cuando la profundidad de flujo cambia a través de la longitud del canal. Este puede ser permanente o no permanente.

Se clasifica en rápidamente variado o gradualmente variado, dependiendo de la profundidad del agua (Chow, 2004).

3.2.9.5 Flujo subcrítico o flujo lento

Es el nivel efectivo del agua en una determinada sección.

3.2.9.6 Flujo crítico

Cuando la velocidad es igual que la raíz cuadrada de la gravedad por la profundidad (Chow, 2004).

3.2.9.7 Flujo supercrítico

En el caso de flujo supercrítico, también denominado flujo veloz, el nivel del agua efectivo en una sección determinada está condicionado a la condición de contorno situada aguas arriba (Chow, 2004).

3.2.10 Estados del flujo

El estado o comportamiento del flujo en un canal abierto es gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo (Chow, 2004) .

Dependiendo del efecto de la viscosidad relativa a la inercia, el flujo puede ser laminar, turbulento o de transición.

El flujo es laminar si las fuerzas viscosas son tan fuertes comparadas con las fuerzas de inercia, que la viscosidad juega un papel importante para determinar el comportamiento del flujo. En flujo laminar, las partículas del fluido parecen moverse en recorridos calmados definidos, o líneas de corriente, y las capas infinitésimamente delgadas del fluido parecen deslizarse sobre las capas adyacentes.

El flujo es turbulento si las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia. En el flujo turbulento, las partículas del fluido se mueven en recorridos irregulares, los cuales no son ni calmados ni determinados, pero en su conjunto todavía representan el movimiento hacia adelante de la corriente total.

Entre los estados laminar y turbulento de la corriente, hay un estado mixto o estado de transición. El efecto de viscosidad relativo al de inercia puede representarse por el número de Reynolds. En la mayor parte de los canales abiertos el flujo laminar ocurre muy raramente. En efecto, el hecho de que la superficie de una corriente parezca lisa y tersa para un observador no es en ningún modo una indicación de que el flujo sea laminar; más probablemente, ello indica que la velocidad de la superficie es más baja que la requerida para que se formen ondas capilares.

El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad. Esta relación es conocida como el Número de Froude.

Si el Número de Froude es mayor a la unidad ($F > 1$), el flujo se denomina supercrítico.

Si el Número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$), el flujo se denomina subcrítico.

Si el Número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$), el flujo se denomina crítico (Chow, 2004).

3.2.11 Distribución de velocidades en canales

Debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales normales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0,05 a 0,25 de la profundidad, cuanto más cerca de las bancas, más profundo se encuentra este máximo. En una corriente ancha, rápida, y poco profunda o en un canal muy liso, la velocidad máxima por lo general se encuentra en la superficie libre (Chow, 2004).

La rugosidad del canal causa un incremento en la curvatura de la distribución vertical de velocidades. El viento en la superficie tiene muy poco efecto en la distribución de velocidades.

En canales abiertos anchos, la distribución de velocidades en la región central de la sección es en esencia la misma que existiría en un canal rectangular de ancho

infinito, los lados del canal no tienen prácticamente ninguna influencia en la distribución de velocidades en la región central. Un canal abierto ancho es similar a un canal rectangular cuyo ancho es mayor que diez veces la profundidad del flujo.

La distribución de velocidades en una sección de canal depende también de otros factores, entre ellos la forma inusual de la sección, la presencia de curvas a lo largo del canal, etc (Chow, 2004).

En una curva, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo.

3.2.12 Geometría de canal

El término sección de canal se refiere a la sección transversal de un canal tomado en forma perpendicular a la dirección del flujo. Una sección vertical de canal, sin embargo, es la sección vertical que pasa a través del punto más bajo de la sección de canal. Para canales horizontales, por consiguiente, la sección del canal es siempre una sección vertical de canal.

Las secciones de canales naturales son, por lo general, muy irregulares, y a menudo varían desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio. Para corrientes sujetas a crecientes frecuentes, el canal puede constar de una sección principal del canal que conduce los caudales normales y una o más secciones laterales de canal para acomodar los caudales de desborde.

Secciones geométricas cerradas diferentes del círculo se utilizan con frecuencia en alcantarillados de aguas negras, de manera particular para alcantarillas suficientemente grandes que permiten la entrada de un hombre. Estas secciones reciben diferentes nombres de acuerdo con su forma; pueden ser en forma de huevo,

ovoides, semielípticas, en forma de U, catenaria, herradura, manija de canasto, etc. Los rectángulos y cuadrados completos también son comunes en alcantarillados grandes. Las dimensiones y propiedades de secciones de alcantarillas se encuentran en textos sobre alcantarillados.

Una sección geométrica especial, conocida como lintearia, es la forma de la sección transversal de un canal compuesto por hojas flexibles que se suponen de peso insignificante, lleno con agua hasta la parte superior de la sección y firmemente soportado en los extremos superiores de los lados, pero sin efecto de fijación. La catenaria hidrostática ha sido utilizada para diseño de algunas canaletas elevadas de irrigación. Estas canaletas se construyen utilizando laminas metálicas tan delgadas, que su peso es insignificante, las cuales se unen firmemente a vigas en los extremos superiores (Chow, 2004).

3.2.13 Elementos geométricos de una sección de canal

Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad de flujo. Estos elementos son muy importantes y se utilizan con amplitud en el cálculo de flujo. Para secciones de canal regulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones de la sección. Para secciones complicadas y secciones de corriente natural, sin embargo, no se puede escribir una ecuación simple para expresar estos elementos, pero pueden prepararse curvas que representen la relación entre estos elementos y la profundidad de flujo para uso en cálculos hidráulicos.

A continuación, se muestran las definiciones de elementos geométricos de importancia básica:

El área mojada A es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de flujo. El ancho superficial T es el ancho de la sección del canal en la superficie libre. El perímetro mojado P es la longitud de la línea de intersección de la superficie de la canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo. El radio hidráulico R es la relación del área mojada A con respecto a su perímetro mojado P .

$$R=A/P \quad (3.1)$$

Dónde:

R : Radio Hidráulico.

A : Área mojada.

P : Perímetro mojado.

La profundidad hidráulica D es la relación entre el área mojada A y el ancho en la superficie T .

$$D=A/T \quad (3.2)$$

Dónde:

D : Profundidad hidráulica.

A : Área mojada.

T : Ancho superficial.

El factor de sección para el cálculo de flujo crítico Z es el producto del área mojada A y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica D .

$$Z=A/\sqrt{D} \quad (3.3)$$

Dónde:

Z: Factor sección.

A: Área mojada.

D: Profundidad hidráulica.

La profundidad de flujo, y , es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre, y esta se determina a partir de mediciones directas en el canal de estudio o de tablas establecidas. A menudo este término se intercambia con la profundidad de flujo de la sección, d . En efecto, la profundidad de flujo de la sección es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de este, o la altura de la sección del canal que contiene el agua. Para un canal con un ángulo de pendiente longitudinal θ , puede verse que la profundidad de flujo es igual a la profundidad de sección de flujo dividida por $\cos \theta$. En el caso de canales empinados, por consiguiente, los dos términos deben utilizarse de manera discriminada. El nivel es la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia o datum hasta la superficie libre. Si el punto más bajo de la sección de canal se escoge como el nivel de referencia, el nivel es idéntico a la profundidad de flujo. (Chow, 2004).

3.2.14 Ecuaciones fundamentales que rigen el flujo de un canal

En varios flujos de canales abiertos de importancia práctica, el número de Reynolds excede a 12500 y el régimen del flujo es turbulento. La aparente naturaleza aleatoria de la turbulencia ha llevado a muchos investigadores a suponer que este fenómeno puede ser descrito en términos estadísticos. Con base en esta suposición, es conveniente definir la velocidad instantánea en términos de una velocidad de tiempo promedio y una fluctuación de componente aleatorio. Para un sistema de coordenadas cartesianas, las velocidades instantáneas en las direcciones x , y , z , son respectivamente:

$$\mathbf{v} = \bar{\mathbf{v}} + \mathbf{v}' \quad (3.4)$$

Nota: Las velocidades promedio utilizadas arriba pueden ser determinadas promediando sobre el tiempo en un punto en el espacio o sobre un área horizontal a un punto en el tiempo. Desde este punto y en adelante, las estadísticas pertinentes se definirán únicamente en la dirección x con el entendimiento tácito de que estas definiciones se aplican también a las dos direcciones remanentes de las coordenadas cartesianas. La velocidad de tiempo promedio es definida como:

$$\bar{\mathbf{u}}_T = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u} \, dt \quad (3.5)$$

Dónde:

T : Indica una escala de tiempo que es mucho mayor que la escala de tiempo de turbulencia.

La velocidad promedio espacialmente es dada por:

$$\bar{\mathbf{u}} = \frac{1}{A} \iint_A \mathbf{u} \, dA \quad (3.6)$$

Entonces, cuando las fluctuaciones de la velocidad turbulenta sean aleatorias en términos de un tiempo promedio, se utilizara:

$$\bar{\mathbf{u}}' = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}' \, dt \quad (3.7)$$

Los parámetros estadísticos de interés son:

1. Raíz cuadrada media (rcm) del valor de las fluctuaciones de velocidad.

$$rcm(u') = \left[\frac{1}{T} \int_0^T (u')^2 dt \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

2. Energía cinética promedio (EC) de la turbulencia por unidad de masa.

$$\frac{(EC)_{promedio \ de \ turbulencia}}{Masa} = \frac{[(\overline{u'})^2 + (\overline{v'})^2 + (\overline{w'})^2]}{2} \quad (3.9)$$

3. Correlaciones entre variables que miden el grado en que dos variables son interdependientes. En el caso de las fluctuaciones de velocidad en el plano xy, el parámetro siguiente mide la correlación que existe entre u' y v' . En un fluido cortante turbulento, $(u' v')^-$ es finito: por lo tanto, se concluye u' y v' están correlacionados.

$$\overline{u'v'} = \frac{1}{T} \int_0^T u' v' dt \quad (3.10)$$

3.2.15 Energía específica en un canal

Un principio central en cualquier tratamiento de la hidráulica de flujo en canales abiertos debe ser la ley de conservación de energía. Recuérdese de la mecánica de fluidos elemental, que la energía total de una porción de agua viajando sobre una línea de corriente está dada por la ecuación de Bernoulli o:

$$H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \quad (3.11)$$

Dónde:

H: Energía específica.

z: Elevación de la línea de corriente sobre un plano de referencia.

p : Presión.

γ : Peso específico del fluido.

p/γ : Carga de presión.

u : Velocidad de la línea de corriente.

$u^2/2g$: Carga de velocidad.

g : Aceleración local de la gravedad.

La suma $z + (p/\gamma)$ define la elevación de la línea de gradiente hidráulico sobre el plano de referencia; en general, el valor de esta suma varía de punto a punto a lo largo de la línea de corriente. Para examinar la variación de esta suma bajo diversas circunstancias, considérese una partícula de área en la sección transversal δA , longitudinal δs , densidad ρ , y masa $\rho \delta A \delta s$ moviéndose a lo largo de una línea de corriente arbitraria en la dirección $+S$ (Fig. X). Si se supone que el fluido es sin fricción, entonces no hay fuerzas cortantes, y únicamente la fuerza gravitacional del cuerpo y las fuerzas en la superficie sobre los límites de la partícula, deben de ser considerados. La fuerza gravitacional es $\rho g \delta A \delta s$, la fuerza de presión sobre la cara que está aguas arriba es $p \delta A$, y la fuerza de presión sobre la cara aguas abajo es $[p + (\delta p/\delta s)\delta s] \delta A$. Aplicando la segunda ley de movimiento de Newton en la dirección del flujo, se obtiene:

Produce:

$$\frac{\partial}{\partial s}(p + \gamma z) + \rho a_s = 0 \quad (3.12)$$

$$E = y + \alpha \frac{\overline{u^2}}{2g} \quad (3.13)$$

Dónde:

A: Factor de corrección de energía cinética que es usado para corregir la no-uniformidad del perfil de velocidad.

\bar{u} : Velocidad promedio del flujo. ($\bar{u} = Q/A$ dónde A es el área hidráulica y Q es el gasto).

La suposición inherente en la ecuación (13) es que la pendiente del canal es pequeña, o $\cos \theta \approx 1$, y $y \approx d \cos \theta$. En general, si $\theta < 10^\circ$ ó $S < 0.018$ donde S es la pendiente del canal, la ecuación (13) es válida.

Si θ no es pequeña, entonces la distribución de presiones no es hidrostática cuando el tirante vertical del flujo es significativamente diferente del tirante medido perpendicularmente al fondo del canal. Además, en canales de gran pendiente, e.g., caídas rápidas, el flujo contiene aire lo que cambiara tanto la densidad como el tirante del fluido. En el material subsecuente, a menos que se especifique otra cosa, debe suponerse que la pendiente del canal es tal que existe una distribución de presión hidrostática.

Además si $a_s \neq 0$, entonces las líneas de corriente de un flujo cualquiera tendrán una cantidad significativa de curvatura o divergencia, y el flujo se denominara curvilíneo. Tal situación puede ocurrir cuando el fondo del canal esta curvado, en compuertas, y en cascadas a caídas libres. En tales casos, la distribución de presiones no es hidrostáticas, y debe estimarse un factor de corrección de presión. En situaciones de flujo cóncavo, las fuerzas resultantes de la curvatura de las líneas de corriente refuerzan las fuerzas de gravedad. En el caso de flujo convexo, las fuerzas resultantes de la curvatura de las líneas de corriente actúan contra las fuerzas gravitacionales. Si un canal tiene un perfil longitudinal curvado, entonces la

desviación de la distribución de presiones a partir de la condición hidrostática puede estimarse desde una aplicación de la segunda ley de Newton.

$$c = \frac{y}{g} \frac{\overline{u^2}}{r} \quad (3.14)$$

Dónde:

r: Radio de curvatura del fondo del canal. La verdadera distribución de presiones en una sección es entonces:

$$p = y \pm \frac{y}{g} \frac{\overline{u^2}}{r} \quad (3.15)$$

Dónde:

Los signos más o menos son usados respectivamente, con flujos cóncavos o convexos. En muchos casos, es conveniente definir un coeficiente de presión tal que, la carga de presión en un flujo curvilíneo pueda definirse como α' y donde α' sea igual al coeficiente de presión. Puede demostrarse que:

$$\alpha' = 1 + \frac{1}{Qy} \iint_A cu \, dA \quad (3.16)$$

Dónde:

Q: Gasto total.

dA: Un incremento de área.

Entonces, $\alpha' > 1$ para flujo cóncavo, $\alpha' = 1$ para flujo paralelo, y $\alpha' < 1$ para flujo convexo. Para flujos curvilíneos complejos, la distribución de presiones puede estimarse a partir de mallas o redes de flujo o con pruebas de modelos.

3.2.15.1 Estimación de gastos máximos. Método racional

Este método es el más utilizado en todo el mundo sin dejar de lado a Venezuela donde actualmente se utilizan en proyectos de ingeniería vial, sanitaria e hidrológica. El método supone que, si sobre un área determinada cayese una precipitación de intensidad uniforme en el tiempo y en el espacio, llegará un momento en el que la cantidad de agua que cae equivale a la que sale del área, siempre y cuando esta sea impermeable (áreas urbanizadas).

Su uso debe limitarse a áreas pequeñas (100 a menos hectáreas) y para lluvias de duración superior a unos 15 minutos. Su aseveración fundamental radica en decir que el gasto pico es directamente proporcional al producto del área de la cuenca por la intensidad de la lluvia.

El tiempo al cual se alcanza la equivalencia es el denominado tiempo de concentración t_c . Aun en el caso de que el área fuese totalmente impermeable, existirían pérdidas por evaporación y almacenamiento en depresiones, por ello la constante de proporcionalidad, llamada Coeficiente de Escurrimiento C ajusta la relación entre el volumen precipitado por unidad de tiempo $i A$, al volumen escurrido por unidad de tiempo; cubriendo según la fórmula, todos los otros factores involucrados en el ciclo hidrológico incluyendo la amortiguación por tránsito decrecientes; es decir, C es una relación de precipitación – escurrimiento.

El cálculo del gasto se hace de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C.i.A}{360} \quad (3.17)$$

Dónde:

Q : Gasto máximo en m³/s

C : Coeficiente de escorrentía.

A : Área tributaria en hectáreas.

i : Intensidad de la lluvia en mm/h para una duración igual al tiempo de concentración t_c del área tributaria.

La fórmula también puede ser expresada de la siguiente forma:

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (3.18)$$

Dónde:

Q : Gasto máximo en l/s

i : Intensidad de la lluvia en l/s/ha

A : Área tributaria en hectáreas.

C : Coeficiente de escorrentía.

El método tiene una serie de limitaciones a saber:

1. La lluvia es uniforme en el tiempo; es decir, su intensidad es constante, lo cual, en la práctica, es solo verdad para duraciones muy cortas.
2. La lluvia es uniforme en el espacio; es decir, tiene la intensidad al mismo tiempo sobre toda el área tributaria. Esto es prácticamente válido para áreas muy pequeñas.
3. Ignora el efecto de almacenamiento o retención temporal en las superficies, conductos, cauces, etc., el cual es mayor mientras menos impermeable sea el área.
4. El coeficiente de escorrentía es constante, lo cual es solo cierto para áreas impermeables.
5. Supone que el gasto calculado tiene la misma frecuencia de la precipitación, lo cual es más cierto en áreas impermeables, donde las condiciones previas de humedad del subsuelo no influyen significativamente en la escorrentía.

Las limitaciones anteriores llevan a la conclusión de que la fórmula racional puede arrojar resultados aceptables solo si el área es pequeña y tiene un alto porcentaje de impermeabilidad, siendo además el t_c corto. Cuando estas recomendaciones no se observen la tiende a dar valores mayores que los reales. El procedimiento de aplicación de la fórmula se reduce básicamente a encontrar los valores adecuados de t_c y C .

3.2.16 Tiempo de concentración

Se define como el tiempo que toma la primera gota en llegar desde el punto más alejado de la hoya correspondiente, hasta el punto de recolección. Para el diseño de los colectores de aguas de lluvia en zonas urbanas, este tiempo de concentración representa la suma de dos tiempos:

1. El tiempo de escurrimiento, que es el tiempo que tarda la partícula más alejada en escurrir sobre la superficie (t_e).
2. El tiempo de traslado que tomara el caudal, en desplazarse en una longitud de colector comprendida entre dos captaciones consecutivas (t_t).

El primero, tiempo de escurrimiento en la superficie, a través de laderas, cunetas, canales o sobre las zonas de escurrimiento natural, puede ser estimado o calculado para las distintas características del suelo. El tiempo que tarda el agua en escurrir en laderas puede estimarse en base a las velocidades recomendadas en el Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas.

Nota: En el presente solo se tomará en cuenta el primer caso que tiene relación en el diseño de canales abiertos.

Tabla 3.1. Velocidades de escurrimiento en laderas. Cobertura Vegetal (V= m/minutos). (Arocha Ravelo, 2012).

COBERTURA VEGETAL			
Pendiente de la ladera (%)	Vegetación densa o de cultivos	Pastos o vegetación ligera	Ninguna vegetación
0 – 5	25	40	70
5 – 10	50	70	120
10 – 15	60	90	150
15 – 20	70	110	180

No se deberán considerar tiempos de concentración menores de cinco minutos.

Según el California Culvert Practice:

$$T_c = 0,0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (3.19)$$

Dónde:

Tc: tiempo de concentración en minutos

L: Longitud del cauce más largo, en metros.

H: Diferencia de elevación entre el punto más remoto de la cuenca y la salida de esta, en metros.

En el caso de cunetas rurales, tal determinación se hace basada en medidas hechas directamente sobre el terreno, determinando la mayor distancia o recorrido de la partícula más alejada o bien por mediciones hechas en planos topográficos. En este sentido el Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas (MOP) presenta la figura 3.1.

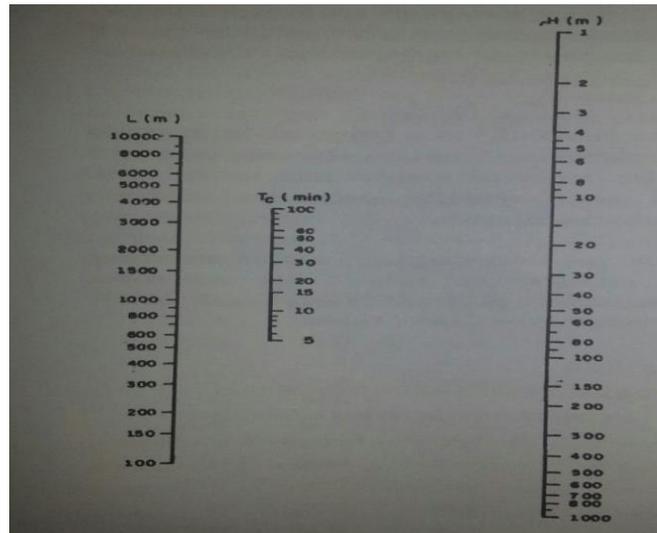


Figura 3.1 Abaco para estimación del tiempo de concentración en cuencas rurales (Arocha, 2012).

3.2.17 Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento C representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa y toma valores entre cero y uno, varía apreciablemente entre una cuenca y otra, y de una tormenta a otra, debido a las condiciones de humedad iniciales. Sin embargo, es común tomar valores de C representativos de acuerdo con ciertas características de las cuencas como la vegetación, pendientes del terreno y uso de suelos.

$$C = \frac{\text{Volumen escorrentia superficial}}{\text{Volumen total precipitado}} \quad (3.20)$$

Una forma de visualizar el significado del Coeficiente de Escorrentía es tratarlo en términos de porcentaje de lluvia.

Por ejemplo, un Coeficiente de Escorrentía de 0,85 conduciría a pensar en una escorrentía que representa el 85% de la lluvia total asociada. Dicho de otra forma, por

cada 100 litros por metro cuadrado precipitados en una Cuenca Hidrográfica, 85 litros por metro cuadrado se convertirán en flujo superficial (Bolinaga, 1979).

Los coeficientes de escorrentía recomendados por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, ofrece valores para usos indicativos de la tierra y para tipos de superficie. Se calcularon valores de C adaptados a los usos de tierras comunes en Venezuela (tipo de zonificación), de acuerdo con planes de desarrollo urbano; estos valores provienen de un cálculo de las superficies impermeables y no impermeables de cada tipo de uso, utilizando los valores de tabla 3.4 para valores de C de cada tipo de superficies, se ha tratado de simplificar la selección del coeficiente. La selección del coeficiente C para uso multifamiliar, industrial y comercial depende fundamentalmente del grado de ocupación con superficies impermeables y no impermeables y no de la pendiente del terreno; es por esto que solo se indican límites para el coeficiente (tabla 3.2).

Tabla 3.2 Coeficiente de escurrimiento (Bolinaga, 1979).

TIPO DE ÁREA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO "C"
a) Comercial	
Centro de la Ciudad	0.70 a 0.95
Alrededores	0.50 a 0.70
b) Residencial	
Unifamiliar	0.30 a 0.50
Multifamiliar separado	0.40 a 0.60
Multifamiliar agrupado	0.60 a 0.75
Sub-Urbana	0.25 a 0.40
c) Industrial	
Liviana	0.50 a 0.80
Pesada	0.60 a 0.90
d) Otros	
Parques y cementerios	0.10 a 0.25
Parques para juegos	0.20 a 0.35
TIPO DE SUPERFICIE	VALORES DE "C"
a) Pavimentos	
Asfalto o concreto	0.70 a 0.95
Ladrillo	0.70 a 0.85
b) Techos y azoteas	0.70 a 0.95
c) Caminos de grava	0.30
d) Áreas de suelo arenoso	
Llanas (2%)	0.05 a 0.10
Medianas (2 a 7%)	0.10 a 0.15
Inclinadas (7% o más)	0.15 a 0.20
e) Áreas de suelo pesado	
Llanas (2%)	0.13 a 0.17
Medianas (2 a 7%)	0.18 a 0.22
Inclinadas (7% o más)	0.25 a 0.35

Tabla 3.3 Coeficientes de escurrimiento de acuerdo con la zonificación del uso de tierra (Bolinaga, 1979).

USO DE TIERRA	DENOMINACIÓN ZONIFICACIÓN*	VALOR DE "C" PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO		
		SUAVE 2%	MEDIA 2-7%	FUERTE > 7%
RESIDENCIAL UNIFAMILIAR	R1	0,40	0,45	0,50
	R2 y R3	0,45	0,50	0,55
	R4 y R5	0,48	0,58	0,65
MULTIFAMILIAR	R4, R5, R6, y R7 R8, R9 y R10	0,65 a 0,85 0,70 a 0,95		
INDUSTRIAL	-----	0,75 a 0,95		
COMERCIAL	-----	0,75 a 0,95		
PARQUES PARQUES	-----	0,25	0,30	0,35

(*) Los usos residenciales tienen las siguientes densidades brutas en habitantes por hectáreas:

Unifamiliares: R1: 20 a 25; R2: 40 a 45; R3: 70 a 80; R4 y R5: 110 a 115

Multifamiliares: R4: 175 a 210; R5: 185 a 225; R6: 210 a 280; R7: 220 a 300; R9 y R10: Más de 280.

Los coeficientes de las tablas (anteriores) deben modificarse de acuerdo con el grado de protección. La tabla 3.4 muestra el factor por el cual podrían ser multiplicados los referidos coeficientes, para hallar el coeficiente final de acuerdo con el criterio anterior.

Tabla 3.4. Factores de incremento de "C"
(Bolinaga, 1979).

PERÍODO DE RETORNO (Años)	FACTOR
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

Nota: Si "C" da mayor que 1,00 se adopta este último valor.

(Bolinaga, 1979)

3.2.18 Curvas Intensidad, duración y frecuencia

Con respecto a las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), es importante señalar que éstas son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno.

Junto con la definición de las curvas, surgen otros elementos a considerar, como son la intensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia de un determinado evento. Además, es de suma importancia tener claro el concepto de cada una de estas variables, de modo de tener una visión más clara de las mismas.

3.2.18.1 Intensidad

En este sentido se debe destacar que la intensidad, según Chow et al (1994), se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la altura de agua de precipitación por unidad de tiempo (mm/hr ó pulg/hr), y ésta se expresa como: $i = P / T_d$.

Donde P es la altura de agua de precipitación en mm o pulgadas, y T_d es la duración de la lluvia, dada usualmente en hr.

Es importante señalar, que cuando sólo se dispone de un pluviómetro en una estación, es evidente que en general sólo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas.

Como se comprenderá, esta información puede inducir a grandes errores por defecto, por cuanto las lluvias de corta duración son en general las más intensas. Es natural entonces que las determinaciones de intensidades de lluvia se hagan a partir de los registros proporcionados por los pluviógrafos (Bolinaga, 1979).

3.2.18.2 Probabilidad de excedencia

Se define como la probabilidad de que un cierto valor a asumir por la variable aleatoria sea superado. Se define por $1 / T$, en donde T es el período de retorno; por consiguiente, la probabilidad de excedencia sirve para estimar riesgos en obras civiles en general, y poder tener una aplicación a largo plazo en el sector productivo.

Además, dentro de las aplicaciones de la estadística, usadas comúnmente en la hidrología, está la determinación de la probabilidad o del período de recurrencia de determinado suceso (Bolinaga, 1979).

3.2.18.3 Frecuencia

La frecuencia se expresa en función del período de retorno (T), que es el intervalo de tiempo promedio (expresado en años) entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño.

Las normas INOS establecen que para el cálculo del caudal de aguas de lluvia se estimen las frecuencias siguientes:

- a. Para zonas residenciales, de 2 a 3 años
- b. Para zonas comerciales y de valor elevado, de 5 a 15 años, dependiendo de su justificación económica.

- c. Para obras de canalizaciones de cursos naturales, ríos o quebradas, 50 años o más (Bolinaga, 1979).

3.2.19 Área de captación y cuenca de drenaje

Debemos entender por cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje, que es un territorio drenado por un sistema de drenaje natural. Las cuencas hidrográficas son delimitadas por una línea de cumbres, también llamadas divisoria de agua o divisoria topográfica.

Según Bastidas, una cuenca es una unidad de territorio que capta la precipitación, transita el escurrimiento y la escorrentía, hasta un punto de salida en el cauce principal o igualmente, es un área delimitada por una divisoria topográfica que drena a un drenaje común (Bolinaga, 1979).

El área de captación del agua de lluvia se obtiene con la ecuación:

$$A = a \cdot b \quad (3.21)$$

Dónde:

A: Área de captación, m².

a: Ancho de la casa en metros.

b: Largo de la casa en metros.

En caso de que no exista el área de captación, se diseña en función de la demanda anual de los habitantes a beneficiar y de la precipitación pluvial neta anual.

$$A_{ec} = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^{12} \overline{PN}_j} \quad (3.22)$$

Dónde:

A_{ec} : Es el área de captación necesaria para abastecer la demanda de agua a una familia o comunidad, en m².

D_{anual} : Demanda de agua anual que necesita una población.

$\sum_{j=1}^{12} \bar{P}N_j$: Suma de las precipitaciones netas medias mensuales que originan escurrimiento, en mm.

3.2.20 Determinación de la capacidad hidráulica de una vía

La capacidad teórica de agua que puede conducir una calle se puede estimar con las características geométricas de la cuneta y la pendiente longitudinal de la calzada, aplicando la ecuación de Manning para estimar la velocidad media del flujo, con un coeficiente de rugosidad de $n = 0,015$ para pavimentos de hormigón y asfalto:

$$V = \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} \frac{I^{0,5}}{n} \quad (3.23)$$

Dónde:

V = Velocidad media del flujo, en m/s.

A = Área de la sección del flujo en m².

P = Perímetro mojado, en metros.

I = Pendiente longitudinal de la calle, en m/m.

n = Coeficiente de rugosidad de la superficie.

Desde el punto de vista del diseño la capacidad de conducción de aguas lluvias de las calles se considerará como el valor mínimo de las siguientes dos capacidades alternativas:

Considerando el ancho máximo permitido de la sección inundada, o la cuneta llena y un factor de reducción por otros usos de la calle (Bolinaga, 1979).

3.2.20.1 Capacidad de diseño para tormentas menores.

Estas capacidades teóricas de las calles se entregan como referencia, sin embargo, la capacidad real deberá estimarse con las condiciones geométricas de terreno, considerando además que ella se ve afectada por la existencia de singularidades como badenes, lomos de toro, accesos vehiculares, encuentros de calles, reparaciones, vehículos estacionados, etc.

La capacidad teórica de las calles según el ancho máximo inundable permite reunir y conducir pequeños caudales hacia la red de drenaje o a otros cauces para tormentas menores, con períodos de retorno de 2 años (Bolinaga, 1979).

3.2.20.2 Capacidad máxima

La capacidad máxima de las calles se establece para la verificación frente a tormentas mayores, con períodos de retorno de 100 años, en la cual se acepta que conduzca agua hasta el nivel superior de la solera, evitando que desborde la calle e inunde las propiedades vecinas (Bolinaga, 1979) .

3.2.21 Trazado de canales abiertos

Cuando se trata de trazar un canal o un sistema de canales es necesario recolectar la siguiente información básica:

1. Fotografías aéreas, imágenes satelitales, para localizar los poblados, caseríos, áreas de cultivo, vías de comunicación, etc.

2. Planos topográficos y catastrales.

3. Estudios geológicos, salinidad, suelos y demás información que pueda conjugarse en el trazo de canales.

Una vez obtenido los datos precisos, se procede a trabajar en gabinete dando un trazo preliminar, el cual se replantea en campo, donde se hacen los ajustes necesarios, obteniéndose finalmente el trazo definitivo.

En caso de no existir información topográfica básica se procede a levantar el relieve del canal, procediendo con los siguientes pasos:

3.2.21.1 Reconocimiento del terreno

Se recorre la zona, anotándose todos los detalles que influyen en la determinación de un eje probable de trazo, determinándose el punto inicial y el punto final (georreferenciado) (Bolinaga, 1979).

3.2.21.2 Trazo preliminar

Se procede a levantar la zona con una brigada topográfica, clavando en el terreno las estacas de la poligonal preliminar y luego el levantamiento con teodolito, posteriormente a este levantamiento se nivela la poligonal y se hará el levantamiento de secciones transversales.

Estas secciones se harán de acuerdo a criterio, si es un terreno con una alta distorsión de relieve, la sección se hace a cada 5 metros, si el terreno no muestra muchas variaciones y es uniforme la sección es máximo a cada 20 metros (Bolinaga, 1979).

3.2.21.3 Trazo definitivo

Con los datos anteriores se procede al trazo definitivo, teniendo en cuenta la escala del plano, la cual depende básicamente de la topografía de la zona y de la precisión que se desea; terrenos con pendiente transversal mayor a 25% se recomienda escala de 1:500, terrenos con pendiente transversal menor a 25% se recomienda escalas de 1:1000 a 1:2000 (Bolinaga, 1979).

3.2.22 Simulación de los niveles del agua en canales abiertos

3.2.22.1 Programa HEC RAS

Es modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers), surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interface gráfica de usuario que facilita las labores de pre-proceso y post-proceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

El programa tiene las siguientes características técnicas:

- a. Cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, etc.).
- b. Visualización gráfica de datos y resultados.
- c. Edición gráfica de secciones.
- d. Ejecutable en entorno Microsoft Windows.

Para el funcionamiento de HEC-RAS debemos aportar dos tipos de datos: Geométricos y de caudales.

Los datos geométricos fundamentales son diversas secciones transversales a lo largo del cauce o cauces considerados. Dichas secciones se introducen mediante la cota de varios puntos; de este modo, mediante la cota de dos secciones contiguas, separadas por una distancia conocida, el modelo calcula la pendiente de ese tramo. El caudal puede ser un solo valor constante o bien un caudal variable en el tiempo.

Aplicaciones.

Modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

Fases de trabajo.

1. Creación de un nuevo proyecto.
2. Datos geométricos.
3. Datos de caudales y condiciones de contorno.
4. Calculo.
5. Observación de los resultados.

3.2.22.2 Programa HCANALES

El sistema permite resolver los problemas más frecuentes que se presentan en el diseño de canales y estructuras hidráulicas, los cuales son:

- a. Calcular el tirante normal
- b. Calcular el tirante crítico
- c. Calcular el resalto hidráulico
- d. Calcular la curva de remanso

Calcular el caudal que transporta un canal construido para las secciones transversales artificiales de uso común, como son:

- a. Sección triangular
- b. Sección rectangular
- c. Sección trapezoidal
- d. Sección parabólica
- e. Sección circular

Calcular el caudal que transporta un canal natural tanto para rugosidad constante como para rugosidad variable.

Calcular b , S o n para canales trapezoidales, rectangulares y triangulares.

Cálculos de parámetros hidráulicos en canales circulares conocido la relación y/d .

Calcular S o n en secciones circulares.

Cálculos en orificios, compuertas y vertederos.

Cálculo de transiciones de entrada y salida alabeadas.

Cálculo de vertederos laterales.

Cálculo de pérdidas en canales no revestidos y revestidos.

La solución a estos problemas requiere de cálculos mediante el uso de métodos numéricos, como:

- a. Método de Newton-Raphson
- b. Método de la secante
- c. Método de la secante modificada
- d. Integración gráfica
- e. Interpolación de Lagrange
- f. Algoritmo de Romberg
- g. Proporciona además al usuario:
- h. Ayuda sobre cada una de las opciones del Menú Principal, donde se da explicación de los conceptos y ecuaciones utilizadas.
- i. Ayuda sobre consideraciones prácticas para el diseño de canales.

Lugar:	Urb. LP-III. Los Pozos	Proyecto:	Torrentera
Tramo:	Disposición final del agua	Revestimiento:	Concreto

Datos:	
Caudal (Q):	7.135 m ³ /s
Ancho de solera (b):	1.92 m
Talud (Z):	0
Rugosidad (n):	0.016
Pendiente (S):	0.018 m/m

Resultados:			
Tirante normal (y):	0.7782 m	Perímetro (p):	3.4763 m
Área hidráulica (A):	1.4941 m ²	Radio hidráulico (R):	0.4298 m
Espejo de agua (T):	1.9200 m	Velocidad (v):	4.7755 m/s
Número de Froude (F):	1.7284	Energía específica (E):	1.9405 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico		

Figura 3.2 Interfase de entrada y salida de datos del programa HCANALES para el caso de canales de sección rectangular

3.2.23 Torrenteras

El agua recogida por los canales e interceptores es entregada a los canales de alta velocidad, generalmente en la dirección del talud, lateralmente a la zona inestable, mediante estructuras de disipación conocidas como torrenteras.

Las torrenteras, o rápidas escalonadas son 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 la energía disipada, por lo que no se hace necesaria alguna estructura adicional, o dado el caso, una estructura pequeña (Mejía, 2008).

El sistema de graderías generalmente es más eficiente para disipar energía que otros métodos de disipación. El flujo, en este tipo de canal, es turbulento y debe construirse un muro lateral de borde libre suficiente, para permitir la salpicadura del flujo.

Ante la inexistencia de datos experimentales, los canales en gradería pueden diseñarse asumiendo una velocidad de 5.0 m/s, a través de la sección mínima en la cabeza de cada grada (Aristizabal et al,2013).

El régimen de flujo de las rápidas escalonadas, depende de las características geométricas y del caudal manejado por la estructura. Pueden analizarse dos situaciones:

3.2.23.1 Régimen de flujo saltante

En este caso, la disipación de la energía se genera independientemente, en cada escalón al romperse el chorro en el aire, al mezclarse en el escalón o por formación de resaltos hidráulicos (Mejía, 1999).

El régimen de flujo saltante se caracteriza por una sucesión de chorros en caída libre que chocan en el siguiente escalón, seguidos por un resalto hidráulico parcial o totalmente desarrollado. En este régimen la disipación de energía se produce en cada escalón. En el régimen de flujo rasante, el agua fluye sobre los escalones como una corriente estable, rasando sobre ellos y amortiguándose por el fluido re-circulante atrapado entre los escalones.

En este último régimen la disipación de energía se produce en la formación de vórtices en las gradas.

Los pasos fundamentales para el diseño de torrenteras son (Mejía, 2008):

- a. Estimar el caudal de diseño.
- b. Evaluar las dimensiones geométricas básicas del canal (pendiente, altura, ancho).

- c. Seleccionar la altura óptima del escalón.
- d. Calcular las características hidráulicas del flujo.

El diseño de torrenteras en régimen saltante debe verificar que el alcance del chorro parabólico en la dirección X, producido por la corriente a la velocidad para la cual se logra el caudal de diseño para un período de retorno dado, sea menor que la longitud de la huella de diseño, y en consecuencia, el chorro saltará efectivamente escalón tras escalón disipando energía en su camino descendiente, mediante el uso de la torrentera en todos los tramos diseñados.

El movimiento parabólico de una partícula se encuentra regido por dos ecuaciones de trayectoria en el plano cartesiano: la ecuación que describe el movimiento uniforme en la dirección X, y la ecuación que describe el movimiento uniformemente acelerado en la dirección Y. Ellas son:

$$X = v \cdot t \quad (3.24)$$

Donde x es el avance en la dirección X, expresada en m; v es la velocidad constante a la cual la partícula se mueve en la dirección X, expresada en m/s; t es el tiempo que tarda la partícula en moverse una distancia “ x ” a una velocidad constante v , expresada en s, y tomando convenientemente la dirección positiva del eje Y hacia abajo:

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (3.25)$$

Donde y es la altura de la lámina del agua, en m, g es la aceleración de la gravedad, en m/s^2 , t es el tiempo que tarda la partícula en moverse una distancia “ y ”

bajo los efectos de la aceleración g , en s. Despejando de ambas ecuaciones la variable tiempo, e igualándolas, resulta:

$$x = 0.4515 \cdot y^{1/2} \cdot v \quad (3.26)$$

Donde para el caso de un caudal de diseño Q , descendiendo por un escalón con huella $X_{\text{escalón}}$, y contrahuella $Y_{\text{escalón}}$, se tiene que x es el avance del chorro producido por el caudal de diseño Q en la dirección X, en m; y es la altura de la lámina del agua para el caudal de diseño Q en la dirección Y, en m; y v es la velocidad a la cual desciende el caudal de diseño Q por la torrentera, en m/s.

Las dimensiones de diseño serán suficientes siempre que se cumpla que $x < X_{\text{escalón}}$, pues esto asegurará que el chorro descenderá escalón a escalón disipando energía en cada caída, motivo por el cual se construye el canal de torrentera en forma escalonada y no lisa.

En régimen rasante el diseño de torrenteras se ciñe estrictamente al diseño de canales, en el cual se verifica que para un caudal de diseño dado, las dimensiones propuestas permiten la evacuación de dicho caudal (Aristizabal et al,2013).

3.2.23.2 Diseño de estructuras en gradería

Se recomiendan los siguientes criterios básicos:

- a. Cimentar las estructuras siempre en corte y nunca sobre rellenos.
- b. Acomodar las gradas a la pendiente del terreno, evitando las gradas de gran altura.

- c. La altura del muro lateral debe ser superior a la mitad de la altura de la grada:
 $D \geq 1/2H$.
- d. Debe ser autolimpiante. (Que no permita sedimentación).
- e. Debe incluirse una estructura de disipación en el pie de la torrentera.

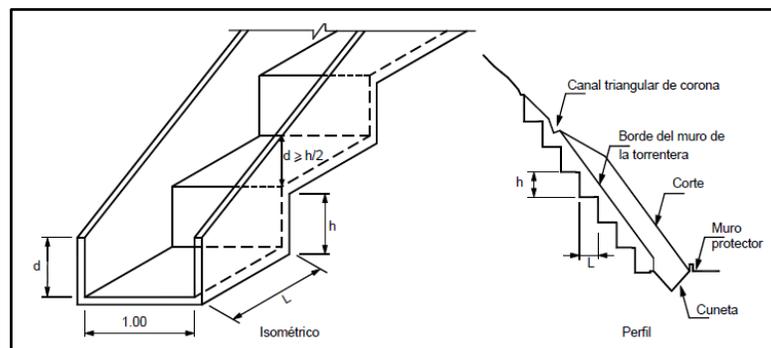


Figura 3.3 Torrentera en gradería (Aristizabal et al,2013).

3.2.23.3 Diseño de estructuras de control de escorrentía

Es muy importante determinar lo más exactamente posible, la intensidad máxima esperada de la lluvia y los caudales generados. La mayoría de los diseños de obras de drenaje superficial para taludes, que se realizan con procedimientos totalmente empíricos, dan como resultado obras insuficientes con secciones que no son capaces de manejar los caudales de agua que se concentran en las coronas de los taludes. La razón principal de esta falla es que las intensidades de las lluvias, que en la zona tropical con frecuencia son superiores a 50 mm/ hora, no son tenidas en cuenta.

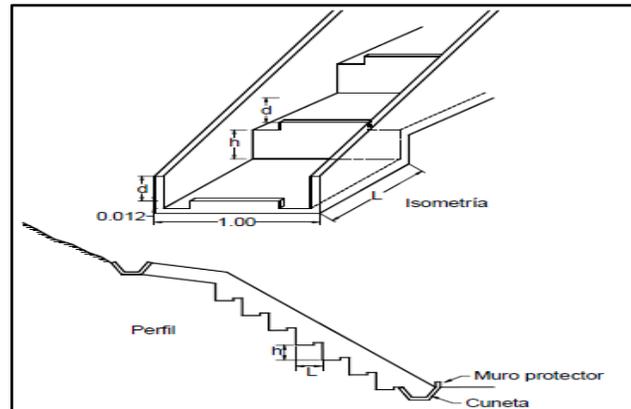


Figura 3.4 Torratera en gradería con bloques en el fondo (Aristizábal et al, 2013).

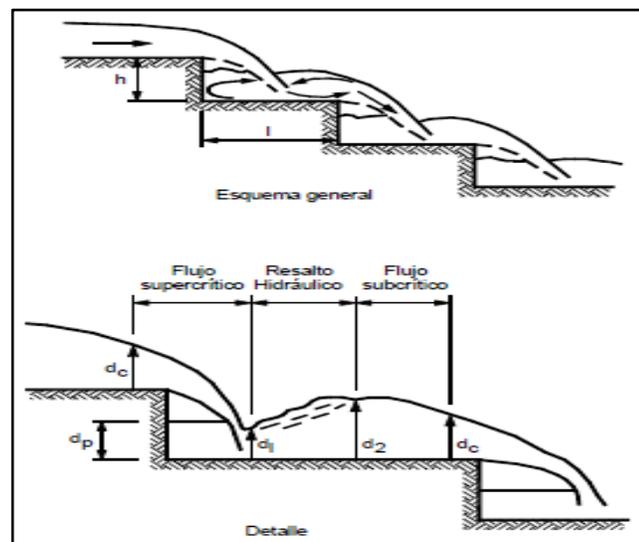


Figura 3.5 Régimen de flujo saltante sobre un canal en gradería (Mejía, 1999).

3.2.23.4 Dimensionamiento de las obras de drenaje

❖ Criterio de velocidad mínima

La velocidad de flujo debe ser lo suficientemente grande, para que no se produzca taponamiento del canal. El gradiente mínimo de los canales está determinado por la mínima velocidad de flujo necesaria para evitar la sedimentación.

La velocidad no debe ser menor de 1.3 m/s para el flujo pico, con una frecuencia de uno en dos años. Generalmente, la pendiente mínima utilizada es del 2% para impedir la sedimentación.

Sin embargo, si existe la posibilidad de transporte de gravas o bloques, se requieren pendientes superiores.

Debe tenerse cuidado de que la velocidad no sea superior a 4 m/seg para evitar desgaste del recubrimiento de concreto y problemas de erosión (Aristizábal et al,2013).

❖ Secciones

El dimensionamiento de la sección del canal puede hacerse con la ecuación de Manning, asumiendo una velocidad máxima permisible de 4 m/s y una rugosidad η de 0.013 para el concreto liso o mayor de acuerdo con las características del canal. Para calcular la velocidad del flujo, se puede emplear la siguiente expresión:

$$V = (1/n) \cdot (R_h^{0.67} \cdot S^{1/2})$$

Donde:

V = Velocidad en m/s

η = Factor de rugosidad

R = Profundidad hidráulica media

Área/Perímetro en metros

S = Pendiente promedio del canal. (Aristizábal et al,2013)

Tabla 3.5 Coeficientes de escorrentía para su uso en taludes (Japan Road Association, 1984).

Superficie	Características	Coefficiente C
Superficie de carretera	Pavimentada	0.7 a 0.95
	Destapada	0.3 a 0.7
	Suelo fino	0.4 a 0.65
Talud	Suelo grueso	0.1 a 0.3
	Roca dura	0.7 a 0.85
	Roca blanda	0.5 a 0.75
	Pendiente 0 a 2%	0.05 a 0.1
Pastizales en suelos arenosos	2 a 7%	0.1 a 0.15
	Más de 7%	0.15 a 0.25
	Pendiente 0 a 2%	0.13 a 0.17
Pastizales en suelos arcillosos	2 a 7%	0.18 a 0.22
	Más de 7%	0.25 a 0.35
	Escarpes de fuerte pendiente de roca	0.75 a 0.95
Arenas intermedias		0.20 a 0.40
Parques con árboles y pastos		0.10 a 0.25
Montañas de pendientes suaves		0.30
Montañas de pendientes fuertes		0.50

3.2.23.5 Canal con pantallas deflectoras

Son canales de disipación de energía que atienden caudales en laderas o cauces que estén dentro de un rango entre 10 y 50% de pendiente. Estas estructuras permiten cambios de dirección y de pendiente dentro de los rangos establecidos. El dimensionado de la estructura parte de la determinación del caudal a atender. Con este se calcula el ancho de la estructura con el apoyo de las siguientes fórmulas, desarrolladas en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

$$b = 0.905 \cdot Q_D^{2/5}$$

$$V_{prom} = 4.376 \cdot Q_D^{1/5}$$

En donde:

b: Ancho del canal,

Q_D : Caudal de diseño

V_{prom} : Velocidad del flujo en el canal (Aristizábal et al,2013).

3.2.23.6 Canal de rápidas con tapa

Son canales que disipan la energía del agua en laderas y cauces con pendientes mayores a 50%. Estas estructuras permiten cambios de dirección y de pendiente dentro de los rangos establecidos. El dimensionado de la estructura se logra a partir de la determinación del caudal a atender, y con la fórmula se calcula el ancho del canal. Las fórmulas fueron desarrolladas en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Tabla 3.6 Parámetros hidráulicos del canal rápida.

$$a = 0,1 \times \left[\frac{Q_p}{4,79 \times 10^{-3}} \right]^{0,4}$$

$$v_{rap} = 3,01 \times \left[\frac{Q_p}{4,79 \times 10^{-3}} \right]^{0,2}$$

$$v_{prom} = 1,60 \times \left[\frac{Q_p}{4,79 \times 10^{-3}} \right]^{0,2}$$

Donde:

a: es función de Q_p

a: ancho del canal (m)

Q_p : Caudal a atender (m^3/s)

V_{prom} : Velocidad promedio en función de Q_p (Aristizábal et al,2013).

3.2.24 Flujo en rápidas escalonadas

El estudio de una rápida permite determinar su eficiencia como estructura de disipación de energía del flujo en proyectos como el caso de una central hidroeléctrica o la descarga de agua lluvia hacia un cuerpo receptor, en el cual se requiere vencer grandes desniveles topográficos. Las investigaciones en la actualidad se centran en discusiones del flujo aireado en la región donde se presenta el flujo rasante. La rápida escalonada presenta un mayor porcentaje de disipación de energía en comparación con la rápida lisa lo cual es ventajoso ya que se reduce la profundidad y tamaño del cuenco disipador ubicado al pie de dicha estructura (Castro M., 2015).

El análisis de la rápida escalonada resulta complejo debido a que se tiene diferentes regímenes de flujo y regiones a lo largo de toda la estructura. Las características del flujo en la rápida escalonada actualmente son abordadas mediante el uso de relaciones empíricas y modelos físicos. Una herramienta complementaria de la modelación física hidráulica es la modelación numérica, la cual permite reducir tiempo y costo en la fase de modificaciones del diseño original de las estructuras hidráulicas, dado que un modelo numérico calibrado con el modelo físico permite desarrollar las posibles modificaciones al modelo hidráulico en forma eficiente y oportuna. En una rápida escalonada existen tres tipos de vertido que son: flujo de escalón en escalón, flujo en transición y flujo rasante (Khatsuria, R.M., 2005).

En una rápida escalonada, el flujo rasante se produce cuando el flujo de agua llena todas las cavidades de los escalones formándose un fondo virtual. El flujo que circula por encima del fondo virtual se conoce como flujo rasante completamente desarrollado y se caracteriza por un flujo aireado en la superficie libre, formación de burbujas y vórtices estables en los escalones (Figura 3.5). (Khatsuria, R.M., 2005)

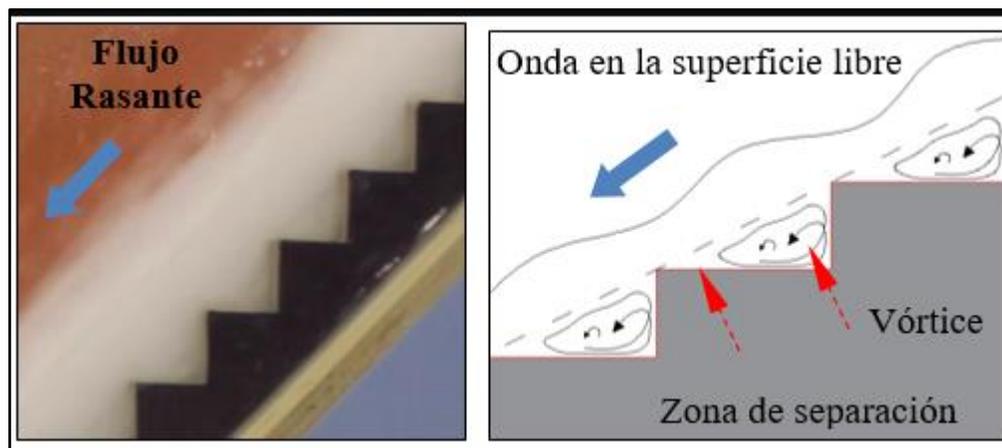


Figura 3.6 Flujo rasante sobre una rápida escalonada. (Casa et al, 2018).

En la figura 3.7, se observan las principales regiones existentes en un flujo rasante y estas son: (1) Flujo no aireado, se presenta el crecimiento de la capa límite hasta la superficie libre del flujo; (2) Punto de inicio de la autoaireación, se desarrolla un flujo parcialmente aireado; (3) Flujo gradualmente variado y (4) Flujo en estado de equilibrio, uniforme y completamente aireado.

Las consideraciones más relevantes para el diseño de una rápida escalonada con flujo rasante son: Propiedades del flujo aireado, la estimación de la resistencia al movimiento del agua, determinación del coeficiente de fricción, introducción y arrastre de aire, disipación de energía, consideración de las fluctuaciones de presión y cavitación. (Khatsuria, R.M., 2005)

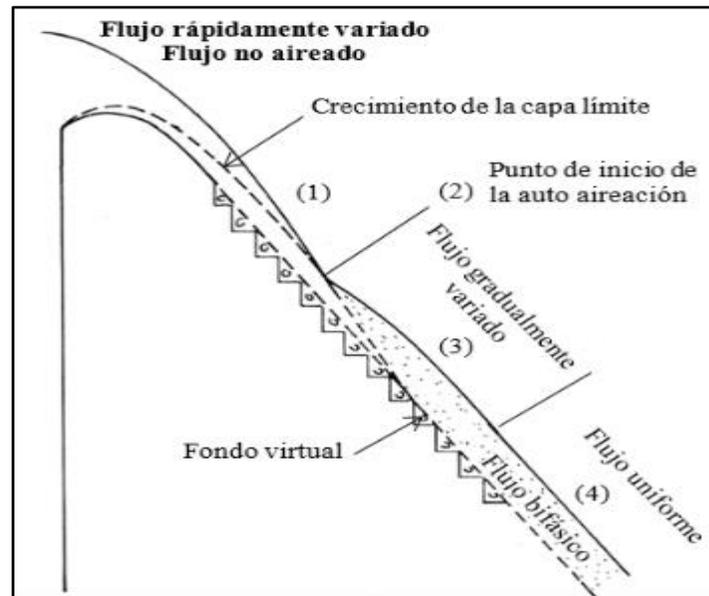


Figura 3.7 Principales regiones existentes en un flujo rasante (Casa et al, 2018).

En la figura 3.8 se observa un esquema del perfil longitudinal de la rápida escalonada con el cuenco de disipación de energía al pie de la estructura.

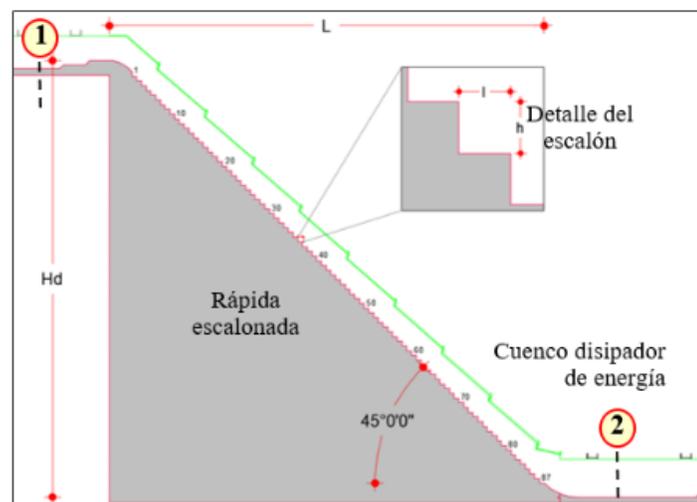


Figura 3.8 Ejemplo dimensional de una rápida escalonada (Casa, et al, 2018).

La distribución de presiones en el escalón como se observa en la figura 3.8, indican un mayor valor de presión en el tercio final de la superficie horizontal a la salida del escalón. Mientras en la esquina del escalón, las presiones relativas son bajas, debido a la separación del flujo.

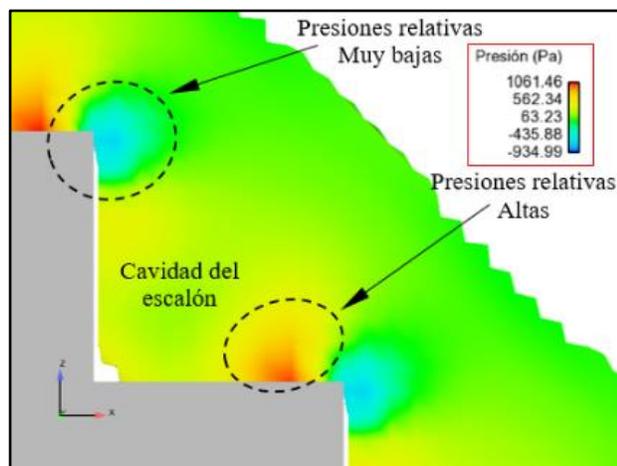


Figura 3.9 Ejemplo de distribución de presiones en el escalón (Casa et al, 2018).

La magnitud del vector velocidad crece desde el fondo virtual hacia la superficie libre como se muestra en la figura 3.10. La distribución de la velocidad en la zona del flujo rasante presenta una tendencia exponencial según la ecuación:

$$u/u_{90}=(y/y_{90})^{1/n} \quad (3.1)$$

Dónde: u_{90} es la velocidad máxima del flujo libre, y_{90} es la profundidad de flujo aireado al 90%, medida perpendicular al pseudo-fondo, (u,y) son las coordenadas de la velocidad y profundidad del flujo y n es el valor del exponente que según investigaciones experimentales varía entre 3.5 y 6 (Flow Science, Inc., 2012).

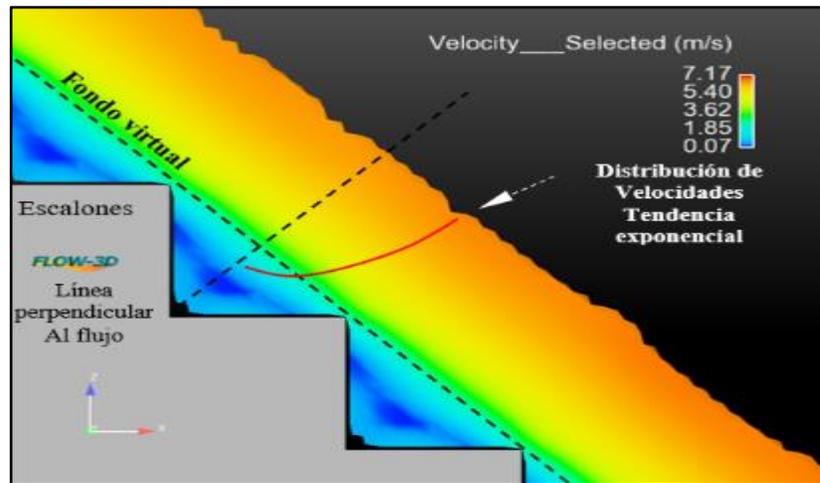


Figura 3.10 Esquema de la distribución de velocidades (Casa et al, 2018).

3.3 Bases legales

3.4.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela

Esta representa la mayor de las leyes aplicadas dentro de la propuesta de mejoramiento en los sistemas de drenaje urbano.

Artículo 127 (Capítulo IX De los Derechos Ambientales): es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de si misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bióticos regulará la materia.

El artículo anterior tiene importancia dentro de este proyecto debido a que en él se dice que es un deber del Estado velar por la seguridad de los ciudadanos

manteniendo un ambiente seguro y equilibrado. Esto incluirá la seguridad que tendrían los habitantes de Ciudad Bolívar a través de una propuesta que de ser ejecutada por las autoridades competentes se evitaría los daños que ocasionan las inundaciones en torno a la salud y al medio ambiente.

Artículo 3.23 Velocidad mínima: la velocidad mínima a sección llena, en colectores de alcantarillados de aguas servidas será de 0,6 m/s. La velocidad mínima a sección llena, en colectores de alcantarillados de aguas pluviales y únicos, será de 0,75 m/s.

Artículo 3.24 Velocidad máxima: la velocidad máxima a sección llena en colectores de alcantarillado, dependerá del material a emplear en los mismos.

Los artículos 3.23 y 3.24 indican que se tomara en cuenta la resistencia de la velocidad del material de acuerdo a la velocidad máxima y evitar la velocidad mínima para evitar la sedimentación de partículas según sea el caso (aguas servidas y pluviales). Las velocidades máximas admisibles, según el material de los colectores serán las siguientes:

Tabla 3.7 Velocidad máxima del material.

Concreto	Velocidad límite en (m/s)
Rcc28 = 210 kg/cm ²	5,00
Rcc28 = 280 kg/cm ²	6,00
Rcc28 = 350 kg/cm ²	7,50
Rcc28 = 420 kg/cm ²	9,50
Arcilla vitrificada	6,00
Asbesto-cemento	4,50
PVC	4,50

Tabla 3.8 Coeficiente de rugosidad del material (canales).

Material	“n”
Revestimiento de asfalto	0,015
Revestimiento de concreto	0,015
Excavados en tierra	0,022-0,030
Lechos pedregosos y taludes con gramas	0,035

Artículo 3.28 pendientes mínimas: la pendiente mínima de los colectores de un sistema de alcantarillado, estará determinado por las velocidades mínimas admisibles a sección llena.

Artículo 3.29 Pendientes máximas: las pendientes máximas de los colectores de un sistema de alcantarillado, serán los correspondiente a las velocidades máximas admisibles a sección llena, según el material empleado en los mismos.

Los artículos 3.28 y 3.29 en el Decreto Extraordinario 5.138 son de gran utilidad para la evaluación en un sistema de drenaje. Estos guardan una relación con los artículos 3.23 y 3.24, puesto que dependiendo de las pendientes, se originan ciertas velocidades, las cuales tienen un rango según lo descrito. Se debe tomar en consideración el grado de inclinación de las pendientes para no salirse dentro de los límites de velocidades admisibles.

Artículo 14 Cálculo del gasto: En el cálculo citado se debe utilizar los períodos de retorno de lluvias siguientes:

- a) Para zonas residenciales, de 2 a 15 años.
- b) Para zonas comerciales y de elevado valor, de 5 a 15 años, dependiendo de su justificación económica.

c) Para obras de canalización de cursos naturales, ríos o quebradas, 50 años o más.

El artículo 14 revela los criterios establecidos al momento de seleccionar los períodos de retornos que estarán presentes en las curvas (I:D:F) para estimar el caudal generado por las aguas pluviales de la región.

Hidráulica de alcantarillado

El gasto con el cual se debe calcular cualquier tramo de un sistema de alcantarillado, será el correspondiente al extremo inferior del mismo.

El régimen se considerara como permanente y uniforme, salvo en casos muy especiales debidamente justificados.

Todos los colectores de sección cerrada, cualquiera sea su forma, se calcularan a capacidad plena, pero sin presión. En casos especiales podrán trabajar a presión, previa justificación hidráulica, así como el uso del material adecuado.

En este caso el gasto se calculará por medio de la ecuación de Manning para los cajones presentes en el canal del aeropuerto sin dejar borde libre.

3.4 Definición de términos básicos

3.4.1. Acequias

Zanjas por donde se conducen las aguas. (Gustavo de Elorza Martínez, 2008).

3.4.2. Aguas pluviales

Son las aguas productos de la lluvia o precipitación que escurren sobre la superficie del terreno. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.4.3. Cauce

Lecho de los ríos y arroyos. Conducto descubierto o acequias por donde corren las aguas de riego o residuales. (Gustavo de Elorza Martínez, 2008)

3.4.4. Caudal

Volumen de agua que pasa por un punto (sección de un área), en un intervalo de tiempo. Las unidades más usadas para medir caudal son metros cúbicos por segundo (m^3/s) y litros por segundo (LPS). (Bolinaga, 1979).

3.4.5 Clima

Es el conjunto de los valores promedios de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Estos valores promedio se obtienen con la recopilación de la información meteorológica durante un periodo de tiempo suficientemente largo.

Según se refiera al mundo, a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zonal, regional o local (microclima), respectivamente. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.4.6 Cuenca

Es un concepto geográfico e hidrológico que se refiere como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por esta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenta endorreica. Normalmente la corriente principal es la que define el nombre de la cuenca. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.4.7 Drenaje superficial

Se define como un conjunto de obras destinadas a la recogida de las aguas pluviales, su canalización y evacuación a los cauces naturales, sistemas de alcantarillado o a la capa freática de terreno. (Bolinaga, 1979).

3.4.8 Drenaje transversal

Es aquel que permite el paso del agua a través de los cauces naturales bloqueados por la infraestructura viaria, de forma que no se produzcan destrozos en esta última. Comprende pequeñas y grandes obras de paso, como puentes y viaductos. (Bolinaga, 1979).

3.4.9 Escurrimiento

Es la parte de la precipitación que fluye por gravedad por la superficie del terreno (escurrimiento superficial) o por el interior del mismo hasta aparecer en una corriente de agua. El escurrimiento superficial es una función de la intensidad y duración de la precipitación, permeabilidad de la superficie del suelo, tipo y extensión

de la vegetación, área de la cuenca de captación, geometría de los cauces, profundidad de la superficie freática, pendiente del terreno, etc. (Guadalupe de la Lanza Espino, Carlos Cáceres, Salvador Adame, 1999).

3.4.10 Fluido

Material que ofrece poca o ninguna resistencia a las fuerzas que tienden a cambiar la forma. (Guadalupe de la Lanza Espino, Carlos Cáceres, Salvador Adame, 1999).

3.4.11 Flujo

Movimiento de un fluido. (Guadalupe de la Lanza Espino, Carlos Cáceres, Salvador Adame, 1999).

3.4.12 Hidráulica

Se define como la aplicación de la mecánica de fluidos en ingeniería, para construir dispositivos que funcionan con líquidos, por lo general agua o aceite. La hidráulica resuelve problemas como el flujo de fluidos por conductos o canales abiertos y el diseño de presas de embalse, bombas y turbinas. (Bolinaga, 1979).

3.4.13 Numero de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es un parámetro adimensional cuyo valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento. El número de Reynolds depende de la velocidad del fluido, del diámetro de tubería, o diámetro equivalente si la conducción

no es circular, y de la viscosidad cinemática o en su defecto densidad y viscosidad dinámica. (Chow, 1994).

En una tubería circular se considera:

$Re < 2300$ El flujo sigue un comportamiento laminar.

$2300 < Re < 4000$ Zona de transición de laminar a turbulento.

$Re > 4000$ El fluido es turbulento.

3.4.14 Número de Froude

El número de Froude es un número adimensional definido como la relación de una velocidad característica a una velocidad de la onda gravitatoria. Se puede equivalentemente definir como la relación de inercia de un cuerpo a las fuerzas gravitatorias (Relaciona el efecto de las fuerzas de inercia con las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido). En la mecánica de fluidos, el número de Froude se usa para determinar la resistencia de un objeto parcialmente sumergido en movimiento a través del agua, y permite la comparación de objetos de diferentes tamaños.

Este tipo de número recibe este nombre, en honor al ingeniero inglés William Froude.

Cuando el número de Froude se encuentra en canales abiertos informa sobre el estado del flujo hidráulico. (Mohammed, 2014).

3.4.15 Pendiente

Podríamos definir la pendiente del terreno en un punto dado como el ángulo que forma el plano horizontal con el plano tangente a la superficie del terreno en ese

punto. Es, en definitiva, la inclinación o desnivel del suelo. En lugar de expresarla como un ángulo, es más interesante representar la pendiente del terreno como un valor de tanto por ciento. Esto se obtiene multiplicando por 100 la tangente del ángulo que define el desnivel del suelo. (Anónimo).

3.4.16 Régimen

Se refiere a la variabilidad que tiene el flujo de agua. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.4.17 Superficie

Extensión en que solo se consideran dos dimensiones, longitud y latitud. (Gustavo de Elorza Martínez, 2008).

3.4.18 Topografía

Es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales. (Carciente J, 1981).

3.4.19 Volumen

El volumen como magnitud es entendido como el espacio que ocupa un cuerpo. La misma posee tres dimensiones, alto, ancho y largo. Según el Sistema Internacional de Unidades, el volumen es representado por el metro cúbico. En la vida cotidiana el litro también puede ser considerado como una unidad del volumen.(Anónimo).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipos de investigación

4.1.1 Proyecto factible o investigación proyectiva

Se denomina Proyecto Factible a la elaboración de una propuesta viable, destinada a atender necesidades específicas a partir de un diagnóstico. El Manual de Tesis de Grado y Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Libertador, (2003), plantea: “Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos necesidades de organizaciones o grupos sociales que pueden referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos, o procesos. El proyecto debe tener el apoyo de una investigación de tipo documental, y de campo, o un diseño que incluya ambas modalidades.” (p. 16).

Según Hurtado (2000):

“una investigación de tipo explicativa consiste en la elaboración de una propuesta o de un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y las tendencias futuras”.

Esta investigación se considera proyectiva o factible porque se propone la aplicación de la ingeniería básica en sistemas de drenaje superficial mediante canales abiertos, torrenteras y fosa de disipación para la canalización de las aguas pluviales en el entorno del conjunto urbanístico “Luisa Cáceres de Arismendi” (ES-1) en la

población de El Salto, estado Monagas; esto implica aprovechar al máximo todos los conocimientos adquiridos en el área de estudio para lograr cumplir con los objetivos planteados y así brindar solución al potencial problema de drenaje o modificación indeseable del relieve que se podría presentar.

Por otro lado, Balestrini, M. (2006) menciona que las investigaciones proyectivas:

“están orientadas a proporcionar respuestas o soluciones a problemas planteados en una determinada realidad: organizacional, social, económica, educativa, etc. En este sentido, la delimitación de la propuesta final, pasa inicialmente por la realización de un diagnóstico de la situación existente y la determinación de las necesidades del hecho estudiado, para formular el modelo operativo en función de las demandas de la realidad abordada”.

Esta investigación es un proyecto factible ya que la propuesta se utilizará para la realización del diseño de un sistema de descarga mediante rápidas escalonadas (torreteras) que se utilizará para drenar las aguas pluviales que escurrirán en la urbanización “Luisa Cáceres de Arismendi” (ES-1) en la población de El Salto.

4.2 Diseño de la investigación

Se trata este aspecto de la estrategia que se empleará para acometer la investigación. En este caso específico se trata de una investigación de campo y documental por lo que las describimos a continuación:

4.2.1 Investigación de campo

Según los autores Palella y Martins (2010), define: La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta. (p.88)

Esta investigación es de campo ya que algunos de los datos serán tomados directamente de la zona de estudio, tales como: datos topográficos, observaciones de la vegetación y de los suelos, entre otras.

4.2.2 Investigación documental

Según el autor Arias, F. (2012), define: la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (p.27)

Asimismo, se dice que es una investigación documental porque la información climatológica será obtenida directamente del Instituto Nacional de Meteorología E Hidrología (INAMEH) y la representación geo-referenciada de los eventos se realizará por medio del apoyo de documentos (cartas, planos, mapas) provenientes de los entes competentes (Instituto Geográfico de Venezuela “Simón Bolívar”).

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población

Se entiende por población el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio". (Arias, F. 2006).

La población según Balestrini (1997), se define como "cualquier conjunto de elementos de lo que se quiere conocer o investigar alguna de sus características". (P 126).

En el presente caso se considerará como población de la investigación toda la superficie de la zona que drenará aguas pluviales fuera del conjunto residencial "Luisa Cáceres de Arismendi" (ES-1).. Así como también los terrenos adyacentes a ella hasta las riberas de las corrientes fluviales del sector en la población de El Salto, estado Monagas.

4.3.2 Muestra de la investigación

La muestra según Balestrini (1997), se define como: "una parte o subconjunto de la población" (p.130); ésta podrá representar o no en buena forma a la población y su tamaño dependerá del tipo de estudio que se desee realizar y de acuerdo a la profundidad del mismo, donde hay que considerar varios factores entre ellos el tipo de distribución y el nivel de significación estadística, para poder seleccionarla, lo cual forma parte de la estadística inferencia.

La muestra de la investigación será considerada de igual tamaño que la población por considerarse esta de dimensiones finitas y mensurables.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para obtener información relevante proveniente de la realidad objeto de estudio será necesario utilizar distintos instrumentos de recolección, como lo define Sabino, C. (2006): “Un instrumento de recolección de datos, en un principio es cualquier recurso del que se vale un investigador para acercarse a fenómenos y extraer de ellos información”..

4.4.1 Técnicas de recolección de datos

En tal sentido, y en relación a los objetivos definidos en el presente estudio ubicado en un contexto de investigación proyectiva, se utilizarán diversas técnicas de recolección de datos para cumplir con las metas propuestas

4.4.1.1 Observación directa

Tamayo, (2006), define observación directa como: “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”.

Mediante la observación directa, se hará un reconocimiento visual del área de estudio a fin de verificar las condiciones en las que se encuentra en cuanto a la topografía, vegetación, condiciones estructurales, y riesgos para la comunidad presente en el sector y sus cercanías; con el fin de determinar el caudal de la cuenca y sub-cuencas que escurren, así como también los parámetros geométricos e hidráulicos del sistema de drenaje propuesto.

4.4.1.2 Revisión literaria.

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, como lo expresa Tamayo, (2006): “la revisión Literaria es el fundamento de la parte teórica de la investigación y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado”.

4.4.1.3 Entrevistas no estructuradas.

La realización de entrevistas es una técnica de recolección muy significativa, a través de ésta se obtendrá información valiosa y de interés, permitiendo aclarar las dudas existentes sobre el tema en estudio.

Tal como lo expresa Sabino, C. (2006): “de un modo general una entrevista no estructurada, es aquella en la que no existe una estandarización formal, habiendo por lo tanto un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas”.

Éstas serán realizadas a profesionales calificados, específicamente ingenieros civiles, ingenieros geólogos y cualquier otro personal que nos pueda brindar algún tipo de asesoría en cuanto a la solución del problema.

4.4.2 Instrumentos de recolección de información

Los instrumentos de recolección de datos que se utilizarán en esta investigación son: GPS marca Garmin, Cámara Fotográfica Digital marca Minolta, Clinómetro, jalón, brújula Brunton, Computadora Portátil marca HP pavilion, Internet e imágenes satelitales de la zona. Material de oficina, entre otras.

4.5 Flujograma de investigación

A continuación se presentará el flujograma de la investigación en el cual se incluyen las actividades más importantes requeridas para darle respuesta a los objetivos específicos formulados.

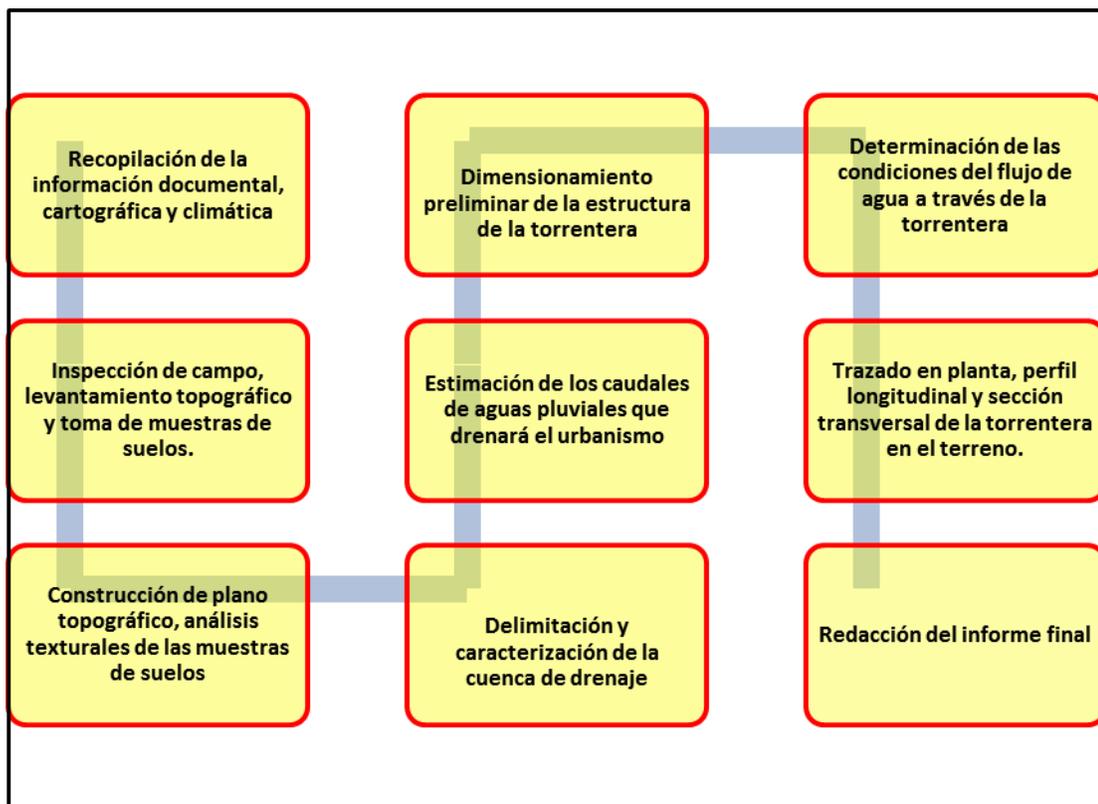


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

4.6.1 Procedimiento para el logro de los objetivos

4.6.1.1 Recolección de información

Se basa en la búsqueda de información relacionada con la investigación, de manera de ampliar los conocimientos partiendo de fuentes bibliográficas como libros,

planos, trabajos de investigación, entre otros, para proceder a la selección del tema de estudio enmarcándose en la problemática de mayor índole en hidráulica de canales como lo es la construcción de sistemas de drenajes que sirvan para captar aguas de lluvias y transportarlas a puntos de descargas a fin de brindarle bienestar a una determinada población.

Al definir el tema de estudio se establecieron una serie de objetivos que ameritan ser dispuestos a cumplirse para alcanzar el objetivo general de la investigación.

4.6.1.2 Trabajo de campo

Para poder identificar el área de estudio se realizó una visita técnica a nivel general de todo el proyecto y se determinó un área específica de trabajo (talud a través del cual se deberían conducir las aguas pluviales mediante la torrentera), conociendo las características topográficas (mediante levantamiento expeditivo del talud) y físicas de dicha zona de estudio, y finalmente, se tomaron anotaciones e imágenes fotográficas de los accidentes o eventos notables en el área (flora, entre otros) para darle veracidad a la información expuesta.

4.6.1.3 Análisis e interpretación de los resultados obtenidos

Se procesaron los datos necesarios para realizar el análisis de los elementos a ser considerados y la información obtenida. Estos fueron expresados mediante gráficos, tablas y figuras, mencionando de esta manera los aspectos relevantes que presentan el área de estudio y las medidas utilizadas para alcanzar los objetivos planteados en cuanto al diseño de la torrentera. Entre las actividades relevantes, se pueden mencionar:

Se procedió a la extracción y análisis de las características relevantes del relieve a partir del plano topográfico respectivo del urbanismo y del talud objeto de estudio. . Se efectuó un dimensionamiento preliminar de la torrentera con base a las ecuaciones de Manning utilizando para ello el programa HCANALES.

Posteriormente, se analizaron los flujos que se producirían dentro del canal torrentera utilizando las ecuaciones de Darcy y Bernoulli (utilizando para ello el programa HEC-RAS) con la finalidad de validar o reajustar las dimensiones iniciales dadas a la estructura de drenaje.

4.6.1.4 Formulación de conclusiones y recomendaciones

Para cada objetivo específico se formuló una conclusión respectiva, lo cual conllevó a plantear una serie de recomendaciones para dar sustento a la información obtenida.

4.6.1.5 Redacción del proyecto de grado final

Al culminar con resultados exitosos cada una de las fases del tema planteado, se logró la elaboración y redacción del proyecto de grado.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Características pluviométricas del área en estudio

El área de estudio está conformada por una superficie actual de 55.2 ha, en la cual se han estudiado las características de la pluviometría, para lo cual se utilizaron los datos registrados en las estaciones dentro del perímetro o en su área de influencia inmediata.

Para establecer las características de las lluvias se efectuó un análisis cuantitativo, con base en los datos de los promedios mensuales y anuales de los parámetros registrados en las estaciones meteorológicas Macagua y Puerto Ordaz, cuyos datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y CORPOELEC. En la tabla 5.1, se muestran las características de las estaciones mencionadas.

Tabla 5.1 Características de las estaciones climatológicas utilizadas (INAMEH, 2017).

Estación	Tipo	Serial	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Organismo
Macagua	C1	8106	08°17'29''	62°39'21''	79	CORPOELEC
Puerto Ordaz R-A	C2	3813	08°19'00''	62°43'00''	51	INAMEH

El área del proyecto se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge.

En el área de estudio se recibe una pluviosidad promedio alrededor de los 1.088 mm anuales, la temperatura media anual oscila alrededor de los 27°C y su

evaporación promedio supera los 2.200 mm por año. De acuerdo con esto, el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi), caracterizado por presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien definidos, con una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C.

5.1.1 Precipitación

El valor promedio anual de precipitación para la zona del proyecto es de 1000 mm, el cual fue estimado a partir de los promedios anuales de las estaciones localizadas alrededor del área de estudio. En la tabla 5.2, se muestran los promedios mensuales y el total anual de precipitación para el período 1950-2011; con base en ellos se elaboró la figura 5.1.

El régimen pluviométrico es de tipo unimodal, es decir, se registra un solo tope de lluvia durante el año. Este ocurre en los meses del verano astronómico (junio, julio y agosto), lo cual corresponde con la época de mayor actividad de la convergencia intertropical, responsable directa de la distribución temporal de las lluvias en el territorio venezolano.

En estos tres meses se recoge más del 54% del volumen total de precipitación anual. El valor más bajo de precipitación se registra en los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo).

Tabla 5.2. Precipitación media mensual y anual (mm). Período 1950-2011 (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Puerto Ordaz R-A	36,3	27,3	21,5	28,7	89,9	179,3	162,6	133,9	83,7	81,6	83,2	69,3	997,4

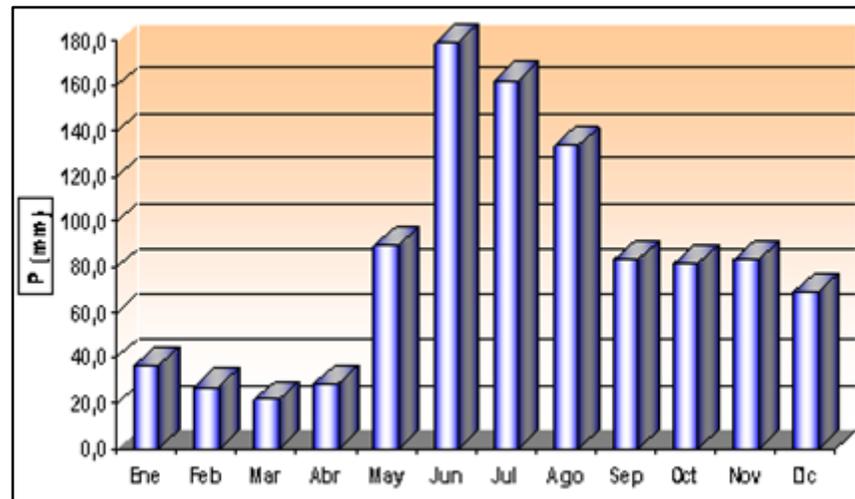


Figura 5.1 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).

5.2 Delimitación de la cuenca que aportará las aguas de escorrentía

En la figura 5.2 se presenta el modelo de la propuesta urbanística para la cual se propondrá en esta investigación, un adecuado sistema de drenaje de encauzamiento final de las aguas de escorrentía pluvial que sean desalojadas del conjunto urbanístico “Luisa Cáceres de Arismendi (codificado como ES-1)

Asimismo, en la figura 5.3 se presenta el sentido del flujo y codificación en cada vialidad y de las parcelas involucradas.



Figura 5.2 Modelo de propuesta urbana del urbanismo Luisa Cáceres de Arismendi

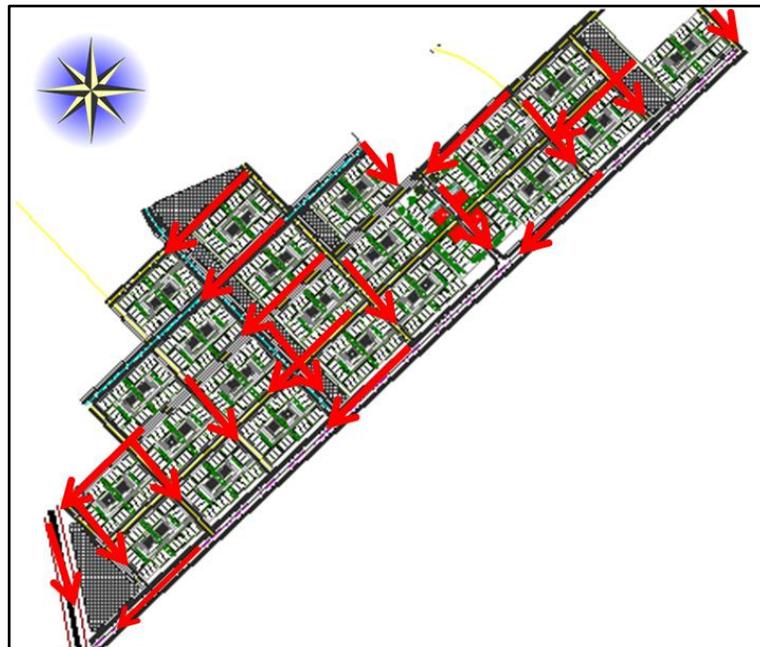


Figura 5.3 Sentido de los flujos de escorrentía a través de vialidades.

5.3 Estimación del coeficiente de escurrimiento ponderado de la cuencas de drenaje

En el urbanismo, en total se cuantificaron las siguientes superficies según su cobertura:

Tabla 5.3 Área total y tipo de cobertura en el urbanismo.

Tipo cobertura del suelo	Superficie		Porcentaje
	(m ²)	(ha)	
Residencial	200000	20,000	36,209
Pavimentada	157934	15,793	28,593
Área verde	194413	19,441	35,198
Total	552347	55,234	100

Considerando los coeficientes de escorrentía por zonificación presentada en la tabla 3.4 y 3.5 (Bolinaga, 1979), se asignaron los siguientes coeficientes de escorrentía de acuerdo a los usos del suelo encontrados en la zona de estudio:

- a. Zona verde o parques: 0.20
- b. Área residencial: 0.60
- c. Área pavimentada: 0.83

Aplicando la fórmula para el cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Estimación del coeficiente de escorrentía ponderado

Tipo cobertura del suelo	Superficie		Porcentaje	Coeficiente de escorrentía (Ce)	Coeficiente de escorrentía ponderado (Cepond)
	(m ²)	(ha)			
Residencial	200000	20,000	36,209	0,60	0,5250
Pavimentada	157934	15,793	28,593	0,83	
Área verde	194413	19,441	35,198	0,20	
Total	552347	55,234	100		

5.4 Estimación del caudal de drenaje

Debido a la magnitud de la superficie del urbanismo ES-1 (55.235 ha), el cual no supera las 100 ha, se utilizará el método racional para la determinación del caudal de drenaje. Para ello, se requerirán tres (3) parámetros básicos: el área del urbanismo sujeta a escorrentías pluviales, el coeficiente de escurrimiento ponderado (Ce pond) y la intensidad de precipitaciones. Los dos primeros ya han sido obtenidos en los puntos anteriores de este capítulo.

5.4.1 Tiempo de concentración e intensidad de lluvia

En cuanto a la intensidad de la lluvia, en la tabla 5.5, aparece el resumen de los datos la intensidad de lluvia para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años y diferentes duraciones tomados de CVG TECMIN, C.A. (2015).

Tabla 5.5 Datos de Intensidad (mm/h) para diferentes duraciones y diferentes períodos de retorno para la estación El Silencio (CVG Tecmin, C.A., 2015).

Durac. (h)	Tr (Años)				
	5	10	25	50	100
0.25	127,1	152,0	184,9	209,8	234,6
0.5	87,2	106,0	130,8	149,6	168,3
1	58,4	71,2	88,1	100,9	113,7
3	29,0	37,4	48,5	56,9	65,3
6	15,8	20,3	26,3	30,8	35,3
9	11,3	14,6	19,0	22,3	25,6
12	8,5	11,0	14,4	16,9	19,4
24	4,6	5,9	7,7	9,0	10,4

La relación probabilística entre la intensidad de la lluvia, su duración y frecuencia, es usualmente presentada en forma de gráficas. Estas representaciones son generalmente referidas como curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), que resultan de unir los puntos que especifican la intensidad de la lluvia, en intervalos de diferente duración y, también en distintos periodos de retorno. Con base a la tabla 5.5 se construyó la curva IDF ara un tiempo de retorno (Tr) el cual es el correspondiente al diseño de obras de drenaje urbano.(figura 5.4).

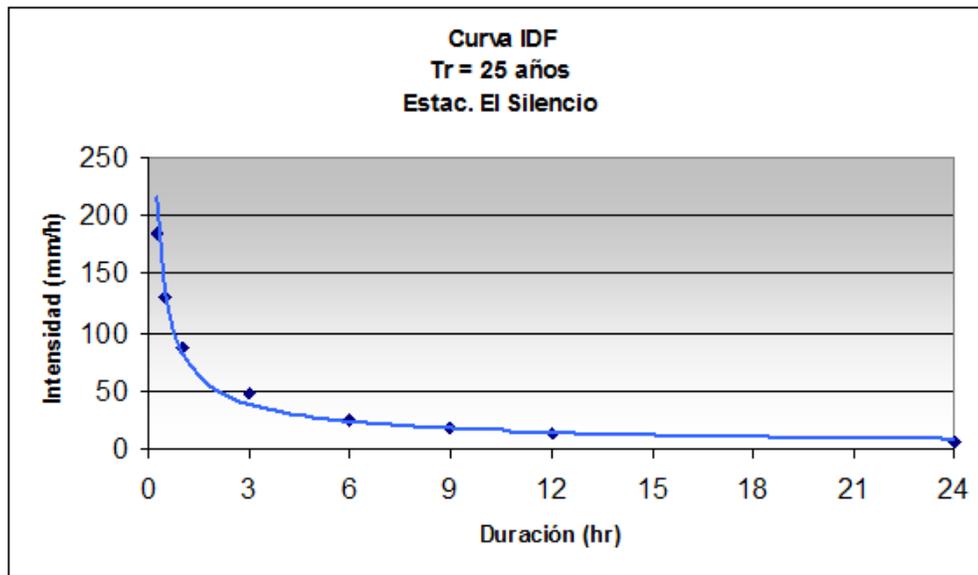


Figura 5.4 Curva IDF para estación El Silencio período 1968 - 2000 (CVG Tecmin, C.A., 2015).

Sin embargo para extraer la intensidad de lluvia del gráfico anterior se deberá determinar el Tiempo de concentración (T_c).

El tiempo de concentración será determinado mediante la fórmula (3.19) del California Culvert Practices . A tal efecto, se consideró la distancia máxima recorrida por las aguas superficiales desde el extremo de la cuenca urbana hasta el punto de recolección de aguas ($L = 1732$ m) para un desnivel promedio de $H = 2.00$ m, se obtuvo un tiempo de concentración (T_c) promedio de:

$$T_c = 0.0195 (1732^3 / 2.00)^{0.385}$$

$$T_c = 82 \text{ min}$$

Con ese tiempo de concentración, posteriormente se ingresa en el gráfico de las curvas IDF correspondientes para la zona de estudio y se obtuvo un valor de

Intensidad de lluvia (I) para un Período de retorno (Tr) de 25 años de 60 mm/hr (167 lps/ha).

5.4.2 Caudales de drenaje

Se determinó el caudal de drenaje aportado por toda la superficie del urbanismo.

Tabla 5.6 Estimación del caudal de drenaje por el método racional.

Area de la cuenca	Coficiente de escorrentía ponderado	Intensidad de lluvia	Caudal de drenaje	
(A)	(Cep)	(I)	(Qd)	
(ha)		(lps/ha)	(lps)	(m ³ /s)
55,234	0,525	167	4842,641	4,842

Lo cual implica un caudal total drenado por el urbanismo de 4.842 m³/s.

5.5 Trazado en planta y longitudinal de la torrentera

5.5.1 Trazado en planta de la torrentera

En la figura 5.5 se presenta el alineamiento en planta de la torrentera propuesta para el desalojo de las aguas pluviales drenadas desde el conjunto residencial “Luisa Cáceres de Arismendi” (ES-1). La misma tendrá una alineación desde el urbanismo siguiendo una dirección N 80° W, con una distancia de 955.00 m partiendo con una cota de salida en el urbanismo de 22.50 msnm según coordenadas UTM N 984683 – E 502590 y terminando la alineación en la margen izquierda descendente de un río

que transcurre al oeste del urbanismo, a una cota de 10.00 msnm y según coordenadas UTM N 984821 – E 501666.

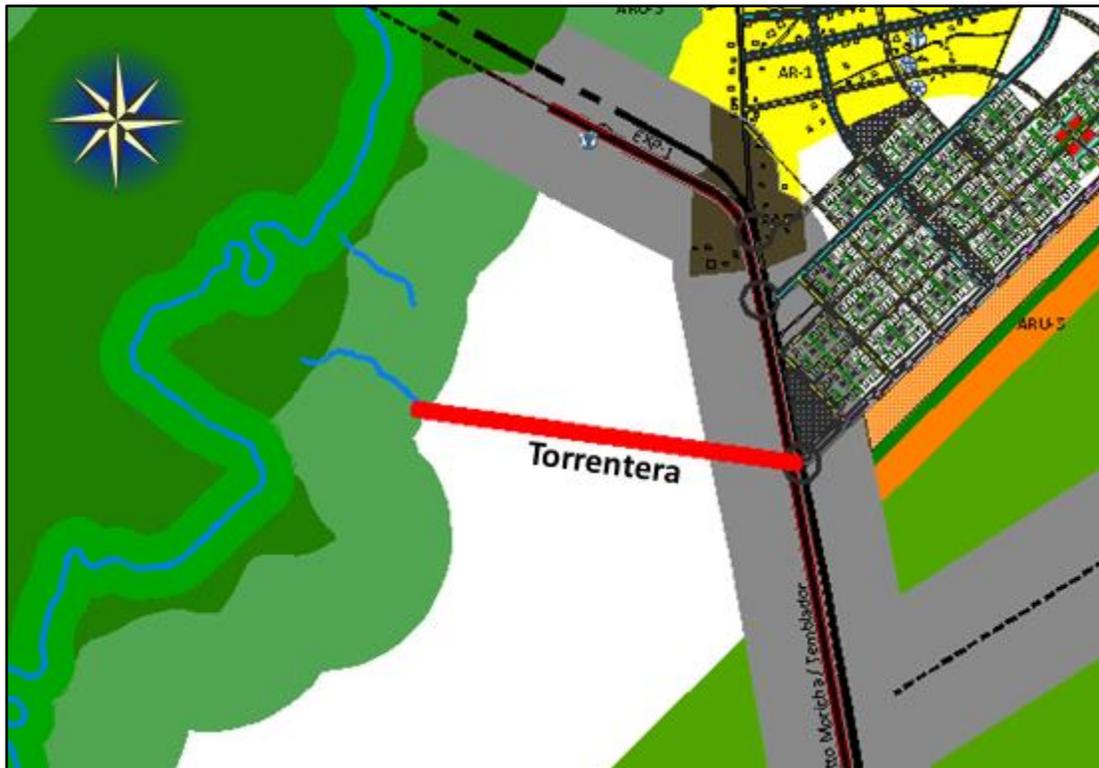


Figura 5.5 Trazado en planta de la torrentera.

5.5.2 Perfiles longitudinales

Finalmente, habiendo definido de manera precisa el trazado en planta de la torrentera, se procedió a la confección del perfil longitudinal lo que requirió utilizar la topografía del área de estudio ya que se definen como una representación gráfica de la forma del terreno, siendo significativo incorporar el perfil de la torrentera junto al terreno ya que nos permitió correlacionar las condiciones existentes entre ellos.

En la siguiente figura se presenta el perfil general de la torrentera con una pendiente de 0.013089 m/m trazada desde la esquina suroeste del conjunto urbanístico hasta el río que pasa al oeste del urbanismo.

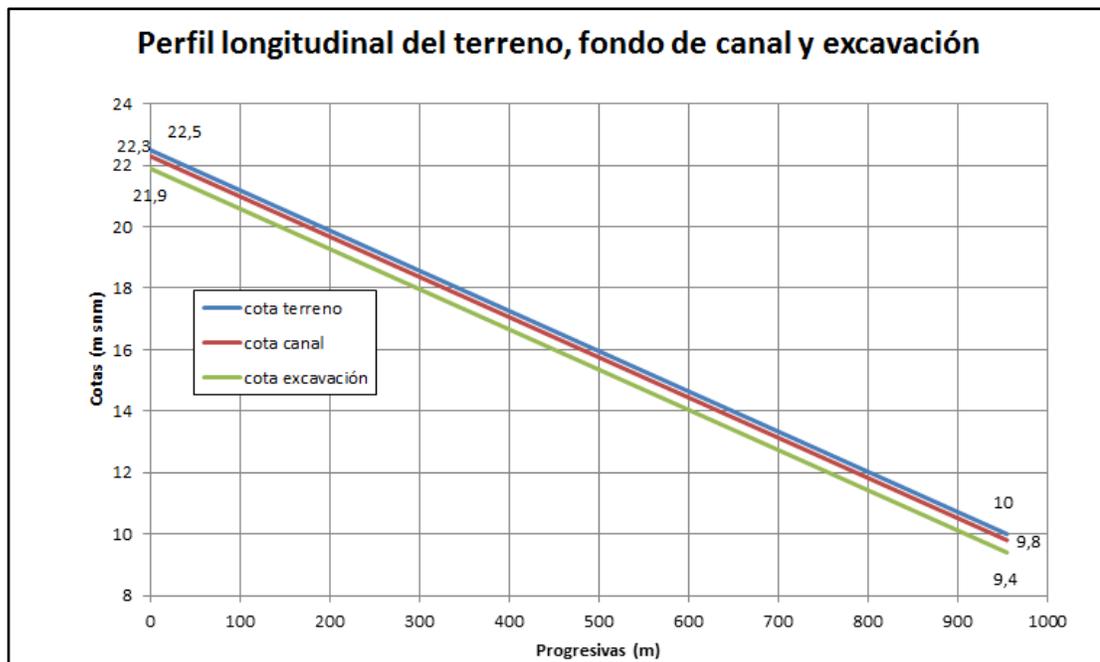


Figura 5.6 Perfil longitudinal de la rápida escalonada.

5.6 Elementos geométricos y dimensionales de la torrentera

5.6.1 Estimación del ancho de la solera (b) de la torrentera

En primer lugar, es necesario determinar el ancho adecuado o base (b) de la sección transversal para la torrentera, para lo cual se aplicará las ecuaciones planteadas por Aristizabal, et al, (2013) para la estimación del ancho de la solera (b) en una torrentera con deflectores de corriente:

$$b = 0.905 \cdot Q^{2/5}$$

$$b = 0.905 \cdot (4.84 \text{ m}^3/\text{s})^{2/5} = 1.70 \text{ m}$$

Aristizabal, et al, (2013), plantea también el cálculo del ancho de la solera de una rápida (como caso extremo de un canal en ladera de talud) mediante la fórmula siguiente:

$$b = 0.1 (Q / 4.79 \times 10^{-3})^{0.4} \quad (5.1)$$

$$b = 0.1 (4.84 \text{ m}^3/\text{s} / 4.79 \times 10^{-3})^{0.4} = 1.59 \text{ m}$$

Considerando ambos valores calculados para el ancho de la solera (b), asumiremos el promedio de ambos resultados como un valor adecuado para la torrentera: $b = 1.65 \text{ m}$

5.6.2 Profundidad normal y profundidad crítica de la torrentera

De acuerdo a la figura 5.7 para Profundidad normal en secciones rectangulares de Camacho (1996), partiendo del ancho de la solera (b) igual a 1.65 m, se ubica en la escala del segundo eje de abscisas auxiliares, identificado $b=2$, se ubica el valor 1.65 obteniendo un valor para $y_n/b = 0.26$. Obteniéndose un valor de $y_n = 0.429 \text{ m}$

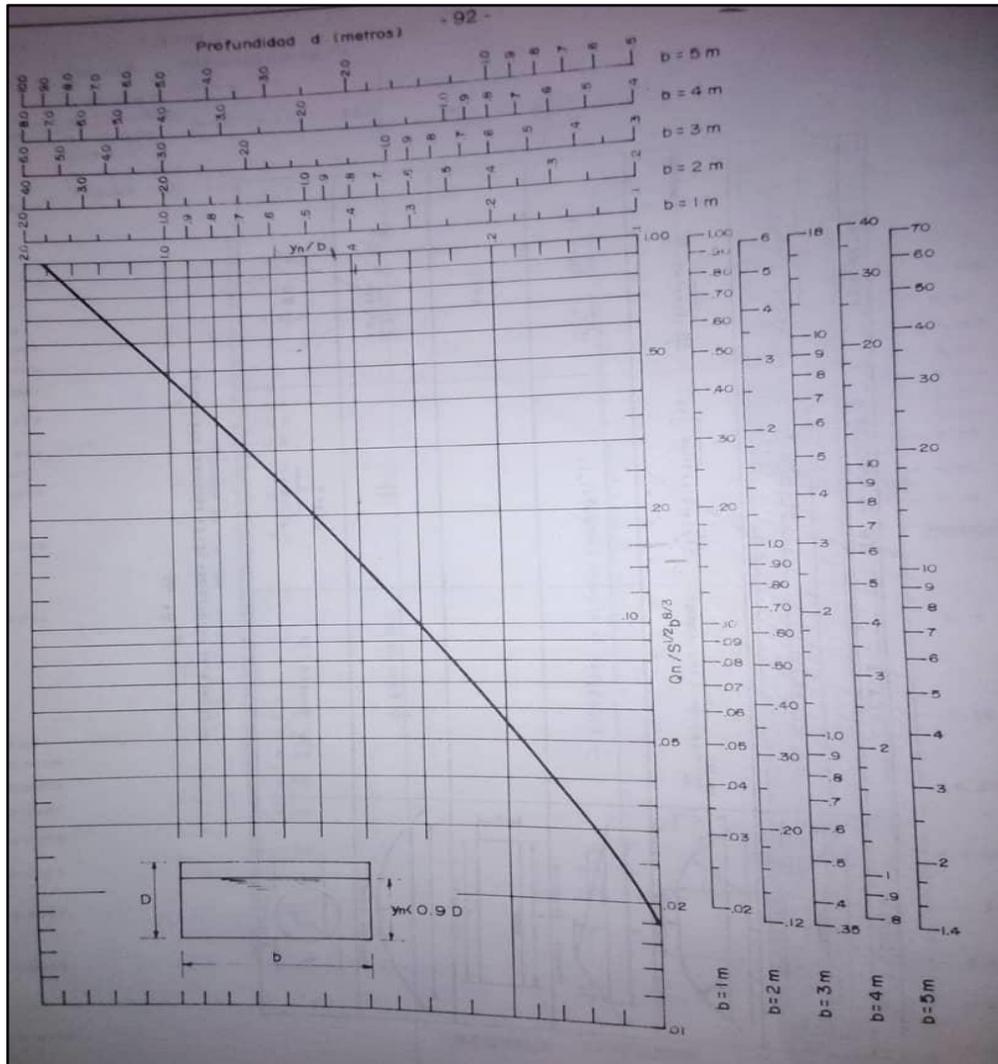


Figura 5.7 Profundidad normal para canales de sección rectangular (Camacho,F., 1996).

De la ecuación para el cálculo de la profundidad crítica (y_c):

$$y_c = (q^2 / g)^{1/3} \quad (5.2)$$

$$y_c = ((Q/b)^2 / g)^{1/3} \quad (5.3)$$

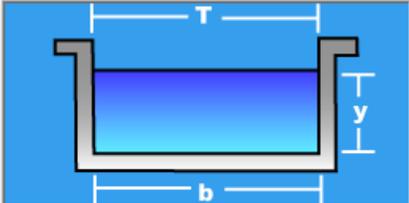
Sustituyendo:

$$y_c = ((4.84 \text{ m}^3/\text{s} / 1.65 \text{ m})^2 / 9.8 \text{ m/s}^2)^{1/3} = 0.96 \text{ m}$$

Lo cual se ratifica por el programa HCANALES como se observa en el reporte del programa presentado en la figura 5.8.

Lugar:	<input type="text" value="El Salto, Estado Monagas"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Tesis Propuesta Rápida esc."/>
Tramo:	<input type="text" value="Rápida"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Concreto cepillado"/>

Datos:			
Caudal (Q):	<input type="text" value="4.84"/>	m ³ /s	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1.65"/>	m	
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>		



Resultados:			
Tirante crítico (y):	<input type="text" value="0.9572"/>	m	
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="1.5794"/>	m ²	
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.6500"/>	m	
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.0000"/>		
Perímetro (p):	<input type="text" value="3.5645"/>	m	
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.4431"/>	m	
Velocidad (v):	<input type="text" value="3.0644"/>	m/s	
Energía específica (E):	<input type="text" value="1.4359"/>	m-Kg/Kg	

Figura 5.8 Cálculo del tirante crítico (y_c) según HCANALES

Cuando $y_c > y_n$ se dice que el flujo será supercrítico en el canal. Debe acotarse que este cálculo inicial corresponde a una caída no escalonada; es decir, sin disipadores de energía mediante el cual se valida que las condiciones geométricas de un canal abierto sin disipación de energía.

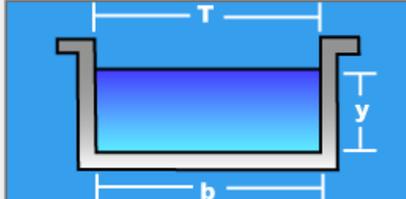
5.6.3 Parámetros hidro-geométricos de la rápida escalonada

A tal efecto, se utilizará en primer lugar el programa HCANALES, para la simulación de un canal abierto tipo caída sin disipación de flujo. Para el cálculo de sus parámetros geométricos e hidráulicos el programa aplica las ecuaciones: de Darcy, de Manning y de Bernoulli arrojando los resultados que se muestran en la

figura 5.9 y tabla 5.7 para las condiciones dadas iniciales. Obsérvese que para esas condiciones, se desarrollarían velocidades superiores a lo permisible (> 5 m/s).

Lugar:	<input type="text" value="El Salto, estado Monagas"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Tesis propuesta rápida esc."/>
Tramo:	<input type="text" value="anal tipo caída sin disipacion"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Concreto cepillado"/>

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="4.84"/> m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1.65"/> m
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.016"/>
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.013089"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.7609"/> m	Perímetro (p):	<input type="text" value="3.1719"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="1.2555"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.3958"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.6500"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="3.8549"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.4109"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="1.5183"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

Figura 5.9 Modelamiento de canal tipo caída sin disipación de energía generado por el programa HCANALES.

Tabla 5.7 Parámetros geométricos e hidráulicos del canal

Parámetros	Tramo superior
Caudal, Q (m ³ /s)	4.84
Coefficiente rugosidad, n	0.016
Pendiente longitudinal, So (m/m)	0.013089
Ancho de solera, b (m)	1.65
Profundidad normal, y _n (m)	0.76
Profundidad crítica, y _c (m)	0.96
Área, A (m ²)	1.26
Ancho superficie, T (m)	1.65
Perímetro mojado, P _m (m)	3.17
Radio hidráulico, R _h (m)	0.40
Velocidad flujo, V (m/s)	3.85
Energía específica, E _s (m.kg/kg)	1.52
Número de Froude, Fr	1.41
Tipo de flujo	Supercrítico

Se debe ratificar que las estimaciones anteriores se corresponden para un canal de sección rectangular con un ancho de solera recomendado por Aristizabal et al (2013).

5.6.4 Huella y contrahuella de la torrentera

Dado que las condiciones de un canal como el planteado anteriormente no permite obtener condiciones de número de Froude cercanas a 1, se procederá a continuación al cálculo de disipadores escalonados (rápida escalonada) para lograr las condiciones de velocidad del flujo permisibles. Según el manual de drenaje del Ministerio de Obras Públicas (M.O.P) se determinó a través del número de Froude del canal la relación de h/y y Lc/y como se muestra en la tabla 5.8 (Camacho, F., 1996), para conseguir la altura de la huella (h) y la longitud de la contrahuella (Lc) utilizada para el diseño de los escalones de las torrenteras.

Donde:

y = profundidad normal (m)

h = altura de la huella (m)

Lc = longitud de la contrahuella (m)

L_T = Longitud de la contrahuella corregida (m)

Tabla 5.8 Valores establecidos para el cálculo de torrenteras (Camacho, 1996).

VALORES APROXIMADOS											
N° FROUDE = 2				N° FROUDE = 3				N° FROUDE = 4			
h/y	Lc/y	LR/y	y^2/y	h/y	Lc/y	LR/y	y^2/y	h/y	Lc/y	LR/y	y^2/y
1.0	2.8	9.4	1.9	1.0	3.4	18.4	3.4	1.0	3.4	28.6	5.2
1.5	3.2	9.0	1.7	1.5	4.0	17.2	3.0	1.5	4.5	27.0	4.7
2.0	3.5	8.5	1.4	2.0	4.4	15.8	2.6	2.0	5.2	25.2	4.2
NOTA: En las torrenteras, como longitud de la huella se recomienda utilizar 1.1 Lc .											

En vista de ello, considerando el valor del número de Froude (obtenido por HCANALES), de $Fr = 1.41$; se asumirá un $Fr = 2$ y una relación $h/y = 1.5$ en la tabla para la estimación de la disipación por caída con régimen supercrítico.

Dado que según el cálculo con HCANALES:

$$y_n = 0.76 \text{ m} \rightarrow y = y_n, \rightarrow y = 0.76 \text{ m},$$

Según Camacho, F. (1996) para $Fr = 2$ se estiman a continuación la altura (h) y la distancia horizontal (L_T) mínimas para lograr la disipación de la energía deseada, entonces de la tabla 5.8:

$$h / y = 2 \rightarrow h / 0.76 = 2 \rightarrow h = 1.52 \text{ m}.$$

De la misma tabla 5.8, se obtiene, de forma similar, para cada una de las relaciones:

$$L_c / y = 3.5 \rightarrow L_c = 3.5 \times 0.76 \text{ m} = 2.66 \text{ m}$$

Ahora bien, la contrahuella o longitud de la huella corregida (L_T) se determina mediante la ecuación:

$$L_T = 1.1 L_c \tag{5.5}$$

Sustituyendo:

$$L_T = 1.1 \times 2.66 \text{ m} = 2.93 \text{ m} \approx 3.00 \text{ m}$$

5.7 Evaluación de los flujos que se producen en la rápida escalonada

Considerando la geometría inicial calculada según sus valores de huella y contrahuella, pendiente longitudinal y longitud para la torrentera, así como el caudal total drenado por la cuenca urbana, se efectuará el modelamiento de los flujos que pasa por la rápida escalonada utilizando la aplicación computarizada HEC-RAS, el cual es un modelo matemático unidimensional de flujo permanente.

En la Tabla 5.9 se muestra el modelamiento con HEC-RAS de los parámetros hidráulicos del flujo en la rápida escalonada. A partir de la cuarta columna se puede observar el caudal (Q total), cota del fondo del canal (Min Ch El), cota de la superficie del agua (W.S. Elev), cota crítica de la superficie del agua (Crit W.S.), cota de la línea de energía (E.G. Elev), pendiente de la línea de energía (E.G. Slope), velocidad del flujo (Vel Chnl), Área de la sección (Flow Area), ancho entre márgenes (Top Width) y número de Froude (Froude·Chl).

Tabla 5.9 Parámetros hidráulicos del flujo modelado en la rápida escalonada.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Rápida Escalonad	1000	Tr = 25 años	4,84	22,00	22,95	22,95	23,44	0,007172	3,07	1,57	1,65	1,00
Rápida Escalonad	999.9	Tr = 25 años	4,84	21,00	22,66		22,82	0,001775	1,77	2,74	1,65	0,44
Rápida Escalonad	890	Tr = 25 años	4,84	21,00	21,95	21,95	22,44	0,007176	3,07	1,57	1,65	1,01
Rápida Escalonad	889.9	Tr = 25 años	4,84	19,00	20,68		20,84	0,001707	1,74	2,78	1,65	0,43
Rápida Escalonad	770	Tr = 25 años	4,84	19,00	19,95	19,95	20,44	0,007172	3,07	1,57	1,65	1,00
Rápida Escalonad	769.9	Tr = 25 años	4,84	18,00	19,67		19,83	0,001740	1,76	2,76	1,65	0,43
Rápida Escalonad	655	Tr = 25 años	4,84	18,00	18,95	18,95	19,44	0,007176	3,07	1,57	1,65	1,01
Rápida Escalonad	654.9	Tr = 25 años	4,84	16,00	17,68		17,84	0,001707	1,74	2,78	1,65	0,43
Rápida Escalonad	535	Tr = 25 años	4,84	16,00	16,95	16,95	17,44	0,007173	3,07	1,57	1,65	1,00
Rápida Escalonad	534.9	Tr = 25 años	4,84	15,00	16,67		16,83	0,001740	1,76	2,76	1,65	0,43
Rápida Escalonad	420	Tr = 25 años	4,84	15,00	15,95	15,95	16,44	0,007176	3,07	1,57	1,65	1,01
Rápida Escalonad	419.9	Tr = 25 años	4,84	13,00	14,66		14,82	0,001775	1,77	2,73	1,65	0,44
Rápida Escalonad	310	Tr = 25 años	4,84	13,00	13,95	13,95	14,44	0,007172	3,07	1,57	1,65	1,00
Rápida Escalonad	309.9	Tr = 25 años	4,84	12,00	13,66		13,82	0,001774	1,77	2,74	1,65	0,44
Rápida Escalonad	200	Tr = 25 años	4,84	12,00	12,95	12,95	13,44	0,007176	3,07	1,57	1,65	1,01
Rápida Escalonad	199.9	Tr = 25 años	4,84	10,00	11,66		11,82	0,001776	1,77	2,73	1,65	0,44
Rápida Escalonad	90	Tr = 25 años	4,84	10,00	10,95	10,95	11,44	0,007173	3,07	1,57	1,65	1,00
Rápida Escalonad	89.9	Tr = 25 años	4,84	9,00	10,40	9,95	10,63	0,002670	2,09	2,32	1,65	0,56
Rápida Escalonad	50	Tr = 25 años	4,84	9,00	9,95	9,95	10,44	0,007170	3,07	1,57	1,65	1,00

Obsérvese que fue necesario incrementar la profundidad normal en algunas secciones transversales (secciones conjugadas para evitar el desbordamiento.

Asimismo, se puede notar que se logra efectivamente la disipación de la energía llevando la criticidad del flujo a régimen subcrítico (números de Froude cercanos y menores de 1).

En la siguiente figura, se puede notar la lámina de agua (color azul) por debajo de los niveles de desborde (líneas rojas).

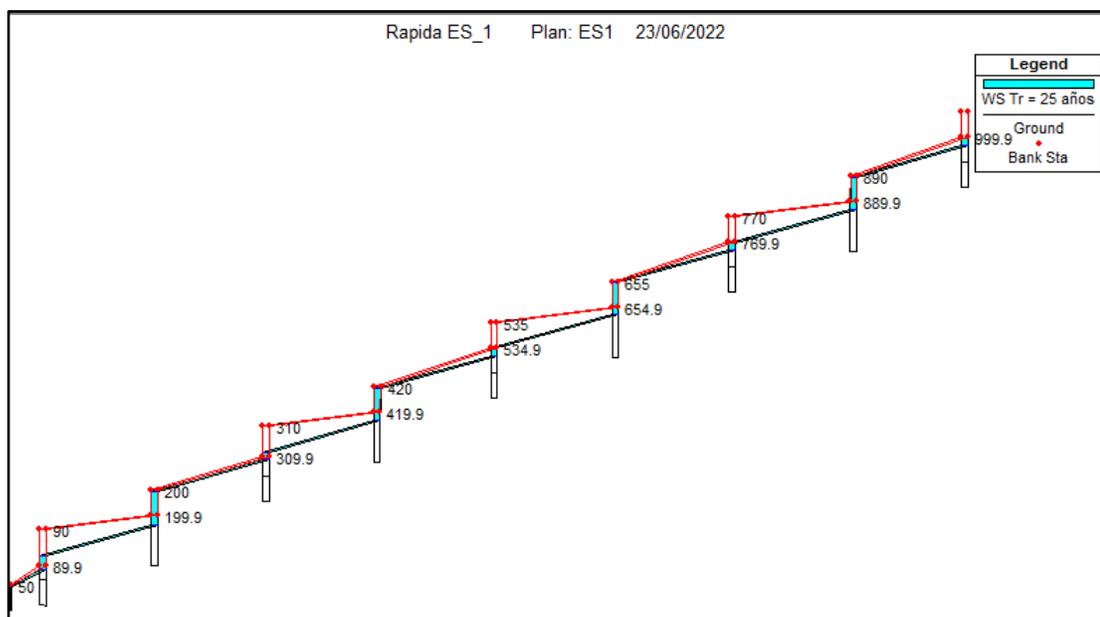


Figura 5.10 Modelamiento de los flujos en la rápida escalonada.

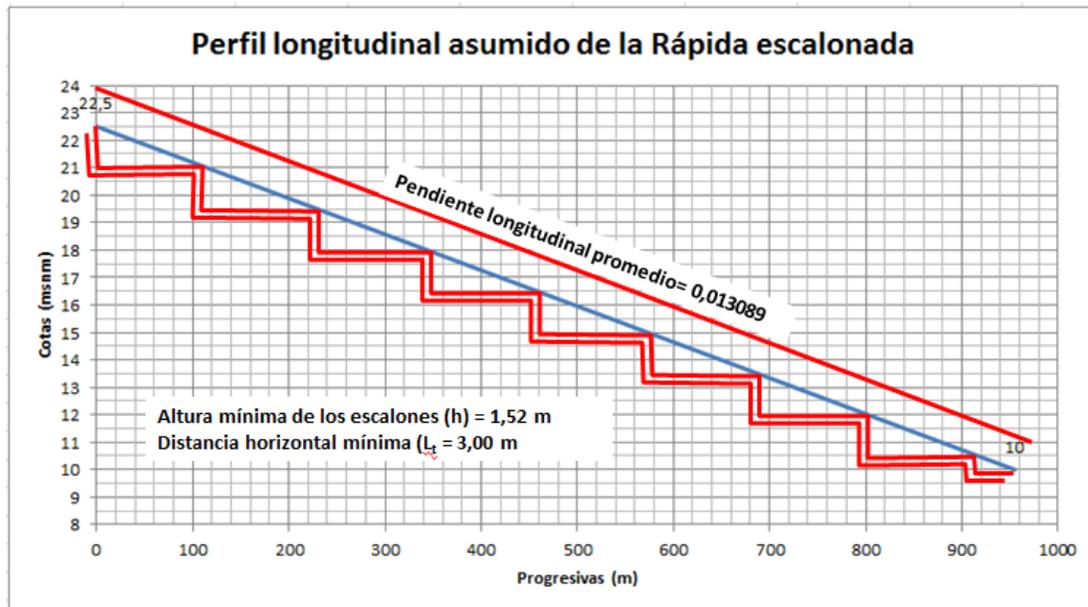


Figura 5.11 Perfil longitudinal básico de la rápida escalonada.

CAPÍTULO VI

LA PROPUESTA

6.1 Objetivo de la propuesta

Propuesta de un sistema de drenaje para la disposición final de las aguas desalojadas fuera del conjunto urbanístico “Luisa Cáceres de Arismendi” (ES-1), en la población de El Salto, estado Monagas, Venezuela.

6.2 Alcance de la propuesta

Proyectar, calcular y diseñar un sistema de descarga final mediante torrentera que tenga la capacidad de transportar de manera eficiente la totalidad del agua desalojada fuera de la urbanización “Luisa Cáceres de Arismendi” (ES-1), en la población de El Salto, estado Monagas, Venezuela.

6.3 Justificación de la propuesta

La implementación del sistema de drenaje propuesto garantizará la correcta disposición final de las aguas de escorrentía pluvial desalojadas del urbanismo mencionado. La totalidad de dichas aguas n ser conducidas hasta una corriente natural de aguas superficiales ubicada al oeste de las adyacencias del urbanismo.

6.4 Metodología de trabajo

Principalmente fue necesaria la delimitación el área y perímetro de la cuenca, recopilación del material técnico correspondiente a los estudios hidrológicos y

topográficos, posteriormente la delimitación y cálculo del área de parcelas, vialidad y vegetación, en función de estos determinamos el coeficiente de escorrentía ponderado, fue imprescindible obtener los valores de pendiente, tiempo de concentración e intensidad, acto seguido se procedió a la estimación del caudal mediante el método racional.

Habiendo obtenido los caudales correspondientes a cada canal, se procedió al diseño de su sección mediante la ecuación de Manning, optando por sección rectangular, habiendo definido las secciones se obtuvieron los parámetros geométricos e hidráulicos.

Para finalizar, se estableció un trazado de la rápida escalonada que cumpliera con las necesidades del sistema permitiendo un funcionamiento acorde y eficiente, aunado a eso la elaboración del perfil longitudinal, permitiendo correlacionar las condiciones del terreno y la torrentera.

6.5 Propuesta de canales

La propuesta se basa en una rápida escalonada trazada desde la esquina suroeste del urbanismo a una cota de 20 msnm hasta el río ubicado al oeste del urbanismo a una cota de 10 msnm. La rápida escalonada tendrá una longitud inclinada de 955.08 m y estará alineada según la dirección N70°W. La torrentera tendrá la capacidad de drenar eficientemente el caudal total de 4.84 m³/s desalojado de las 55.23 hectáreas del urbanismo y un caudal y manteniendo velocidades superiores a la mínima 0,75 m/s y menores a la máxima 5 m/s.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. De acuerdo a las características imperantes de la pluviosidad de carácter unimodal (aproximada a 1000 mm anuales), de la temperatura (27 °C en promedio) que solo oscila unos 5 °C y con la evaporación promedio anual que supera los 2.200 mm por año, se puede concluir que el área de estudio se enmarca en la zona de vida de Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge. Por otra parte, según la clasificación de Koppen se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi),

2. El área de la cuenca cuenta con 55.23 ha hectáreas equivalentes a 0.55 km². El relieve de la zona presenta sus mayores altitudes en el extremo este del urbanismo y las aguas de escorrentía seguirán patrones preferenciales de flujo en dirección hacia el sur-oeste.

3. Dentro del urbanismo se identificaron tres tipos predominantes de cobertura: residencial ocupando un 36.209%, pavimentada ocupando un 28.593% y finalmente, áreas verdes y parques ocupando un 35.195% de la superficie total del urbanismo. Luego de estimar coeficientes de escorrentía ponderado este resultado equivalente a 0.525.

4. Habiendo estimado para el urbanismo una intensidad de lluvias de 167 lps/ha se calculó que el caudal total de drenaje de aguas pluviales desalojado por el urbanismo “Luisa Cáceres de Arismendi es de 4.84 m³/s el cual será conducido por la rápida escalonada fuera del urbanismo hasta el sitio de disposición final de las aguas. hasta el sitio

5. El trazado en planta de la torrentera obedeció a un alineamiento de rumbo de N70° W debido a la ubicación relativa entre el urbanismo y el río ubicado al oeste para la disposición final. La torrentera tendrá un desnivel de 12.5 m con un desplazamiento horizontal de 955 m. y recogerá las aguas de todo el urbanismo.

6. La torrentera tendrá un diseño de sección rectangular con cobertura de concreto con una altura de huella (h) de 1.52 m y una longitud de contrahuella (L_T) de 3.00 m. Asimismo, estará dotada de protecciones laterales de muros de gaviones para defensa contra la erosión que pudiera producir las aguas de escorrentía pluvial que drenen fuera del urbanismo.

Recomendaciones

1. Se sugiere efectuar un estudio sobre la necesidad de construcción de una fosa disipadora de energía al pie de la torrentera en consideración a las variaciones de niveles de las aguas de la corriente fluvial donde se drenarán las aguas finalmente.
2. Proponer un monitoreo y mantenimiento preventivo sistemático de la estructura de la torrentera que permita asegurar su integridad física y la capacidad hidráulica de la obra.

REFERENCIAS

Arias, Fidias. (1999). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. (pp.55).

Arias, Fidias. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Quinta Edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. (pp.143).

Aristizábal, V.; Botero, B.; Marulanda, A.; Parra, J. y Vélez, J. (2013). **DISEÑO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO DE OBRAS DE INGENIERÍA PARA PROYECTOS VIALES**. Editorial Blanecolor. Manizales, Colombia. Pp. 43 y 193

Arocha, Simón. (1983). **CLOACAS Y DRENAJES**. Ediciones Vega s.r.l. Caracas, Venezuela. (pp.263).

Bañón Blázquez, Luis (2000). **EL AGUA Y LA CARRETERA**. 4 de Abril de 2015. [http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010401.pdf]. (pp.1–4).

Bateman, Allen (2007). **HIDROLOGÍA BASICA Y APLICADA**. Grupo de Investigaciones en Transporte de Sedimentos. Colombia. (pp.70).

Blanco Gladys y De Brito Roger, (2009), **DISEÑO DE PROGRAMA COMPUTARIZADO PARA EL ESTUDIO DE CANALES ABIERTOS**. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar

Beltrán González, L. (2004). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS**. Primera edición. Editorial Ameco. Puerto la cruz, Venezuela. (p. 5).

Bolinaga, Juan. (1979). **DRENAJE URBANO**. Instituto nacional de obras. Caracas, Venezuela. (pp.399).

Breña A. y Jacobo M. (2006). **PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**. Editorial Casa Abierta al Tiempo. México. (pp.254).

Chereque, W. (2003). **HIDROLOGÍA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL**. Segunda edición. Editorial Concytec. Lima, Perú.(pp.223).

Chow, Ven Te. (1994). **MANUAL DE HIDROLOGÍA APLICADA**. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.584).

Chow, Ven Te. (2000). **HIDROLOGÍA APLICADA**. Cuarta Edición. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.577).

Chow, Ven Te. (2004). **HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS**. Quinta Edición. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.655).

Chow, Ven Te. (2008). **HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS**. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.655)

Comisión Estatal de Aguas de Querétaro (2000). **ALCANTARILLADO PLUVIAL**. 19 de Noviembre de 2015 [<http://www.ceaqueretaro.gob.mx>]. (pp.30).

Diccionario de la Real Academia Española (DRAE). (2012) **DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA**. 17 de abril de 2015. [<http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>]

Erazo, Adriana. (2004). [Servicio Nacional de Estudios Territoriales]. **REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS Y MEDIOS EN EL SALVADOR**. 30 de septiembre de 2014. [<http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/caudales.pdf>]. (pp.21)

Finol M. y Camacho H, (2006). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Universidad del Zulia. Zulia, Venezuela. (p. 77)

Garreaud, Réne (2005). **ATMÓSFERA, TIEMPO Y CLIMA**. 5 de Abril de 2015. [http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases_Atmosfera/clase1_intro.pdf]. (pp.12)

Hernández, M. (2003). **EL MANUAL DE TESIS DE GRADO Y ESPECIALIZACIÓN Y MAESTRÍA Y TESIS DOCTORALES DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA LIBERTADOR**. Tercera Edición. FEDUPEL. Caracas, Venezuela. (pp.245).

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (2014). **ANUARIO ESTADÍSTICO**. 20 de septiembre de 2014. Anzoátegui. [<http://www.inameh.gob.ve/>]

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015). **XIV CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA DE ANZOATEGUI** 15 de febrero de 2015. [<http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/anzoategui.pdf>]

Jiménez Escobar, Henry (1986). **HIDROLOGÍA BÁSICA**. 28 de Noviembre de 2015 [<http://www.univalle.edu.com>]. (pp.248)

Khatsuria, R.M., (2005)., **HYDRAULICS OF SPILLWAYS AND ENERGY DISSIPATORS**. Department of Civil and Environmental Engineering Georgia Institute of Technology, Atlanta.

Martin Domingo, Augustin (2011). **APUNTES DE TRANSMISIÓN DEL CALOR**. 3 de Abril de 2015 [<http://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>]. (pp.53)

Martínez A. y Navarro, J. (1996). **HIDROLOGÍA FORESTAL: EL CICLO HIDROLÓGICO**. Universidad de Valladolid. Valladolid, España. (pp.286)

Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú (2011). **MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRAULICA Y DRENAJE**. 2 de Diciembre de 2015 [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf]. (pp.222)

Rodríguez, P. (2008). **HIDRÁULICA DE CANALES**. Instituto tecnológico de Oaxaca. México. (pp 570)

Rocha, Arturo. (2002). **HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES**. Primera Edición. Lima, Perú. (pp 515)

Sabino, C. (1994). **COMO HACER UNA TESIS Y ELABORAR TODO TIPOS DE ESCRITOS**. Tercera Edición. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela. (pp.240)

Scosinsky, G. y Losilla, M.[Revista Geológica de América Central] (2000). **MODELO ANALÍTICO PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN CON BASE EN LA LLUVIA MENSUAL.** 30 de septiembre de 2014. [<http://www.latindex.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/8579/8102>]. (pp.43-55)

Tamayo, M. (1997). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** Segunda Edición. Editorial Limusa. Mexico. (pp.175)

Tamayo, M. (1999). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** Segunda Edición. Editorial Limusa. México. (pp.231)

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	INGENIERÍA BÁSICA DE OBRAS CIVILES DE DESCARGA SUPERFICIAL TERMINAL DE DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES MEDIANTE RÁPIDAS ESCALONADAS EN EL CONJUNTO URBANÍSTICO "LUISA CÁCERES DE ARISMENDI" (ES-1), EN LA POBLACIÓN DE EL SALTO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Betancourt Gil, Angel Ricardo	CVLAC	20.286.253
	e-mail	RiKiangel48_@Hotmail.com
	e-mail	
Muñoz Alcalá, Erick Mel	CVLAC	20.286.165
	e-mail	Erickmel061045@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

q

Escorrentía pluvial
Canales de drenaje
Rápidas escalonadas
Torrenteras
El Salto

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Obras hidráulicas	Drenaje de aguas pluviales

Resumen (abstract):

El objetivo principal de esta investigación se basa en la propuesta de la ingeniería básica de un sistema que se encargue de recolectar aguas pluviales drenadas fuera del conjunto urbanístico Luisa Cáceres de Arismendi (codificado ES-1) mediante el diseño de canales abiertos tipo rápidas escalonadas en El Salto, estado Monagas. El nivel de este estudio es de proyecto factible o investigación proyectiva y el diseño o estrategia que será aplicada será de campo y documental, debido a que la información fue recopilada de datos tomados directamente del lugar donde ocurren los hechos en observación. Para realizar esta investigación se tuvo como base la información de antecedentes que permitió guiarse a lo largo del proyecto. Posteriormente, se realizó un estudio del área a tratar con la finalidad de saber qué medidas tomar para cumplir con el objetivo planteado; estimando los parámetros dimensionales e hidráulicos de la zona y la cantidad de agua que escurre fuera de la misma, para determinar el caudal de diseño drenado fuera del urbanismo. Esto se llevó a cabo utilizando el método racional para el cálculo del caudal donde se consideró: el coeficiente de escorrentía necesario para cada tipo de área, la intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 25 años y la cantidad de área de influencia. Los cálculos realizados en este proyecto condujeron al diseño de una torrentera que debe conducir fuera del urbanismo un caudal total de 4.84 m³/s. El diseño de esta rápida escalonada se efectuó considerando los caudales que serán drenados por cada parcela urbanizada, por cada tramo de calle y por todas las zonas verdes pautadas en el diseño del urbanismo. Asimismo, utilizando el programa HEC-RAS se verificará que las velocidades y niveles de los flujos que se producirán en la torrentera, cumplirán con lo establecido por el Ministerio de Obras Públicas (M.O.P) y la Gaceta Oficial N° 5.318. Para culminar se analizaron los resultados arrojados y se llegó a la conclusión que era factible la propuesta, ya que cumplía con los objetivos establecidos. La torrentera tendrá una alineación en dirección N 70 W con un recorrido horizontal de 955 m y salvando una diferencia de altura de 12.5 m. tendrá escalones disipadores de energía con una altura máxima de huella (h) cada uno de 1.52 a 1.68 m y una longitud mínima de contrahuella (L_T) de 3.00 m.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
ECHEVERRÍA DÍAZ, DAFNIS JOSÉ	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	4.506.408
	e-mail	Dafnisecheverria2807@gmail.com
	e-mail	
MONTEVERDE, FRANCISCO	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	@gmail.com
	e-mail	
Echeverría Coa, Beatriz Carolina	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	21.013.748
	e-mail	beitacaro@gmail.com
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2022	06	

Lenguaje Spa _____

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
Tesis-.Docx
Propuesta rápida escalonada para drenaje aguas pluviales de urb Luisa Cáceres de Arismendi, estado Monagas, Venezuela

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial : El Salto, estado Monagas, Venezuela

Temporal: año 2022-2027.

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Área de Estudio: Obras Hidráulicas de drenaje

Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR <i>Martínez</i>
FECHA <i>5/8/09</i> HORA <i>5:30</i>

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Curyelo
Secretario

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."

Ángel Ricardo Betancourt Gil
C.I.: V-20.286.253

Erick Mel Muñoz Alcalá
C.I.: V-20.286.165

TUTOR
Dafnis J. Echeverría D.
C.I. No 4.506.408