

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



**ESTIMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FLUJO A TRAVÉS DE
UNA RÁPIDA ESCALONADA PARA EL DRENAJE DE LAS
AGUAS PLUVIALES DEL CONJUNTO RESIDENCIAL LOS
JABILLOS EN LA POBLACIÓN DE EL TIGRE, MUNICIPIO
SIMÓN RODRÍGUEZ, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR LOS
BACHILLERES NATERA R.,
ROGER J. Y RODRÍGUEZ J.,
GÉNESIS G. PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL.**

CIUDAD BOLÍVAR, MARZO DE 2023



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

HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **ESTIMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FLUJO A TRAVÉS DE UNA RÁPIDA ESCALONADA PARA EL DRENAJE DE LAS AGUAS PLUVIALES DEL CONJUNTO RESIDENCIAL LOS JABILLOS EN LA POBLACIÓN DE EL TIGRE, MUNICIPIO SIMÓN RODRÍGUEZ, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.** presentado por los bachilleres **NATERA RIVERO, ROGER JOSÉ.** de cédula de identidad N° **27.351.914,** y **RODRÍGUEZ JARAMILLO, GÉNESIS GABRIELA.** de cédula de identidad N° **28.111.700** como requisito parcial para optar por el título: **INGENIERO CIVIL,** ha sido aprobado de acuerdo al reglamento de la Universidad de Oriente.

Apellido y Nombre del Prof.:

Firma

Prof. Dafnis Echeverría
(Asesor)

Prof. Francisco Monteverde
(Jurado)

Prof. Beatriz Echeverría
(Jurado)

Prof. Rodolfo González
Jefe del Depto. de Ingeniería Civil

Prof. Francisco Monteverde
Director de Escuela Ciencias de la
Tierra

En Ciudad Bolívar a los ____ días del mes de Marzo de 2023

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedico a mis padres y mis abuelas quienes han sido el pilar fundamental de mi vida, donde su comprensión y amor me dieron las fuerzas para poder culminar una etapa importante.

Roger José Natera Rivero

DEDICATORIA

A mis padres por haberme educado, acompañado y dado todas las herramientas necesarias para recorrer este camino, por estar siempre ahí para recordarme que enfocada, intentando sin parar y con la ayuda de Dios siempre se puede. Por enseñarme lo importante y necesario que es fijar metas para nuestro futuro, pero, sobre todo enseñarme que no basta con fijarlas, sino que también hay que ir por ellas cada día, por hacer de mí la persona que soy hoy, porque gracias a los principios y valores inculcados he podido llegar aquí, realmente las palabras quedarían cortas, pero solo quiero resaltar que por esto y más, esto va dedicado a ellos, mi hermano y mi familia.

A mis amigos más cercanos los que este recorrido me llevo a conocer, con los que estudie esos temas un tanto difíciles de entender, esos que me motivaron y ayudaron a seguir adelante, siempre estaré agradecida de haber podido coincidir.

Génesis Gabriela Rodríguez Jaramillo

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Roger Natera y Luisa Rivero, a quienes les agradezco por haberme dado la educación y sobre todo los valores que me fueron inculcados.

A todos mis maestros y compañeros que estuvieron durante este arduo camino.

Por ultimo mi reconocimiento al Prof. Dafnis Echeverría, tutor del proyecto, excelente profesional y persona que con su gran conocimiento y colaboración se logró la realización de este trabajo.

Roger José Natera Rivero

AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por permitirme llegar a este punto, por ser mi guía y sustento en todo tiempo ante cualquier circunstancia, por enviar a mi vida a los acompañantes indicados, por ser mi esperanza y por siempre abrir los caminos.

A mis padres Ana Jaramillo y Luis Rodríguez, mi hermano Luis Rodríguez y a mi familia por guiarme y de una manera u otra cada día recorrer conmigo este camino y cualquier otro que elija, por siempre estar ahí en todos los procesos y etapas de mi vida dándome su apoyo y siendo mi mayor razón para seguir.

A mis amigos a los que siempre querré con el alma por estar ahí, apoyándonos mutuamente y sin dejar a nadie atrás, por hacer de este camino más llevadero.

A nuestro tutor Dafnis Echeverría por su ayuda, guía y dedicación durante la elaboración de este trabajo.

Y para finalizar a la Universidad de Oriente por la formación, a esos profesores que dieron todo su esfuerzo para llevar a nosotros tantos conocimientos e información de provecho.

Génesis Gabriela Rodríguez Jaramillo.

RESUMEN

Este estudio se está basado en las necesidades de drenaje de las aguas de lluvia del conjunto residencial “Los Jabillos” ubicada en la población de El Tigre. El objetivo principal de la investigación es proponer la ingeniería básica del sistema de descarga final basado en rápidas escalonadas de las aguas de escorrentía pluvial provenientes desde el conjunto residencial antes mencionado hasta el río Tigre. Para ello se aplicará una estrategia o diseño de campo y documental enmarcada dentro de esta investigación de tipo proyecto factible. Entre los objetivos específicos planteados se encuentra en primer lugar, la caracterización de la pluviosidad de la zona de estudio, la estimación de los caudales de diseño, la descripción de las condiciones del relieve de la zona de estudio, determinación de las condiciones del flujo drenado desde el urbanismo y finalmente, el diseño y alineamiento en planta y perfil longitudinal de la torrentera, así como también su sección transversal. Una vez realizadas estas actividades, se estimó el caudal de drenaje para el diseño de la torrentera el cual alcanzó un valor $13.782 \text{ m}^3/\text{s}$. El levantamiento topográfico de los taludes indicó un recorrido o distancia horizontal de 70 m con un ángulo de inclinación de 8° . El modelamiento del comportamiento de los flujos a través de los taludes mostró que se desarrollarían flujos de naturaleza supercríticos con un número de Froude de 4.5 aproximadamente y velocidad de 9.99 m/s en una rápida sin disipación de energía. Se diseñó una rápida escalonada según los criterios del MOP (1967) en Camacho (2004), con un ancho de base de 2.42 m, una altura de contrahuella de 1.58 m y una longitud horizontal o huella de 5.8 m, con dentellones de 0.9 m para toda la rápida escalonada.

CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vii
CONTENIDO	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE APÉNDICES	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivos de la Investigación.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3 Justificación de la investigación.....	6
1.4 Alcance de la investigación.....	6
CAPÍTULO II	8
GENERALIDADES	8
2.1 Ubicación y acceso al área de estudio.....	8
2.2 Características generales del medio físico y biótico del área.....	11
2.2.1 Geología.....	11
2.2.2 Geomorfología y suelos.....	12
2.2.3 Vegetación.....	16
2.2.4 Aspectos hidrográficos.....	18
CAPÍTULO III	20
MARCO TEÓRICO	20
3.1 Antecedentes de la investigación.....	20
3.2 Fundamentos teóricos.....	22
3.2.1 Hidrología urbana.....	22
3.2.2 Sistemas de drenaje.....	23
3.2.3 Acciones del sistema de drenaje urbano.....	23

3.2.4	Objetivos de un sistema de drenaje.....	24
3.2.5	Tipos de drenaje.....	25
3.2.7	Canales abiertos	35
3.2.8	Tipos de canales abiertos	36
3.2.9	Tipos de flujo en canales	38
3.2.10	Estados del flujo.....	39
3.2.11	Distribución de velocidades en canales	41
3.2.12	Geometría de canal	41
3.2.13	Elementos geométricos de una sección de canal	43
3.2.14	Ecuaciones fundamentales que rigen el flujo de un canal	45
3.2.15	Energía específica en un canal.....	47
3.2.16	Determinación de caudal de captación de un canal y caudal de diseño de una cuenca.....	51
3.2.17	Coefficiente de escurrimiento	56
3.2.18	Curvas Intensidad, duración y frecuencia.....	59
3.2.19	Área de captación y cuenca de drenaje.....	61
3.2.18	Determinación de la capacidad hidráulica de una vía.....	62
3.2.19	Trazado de canales abiertos	64
3.2.20	Rápidas escalonadas	65
3.3	Definición de términos básicos	74
CAPÍTULO IV		78
METODOLOGÍA DE TRABAJO		78
4.1	Tipo de investigación	78
4.2	Diseño de investigación.....	80
4.2.1	Investigación de campo	80
4.2.2	Investigación documental	80
4.3	Población y muestra de la investigación	81
4.3.1	Población de la investigación	81
4.3.2	Muestra de la investigación	81
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	82
4.4.1	Técnicas de recolección de datos.....	82
4.4.2	Instrumentos de recolección de datos	84
4.5	Flujograma de la metodología de trabajo	84
4.5.1	Procedimiento para el logro de los objetivos.....	85
CAPÍTULO V.....		87
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		87
5.1	Caracterización de la climatología del área de estudio	87
5.1.2	Energía solar	88
5.1.3	Humedad.....	90

5.1.4 Temperatura	91
5.1.5 Vientos	92
5.2 Distribución de parcelas del área de drenaje	93
5.3 Caudal de drenaje aportado por la cuenca	96
5.3.1 Área y Coeficiente de escorrentía ponderado (Cep) de la cuenca	96
5.3.2 Determinación del período de retorno	97
5.3.3 Tiempo de concentración e intensidad de lluvia.....	98
5.3.4 Caudal de drenaje de la cuenca.....	99
5.4 Relieve del talud a través del cual se trazará la rápida escalonada	103
5.5 Definir el trazado en planta y perfil longitudinal de la torrentera	103
5.6 Determinar los parámetros geométricos e hidráulicos de la torrentera	105
5.6.1 Ancho de la solera o base (b).....	105
5.6.2 Profundidad normal y profundidad crítica.....	106
5.6.3 Parámetros hidráulicos y geométricos de la sección transversal	107
5.6.4 Diseño de la rápida escalonada.....	108
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
Conclusiones	114
Recomendaciones	115
REFERENCIAS	116
APÉNDICES.....	121

LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Localización relativa de la población de El Tigre.....	22
2.2	Ubicación nacional de El Tigre.....	7
2.3	Ubicación relativa de El Tigre	8
2.4	Ubicación relativa del área de estudio en San José de Guanipa, al sur del río Tigre.....	8
2.5	Coordenadas UTM de ubicación del área de estudio.....	9
2.6	Relieve de sabana arbustiva.....	10
2.7	Relieve típico de la mesa de Guanipa.....	10
2.8	Vegetación dominante del área de estudio.....	14
3.1	Abaco para estimación del tiempo de concentración en cuencas rurales (Arocha, 2012).....	70
3.2	Torretera en gradería (Aristizabal et al,2013).....	83
3.3	Torretera en gradería con bloques en el fondo (Aristizábal et al, 2013).....	84
3.4	Régimen de flujo saltante sobre un canal en gradería (Mejía, 1999).....	84
4.1	Flujograma de la investigación.....	98
5.1	Precipitación - Población El Tigre – Periodo 1998 a 2019(Giovanni, NASA 2023)).....	102
5.2	Energía solar de onda corta promedio por metro cuadrado (línea anaranjada), con las bandas de percentiles 25° a 75° y 10° a 90°. (es.weatherspark.com2023).....	103
5.3	Porcentaje de humedad promedio mensual (es.weatherspark.com. 2023)).....	104
5.4	Porcentaje de humedad promedio mensual (es.weatherspark.com, 2023).....	105
5.5	Fig. 5.5 Promedios mensuales de máxima velocidad del viento – El Tigre – Periodo 1998 hasta 2019. (Satélite Giovanni, NASA, 2023).....	106
5.6	Velocidad promedio del viento (es.weatherspark.com, 2022).....	85
5.7	Distribución de las calles del urbanismo.....	86
5.8	Punto de drenaje del urbanismo hacia el norte (flecha azul).....	87
5.9	Direcciones de flujo en las subcuencas del urbanismo “Los Jabillos”	87
5.10	Identificación de parcelas que integran el urbanismo.....	88
5.11	Identificación de sectores que drenan en cada subcuenca.....	88
5.12	Curva IDF para la Región XI (Llanos orientales con elevaciones superiores a los 100 msnm), (Camacho, 2004).....	94
5.13	Orientación de los sectores tributarias.....	95

5.14	Trazado en planta de la rápida escalonada.....	97
5.15	Perfil longitudinal de la rápida sin disipación.....	98
5.16	Modelamiento del flujo en el canal tipo caída sin disipación de energía.....	100
5.17	Dimensiones del escalón para régimen supercrítico (MOP, 1967 en Camacho, 2004).....	103
6.1	Esquema de la sección transversal de la torrentera.....	109
6.2	Perfil longitudinal típico de la rápida escalonada.....	110

LISTA DE TABLAS

		Página
3.1	Velocidades de escurrimiento en laderas. Cobertura Vegetal (V= m/min). (Arocha, R., 2012).....	69
3.2	Coefficiente de escurrimiento (Bolinaga, 1979).....	72
3.3	Coefficientes de escurrimiento de acuerdo a la zonificación del uso de tierra. (Bolinaga, 1979).....	72
3.4	Factores de incremento de “C” (Bolinaga, 1979).....	73
3.5	Coefficientes de escorrentía para su uso en taludes (Japan Road Association, 1984).....	86
3.6	Parámetros hidráulicos del canal rápida.....	87
5.1	Coefficientes de escurrimiento (Aparicio, 2001).....	89
5.2	Distribución de parcelas según su tipo de cobertura y superficie..	90
5.3	Distribución de áreas por parcelas y sectores.....	90
5.4	Distribución de áreas por subcuenca roja.....	91
5.5	Distribución de áreas por subcuenca amarilla.....	91
5.6	Coefficiente de escurrimiento ponderado de la subcuenca roja.....	92
5.7	Coefficiente de escurrimiento ponderado de la subcuenca amarilla	93
5.8	Estimación de la intensidad de lluvia (I) de las subcuencas.....	95
5.9	Caudales de las subcuencas.....	96
5.10	Parámetros geométricos e hidráulicos preliminares del canal tipo caída sin disipación de energía.....	101
5.11	Velocidad máxima permisible para canales artificiales (CORPOCALDAS & INVÍAS, 1998 en INVÍAS, 2009).....	102
5.12	Valores establecidos para el cálculo de rápidas escalonadas (MOP, 1967 en Camacho, 2004).....	103

LISTA DE APÉNDICES

	Página
A GRÁFICOS PARA CÁLCULO DE PROFUNDIDAD NORMAL Y PROFUNDIDAD CRÍTICA DE CANALES	117
A.1 Estimación de profundidad normal y profundidad crítica en canales rectangulares y trapeciales (Camacho, 2004).....	119

INTRODUCCIÓN

Si el agua de lluvia no se drena adecuadamente, podría causar inconvenientes, daños, inundaciones e incluso riesgos para la salud. También puede transportar contaminantes del aire o de áreas de captación por lo tanto los sistemas de drenaje urbano son necesarios en un área debido a la interacción entre la actividad humana y el ciclo natural del agua. Son varios los elementos que inciden en la vida útil de los sistemas de drenaje urbano, se consideran los materiales utilizados y la calidad de construcción además la limpieza y mantenimiento de los sistemas de drenaje urbano aumenta su eficiencia y, en consecuencia, su vida útil. La organización y distribución periódica de los equipos de limpieza y mantenimiento de los Sistemas de Drenaje Urbano, tanto del microdrenaje (canaletas, bocas, pozos de visita) como del macrodrenaje (galerías, canales, etc.). La información de estos datos para la gestión pública ayuda a aumentar la vida útil del sistema de drenaje, evitando además el despilfarro de fondos públicos. Los procesos de crecimiento, densificación e impermeabilización en las ciudades están asociados a la reducción o deterioro de las áreas verdes, contribuyendo a una sobrecarga en la red pública de drenaje, haciéndola más susceptible a inundaciones e inundaciones, reduciendo su confiabilidad

En esta investigación se tratará sobre la disposición final adecuada de las aguas de escorrentía pluvial que drene el conjunto residencial “Los Jabillos” ubicado en la población de El Tigre, Municipio Simón Rodríguez del estado Anzoátegui. La investigación tendrá un carácter o nivel de proyecto factible y se aplicará para su desarrollo una estrategia o diseño de campo y documental. La ejecución de la investigación ameritará una caracterización de las condiciones de pluviosidad existentes en el área de estudio; asimismo se deberá delimitar la cuenca con base a las características de la topografía. También se estimará el coeficiente de escurrimiento ponderado, la intensidad de lluvia, y los caudales drenados. Todo ello permitirá

desembocar en el diseño final de la torrentera como obra hidráulica para la disposición de las aguas en su tránsito hacia su descarga final.

El presente documento está estructurado en seis (6) capítulos:

El Capítulo I denominado Situación a investigar, está conformado por el planteamiento del problema, objetivos, justificación y el alcance que se plantean a desarrollar.

El Capítulo II. Generalidades: trata sobre la ubicación y generalidades del área de estudio.

El Capítulo III. Marco Teórico. Muestra los antecedentes de estudio en la zona y conceptos teóricos y prácticos que enriquecen el contenido del trabajo.

El Capítulo IV. Metodología de investigación: trata sobre la metodología donde se describe el tipo de investigación, su diseño, la población y muestra de la investigación, el flujograma y el procedimiento para el logro de los objetivos.

En el Capítulo V. Análisis y presentación de resultados: se presentan los resultados de la investigación.

Capítulo VI. Propuesta, contiene el objetivo de la propuesta, su justificación, alcance, el desarrollo de la propuesta y finalmente los aspectos más importantes de la misma.

Por último, se muestran las conclusiones y recomendaciones relevantes de la investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del Problema

El drenaje urbano se considera una tarea pendiente América Latina ya que se presentan problemas con los procesos relacionados con la conceptualización, diseño, implementación, gestión y monitoreo de los sistemas de drenaje en muchas ciudades de América Latina. Al igual que en el resto del mundo, el acelerado crecimiento de las aglomeraciones urbanas en América Latina, y particularmente su desarrollo bajo procesos de expansión desordenados y no planificados, ha traído consigo profundos cambios en el uso de la tierra interfiriendo en los fenómenos físicos del ciclo hidrológico. Los servicios no proporcionan una debida calidad de vida a sus habitantes, y los drenajes son uno de estos servicios que presentan gran déficit en cuanto a su funcionalidad y vida útil. El drenaje urbano permite garantizar el confort de la población ya que disminuyen el riesgo de inundaciones, estancamientos y escorrentías en lugares no previstos durante períodos de lluvia.

Durante el 2022 llovió 161 días, una cifra muy superior al promedio histórico acumulado de 121,4 días, según el boletín de la Estación Meteorológica de la Universidad Central de Venezuela (UCV). Se señala que eso lo convierte como el año con más lluvias desde 1954 con 162 días de lluvia. El total del año es de 1107,7 milímetros (mm) de lluvia, el cual es mayor al total anual promedio (887,0 mm), con una probabilidad asociada al acumulado de 82,4 %. El 2022 figura como un año lluvioso, muy cercano a lluvioso extremo. UCV, (2022) Estos eventos lluviosos generan problemas de anegaciones en las ciudades de Venezuela. En el estado Anzoátegui para el mes de noviembre 2022 se reportaron fallecidos e infraestructuras

afectadas. De acuerdo al periódico El Diario las lluvias en Anzoátegui generaron 4 personas fallecidas y 300 viviendas resultaron afectadas.

Venezuela tiene problemas complejos en materia de drenaje superficial y subterráneo; motivado a múltiples variables de análisis que intervienen en el proceso de diseño de un sistema de drenaje. Por lo tanto y dado el carácter general y orientativo de la presente investigación, para el tratamiento del problema señalado se deberá aplicar los adecuados criterios del estado del arte de la ingeniería de obras civiles de drenaje.

Cuando la velocidad de salida del agua en una Obra de Drenaje es excesiva para el cauce por el que tiene que circular, pueden presentarse problemas de erosión que hagan peligrar tanto la estabilidad del cauce como del terraplén. Cuando se da esta situación se recurre al uso de disipadores de energía, los cuales reducen la velocidad de salida del agua hasta una velocidad que pueda admitir el cauce. El estudio de una rápida escalonada permite determinar su eficiencia como estructura de disipación de energía del flujo en proyectos como el caso de la descarga de agua lluvia hacia un cuerpo receptor, en el cual se requiere vencer grandes desniveles topográficos. 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

Las obras de drenaje contemplan estructuras que están diseñadas para controlar o disipar la energía de los fluidos, como las rápidas escalonadas. Las cuales se componen de una serie de escalones a lo largo de una superficie, que cuenta con una determinada pendiente y con un número dado de pasos. En la mayoría de los casos los elementos enunciados logran disipar la energía del fluido. En ocasiones los diferentes tipos de flujos que se presentan en las rápidas puede generar daños como erosiones, desprendimiento de elementos, o en la mayoría los casos estas dejan de funcionar

adecuadamente dado el comportamiento del flujo, ya que sus características iniciales de diseño no contemplan los cambios en los regímenes de flujo.

Lo planteado anteriormente nos lleva a las siguientes interrogantes en relación al sistema de descarga final de las aguas de lluvia provenientes del conjunto residencial “Los Jabillos” ubicado en la población de El Tigre, Municipio Simón Rodríguez del estado Anzoátegui:

¿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 los canales de descarga final en el área de estudio?

¿Cuáles son los parámetros geométricos e hidráulicos de los canales de descarga final en el conjunto residencial Los Jabillos?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo general

Estimación de las condiciones del flujo a través de una rápida escalonada para el drenaje de las aguas pluviales del conjunto residencial. “Los Jabillos”, en El Tigre, Municipio Simón Rodríguez, estado Anzoátegui, Venezuela.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar climatológicamente el área de estudio.
2. Definir la cuenca y subcuencas que integran la zona de drenaje en el área de estudio.
3. Determinar el caudal de la cuenca y subcuencas del área de estudio.
4. Definir el trazado en planta y perfil longitudinal de los canales de drenaje previstos en la zona de estudio.
5. Elaborar a través de la ingeniería básica los parámetros geométricos e hidráulicos de los canales de drenaje.

1.3 Justificación de la investigación

La elección adecuada de la geometría y dimensiones de los canales de descarga final de las aguas drenadas por el conjunto residencial Los Jabillos en la población de El Tigre es de vital importancia para lograr una disposición idónea de las aguas pluviales drenadas en los cuerpos de agua superficiales permanentes que se encuentren en las adyacencias del urbanismo en cuestión.

Asimismo, es importante decidir sobre la textura de la superficie de estos canales de descarga final. Tal elección podría converger en una torrentera; sin embargo, esta investigación permitirá realizar la elección adecuada.

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 del canal de descarga final (rápida escalonada) y también de su alineamiento en planta y de su perfil longitudinal.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación y acceso al área de estudio

El Tigre es una ciudad de Venezuela ubicada en el Estado Anzoátegui. Es la capital del Municipio Simón Rodríguez y está situada al sur del estado Anzoátegui, equidistante al río Orinoco y al mar Caribe, en la mesa de Guanipa.



Figura. 2.1 Localización relativa de la población de El Tigre.



Figura 2.2. Ubicación nacional de El Tigre.



Figura 2.3 Ubicación relativa de El Tigre.



Figura 2.4 Ubicación relativa del área de estudio en El Tigre, al norte del río Tigre.



Figura 2.5 Coordenadas UTM de ubicación del área de estudio

2.2 Características generales del medio físico y biótico del área

2.2.1 Geología

En general, el conjunto de los basamentos de Anzoátegui es de origen reciente, de las eras terciaria y cuaternaria en montañas y colinas se observan areniscas, arcillas, margas, lutitas, calizas y limolitas, además de concreciones de hierro, grava y cuarcita. en la formación mesa, la conformación es mayoritariamente de arenas no consolidadas, provenientes del cuaternario, y aún más jóvenes son los depósitos sedimentarios originados por las inundaciones periódicas generadas por las crecientes de los ríos. INE (2013)

Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio pertenece a la Formación Mesa, de origen sedimentario (Cuaternario, Pleistoceno); específicamente, la Mesa de Guanipa ocupa la parte más elevada de los Llanos Orientales, cuya altitud varía entre 220 y 320 msnm, cuya topografía es esencialmente plana con escasa pendiente. Las “Mesas Orientales” en Venezuela representan el bloque más grande y uniforme de la Formación Mesa, cuya composición litológica cambia a distancias cortas, con suelos altamente meteorizados, ácidos, constituidos por capas superficiales muy arenosas dominadas por cuarzo de grano fino a grueso y gravas de grano fino; con variables aumentos de arcillas (predominando las caolinitas) con la profundidad. Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

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.

2.2.2 Geomorfología y suelos

En general el estado Anzoátegui está ocupado en su mayor parte por los llanos orientales del Orinoco. Donde se pueden distinguir dos secciones bien definidas en la depresión del río Unare, que se ocupa una superficie de 2321Km², una parte de ellas corresponde a Anzoátegui. Esta depresión forma parte de la región de los Llanos, pues aunque geológicamente se considera que tiene un origen distinto, ha tomado esta forma de erosión. INE (2013)

En el área de estudio predominan las unidades fisiográficas de llanura y valles de los ríos Tigre, Guaraguara y Los Riecitos. Las extensas llanuras se caracterizan por paisajes de relieve plano a moderadamente ondulado, con pendientes que varían entre 0,5 y 8 %. El paisaje de valle tiene forma de depresiones alargadas y estrechas. Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

La zona está limitado por el valle del río Guanipa, bordeado en su límite Sur (margen izquierda) mayormente 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 es ligeramente inclinado, la pendiente de esta unidad geomorfológica está entre 2% y 4%



Figura 2.6 Relieve de sabana arbustiva.



Figura 2.7 Relieve típico de la mesa de Guanipa.

El área de estudio presenta un potencial morfodinámico que varía entre baja, a moderado, esta clase de potencial corresponde a la superficie plano- ligeramente 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 y potreros, con pendiente entre 2% a 4%.

Por lo que se concluye que la erosión es de tipo escurrimiento difuso, de intensidad ligera y de modalidad generalizada. Sin embargo, el área conformada por las cuencas hidrográficas de El Tigre

Se considera una superficie morfodinámicamente activa de significativa inestabilidad por estar afectada anualmente por frecuentes e intensos eventos de inundación, que aportan nuevos sedimentos a la superficie de estas geoformas y construyen gradualmente por socavación geo-formas menores como canales o meandros y lagunas, de configuración variable en el tiempo.

Estas áreas planas y suavemente inclinadas, han sido intervenidas para la construcción de pequeñas viviendas, fundos y uso pecuario, sobre una formación vegetal de sabana arbustiva.

La composición física y química predominante en los suelos es la de areniscas (generadas como remanentes de fondos marinos) y está asociada a índices de baja fertilidad agrícola. en general, son arenosos en superficie, con un contenido variable de arcilla en distintos estratos de profundidad, son ácidos, pobres en materia orgánica y de baja retención de humedad INE, 2013

Los suelos tienen bajas saturaciones en bases intercambiables y de materia orgánica, que los convierte en suelos de muy baja fertilidad y con poca retención de humedad, categorizadas como oligotróficas. Con base en el Sistema de Clasificación del U.S.D.A.(Soil Taxonomy), los suelos presentes corresponden a los grandes grupos: Kandiusults, Quartzipsamments, Haplustox, Tropaquents y Ustorthent, donde los procesos formadores que han influido sobre el material parental son laterización o ferralitización, eluviación e iluviación de arcillas, erosión superficial, adición de materia orgánica, pedoturbación y desaturación del complejo adsorbente (gleyzación yacidificación). La Formación Mesa fue modificada por deformaciones tectónicas

locales, erosión regresiva truncamiento de los suelos, coluviación y formación de coraza ferruginosa y como consecuencia se encuentra cortada por valles con cursos de agua encajonados, los cuales difieren en la magnitud de acumulación aluvial. En los fondos de valles coluvio-aluviales se encuentran suelos muy pobremente drenados con altos contenidos de materia orgánica y texturas desde gruesas a medias, los cuales son ácidos, pobres en nutrientes y con baja capacidad de intercambio catiónico, y altas concentraciones de aluminio intercambiable. En el perfil del suelo predominan las texturas franco arenosas, franco arcillosas, franco arcillo arenosas, y arena francosas; los colores son grises a consecuencia del hidromorfismo, y en la superficie pueden presentar materia orgánica poco descompuesta de hasta un metro de espesor, .Schargel (2007) consideró que estos suelos pueden clasificarse como: H: Histosoles, si la capa orgánica tiene un grosor de 40 cm o más; E:Entisoles, si la capa orgánica es delgada (<20 cm), e I: Inceptisoles, si la capa orgánica tiene un grosor entre 20 y 40 cm Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

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, 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).

Estos suelos 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.

Con respecto a la textura, esta es arenosa 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. Por último, los suelos de origen aluvial, los cuales poseen un incipiente desarrollo pedogenético, son pocos profundos (< 25 cm), inundable y un nivel freático menos a los 30 cm, de textura franco arcillosa a arcillosa, con colores grises o verdoso.

En general, son suelos imperfectamente drenados, químicamente exhiben pH fuerte a extremadamente ácido, muy baja saturación con bases y muy baja capacidad de intercambio de cationes, condiciones que les confiere una muy baja fertilidad natural.

2.2.3 Vegetación

La vegetación en la cuenca alta del río Tigre, se ubica dentro de la zona de vida Bosque Seco Tropical, es de sabanas arboladas hasta inarboladas en las zonas más elevadas y en los relieves con alta pendiente, las cuales están dominadas por una matriz herbácea de *Trachypogon spicatus*, con la presencia de árboles, entre los que destacan: *Curatella americana* L. (“Chaparro”), *Bowdichiavirgilioides* Kunth (“Alcornoque”) y *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (“Manteco”) como los elementos más abundantes. También están presentes bosques bajos medianamente densos a densos en las partes internas de las cárcavas, pequeños grupos de matorrales en áreas intervenidas y abandonadas, bosques estacionalmente inundados y morichales en los valles de los

cursos de agua permanentes; estos últimos también se encuentran entre otros ríos del estado Anzoátegui, como son Caris, Manasma, Moquete y Uruspía Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

Las comunidades establecidas en este paisaje son el resultado de factores ecológicos y antrópicas. 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.

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

En los Llanos se distinguen tres tipos de vegetación, de acuerdo a su composición florística: sabanas de *Trachypogon*, sabanas de "banco", bajíos y esteros, y sabanas de *Paspalum fasciculatum*. La sabanas de *Trachypogon* están caracterizadas por la presencia de especies como el Chaparro (*Curatella americana*), el Alcornoque (*Bowdichia virgilioides*) y el Chaparro manteco (*Byrsonima crassifolia*). Las sabanas de "bancos", bajíos y esteros presentan especies como el Mastranto (*Hyptis suaveolens*), el Estoraque (*Vernonia brasiliana*), la Cola de vaca (*Andropogon bicornis*), la paja de agua (*Hymenachne amplexicaulis*), la Dormidera (*Mimosa pigra*) y la Guaica (*Rocheportia spinosa*). Por su parte, las sabanas de *Paspalum fasciculatum* presenta especies nobles como el Roble (*Platymiscium polystachyum*), el Cañafístolo (*Cassia moschata*), morichales como el Boroboro (*Montrichardia arborescens*), y palmares representados por el Higuerote (*Ficus trigonata*).

Por ser un clima de sabana, dentro las principales vegetación presente están árboles de araguaney, ceiba, chaparro, moriche, y el merey.

Entre otras especies, también 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 2.8 Vegetación dominante del área de estudio.

2.2.4 Aspectos hidrográficos

En esta etapa se chequearon las características físico-naturales relevantes, tales como: tipo de lecho, régimen de drenaje, vegetación circundante, ancho promedio del cauce y lámina de agua, color aparente, obras de hidráulicas existentes, divisorias reales, toponimia, entre otras.

El principal afluente que pasa por el municipio es el río Tigre en dirección oeste-este desembocando en el delta del Orinoco sus balnearios principales son: Paso de la línea, El puente, La redoma, El paso del estudiante, Bartolo y La piscina.

El río Tigre se encuentra en la altiplanicie de los Llanos orientales, entre los Municipios Simón Rodríguez, Guanipa, Freitas e Independencia. Desde su nacimiento en la Mesa de Guanipa, recorre 304 km y desemboca en el río Morichal Largo, 10 km antes de la descarga al caño Mánamo. En los primeros kilómetros recibe la descarga del río Guaraguara; posteriormente sus afluentes principales en la margen izquierda son el Aisme y el Oritupano, que a su vez recibe el Chive y el Ñato y en la margen derecha al Areo. Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

El municipio cuenta con un sistema de pozos subterráneos que proporcionan el agua potable que consume la población.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

Hernández, C. y Polanco, A. (2006), elaboraron su trabajo de grado titulado “SANEAMIENTO HIDRÁULICO DEL SECTOR EL DESESPERO Y LÁGRIMAS VERDES DE LA POBLACIÓN DE CARRASQUERO, MUNICIPIO MARA, ESTADO ZULIA” cuyo objetivo general fue planteado como sanear hidráulicamente el sector Lagrimas Verdes y el Desespero de la población de Carrasquero, municipio Mara del estado Zulia. En dicho trabajo de grado se aborda el diseño de canales de aguas pluviales, incluyendo entre ellos el diseño de torrenteras. En vista de ello, la metodología del diseño de tales obras civiles de drenaje de aguas de lluvia, puede ser aplicada a la investigación proyectiva que se trata en este documento.

Ruben, 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 – JACOA, (FUNDO ZAMORANO) DEL MUNICIPIO BARINAS ESTADO 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. Este trabajo es relevante para el presente porque posee las herramientas necesarias para guiarnos en el trazado de los canales del sistema de

drenaje por el cual circularan las aguas pluviales, tomando en cuenta la topografía del lugar.

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.

Díaz Rúa, (2021) en el trabajo de grado ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL FLUJO EN UNA RÁPIDA

ESCALONADA COMPARANDO LOS RESULTADOS DE UN MODELO FÍSICO CON UN MODELO NUMÉRICO EN OPENFOAM, desarrolla la modelación numérica de un flujo Nappe Flow en una rápida escalonada aplicando el software OpenFoam. Mediante la modelación numérica del flujo sobre la rápida escalonada y con el apoyo de un modelo CFD, se comparó el comportamiento de dicha estructura con base en un modelo físico ya calibrado, buscando con esto obviar procesos empíricos de laboratorio y encontrar de manera más eficiente la solución a los problemas que esta pueda presentar.

Falcón (2015), en su trabajo de fin de grado denominado ESTUDIO COMPARATIVO DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL. APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO presenta un análisis de los conceptos asociados al cálculo y diseño de obras de drenaje transversal y disipadores de energía. Se tienen en cuenta consideraciones tanto hidráulicas e hidrológicas como cuestiones de índole ambiental, económica y estructural. Se analiza además el sistema de cálculo y el diseño de las obras de drenaje y los disipadores de energía. Todos estos conceptos finalmente se aplican a un caso práctico concreto para el que se realiza un estudio de alternativas tanto de la obra de drenaje como del sistema de disipación de energía a incluir en esta.

3.2 Fundamentos teóricos

3.2.1 Hidrología urbana

La Hidrología Urbana se ocupa de los aspectos específicos del ciclo hidrológico en entornos urbanos e industriales. Esto incluye todos los flujos de agua naturales, así como la consideración de precipitaciones, aguas pluviales, aguas subterráneas, ríos y lagos, pero también la infraestructura y los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en una ciudad.

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 (Chow, 2000).

3.2.2 Sistemas de drenaje

Sistema de drenaje significa una o más zanjas artificiales, desagües de losetas o dispositivos similares que recogen la escorrentía superficial o subterránea y la conducen a un punto de descarga. 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, 2004) .

3.2.3 Acciones del sistema de drenaje urbano

En entornos urbanos establecidos, puede ser necesario desarrollar una estrategia de gestión de aguas pluviales basada en ambos tipos de medidas (preventivas y correctivas). Por ejemplo, medidas correctivas estructurales tales como entradas, desagües pluviales, interceptor líneas, secciones de arroyos canalizados y embalses afectan y controlan la escorrentía de tormentas y las inundaciones directamente. Medidas correctivas no estructurales, como la impermeabilización y los ajustes del uso

del suelo, ayudan a limitar las actividades en el camino del urbanismo escorrentía de tormentas o en llanuras aluviales de ríos. Las acciones preventivas disponibles para reducir la escorrentía de tormentas y las pérdidas por inundaciones incluyen: adquisición de terrenos propensos a inundaciones, reglamentos de llanuras aluviales y control de usos de suelo dentro de áreas propensas a inundaciones. Drainage Criteria Manual. 2004

3.2.4 Objetivos de un sistema de drenaje

El sistema de drenaje y el control de inundaciones en una ciudad y sus alrededores son una parte integral del proceso de planificación integral. El drenaje representa solo un componente de un sistema urbano más grande.

Los objetivos que debe lograr un sistema de drenaje, de acuerdo a Drainage Criteria Manual. 2004, son:

! Proteger la salud, la seguridad y el bienestar general de los residentes de la Ciudad.

! Minimizar los daños a la propiedad por inundaciones; incluyendo la minimización de inundaciones vecinales localizadas.

! Garantizar que los nuevos edificios e instalaciones estén libres de peligro de inundación debido a eventos de escorrentía de tormentas mayores y menores.

! Minimizar la degradación de la calidad del agua al limitar la cantidad de generación de sedimentos y la erosión de los canales.

! Fomentar la retención de espacios abiertos, particularmente a lo largo de vías de drenaje naturales.

! Planificar para eventos de inundación grandes y pequeños al proporcionar sistemas de drenaje mayores y menores.

! Administrar corredores de canales de drenaje y arroyos para promover la diversidad ambiental y proteger los edificios. e instalaciones de daños por la erosión de los canales.

! Estabilizar los canales para, entre otras cosas, minimizar la interrupción de la infraestructura existente, como los puentes. y líneas de servicios públicos.

3.2.5 Tipos de drenaje

3.2.5.1 Drenaje superficial

El drenaje superficial es la eliminación ordenada del exceso de agua de la superficie del terreno a través de canales naturales mejorados o zanjas construidas y mediante la conformación del terreno.

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, 2004).

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, 2004).

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 a 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, 2004).

3.2.6 Variables hidrometeorológicas

3.2.6.1 Caudal.

- a. La precipitación sobre la cuenca.

- b. Las características geológicas, edafológicas y topográficas de la cuenca.
- c. La cobertura vegetal (Chow, 2004).

3.2.6.2 Evaporación

La evaporación es el proceso que convierte el agua líquida en agua gaseosa (vapor de agua). El agua se mueve desde la superficie de la Tierra a la atmósfera a través de la evaporación. La evaporación ocurre cuando la energía (calor) obliga a que se rompan los enlaces que mantienen unidas las moléculas de agua.

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, 2004) .

3.2.6.3 Evapotranspiración

La evapotranspiración es la suma de todos los procesos por los cuales el agua se mueve desde la superficie terrestre hacia la atmósfera a través de la evaporación y la transpiración. La evapotranspiración incluye la evaporación de agua hacia la atmósfera desde la superficie del suelo, la evaporación desde la franja capilar del nivel freático y la evaporación desde los cuerpos de agua en la tierra. La evapotranspiración también incluye la transpiración, que es el movimiento del agua del suelo a la atmósfera a través de las plantas. La transpiración ocurre cuando las plantas toman agua líquida del suelo y liberan vapor de agua al aire desde sus hojas.

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, 2004).

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, 1994).

3.2.6.5 Humedad

La humedad es la cantidad de vapor de agua en el aire. Si hay mucho vapor de agua en el aire, la humedad será alta. Cuanto mayor sea la humedad, más húmedo se siente afuera. En los informes meteorológicos, la humedad suele explicarse como humedad relativa

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.

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.
- g. 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.

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 (Chow, 1994).

3.2.6.6 Radiación Solar

La radiación solar, a menudo denominada recurso solar o simplemente luz solar, es un término general para la radiación electromagnética emitida por el sol. La radiación solar se puede capturar y convertir en formas útiles de energía, como calor y electricidad, utilizando una variedad de tecnologías. Todos los lugares de la Tierra reciben luz solar al menos una parte del año. La cantidad de radiación solar que llega a cualquier punto de la superficie terrestre varía según:

- Ubicación geográfica
- Hora del día
- Estación
- Paisaje local
- Clima local.

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 la pérdida de masa que se transforma en energía.

Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar (Chow, 1994) .

3.2.6.7 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, 1994).

3.2.6.8 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, 1994).

3.2.6.9 Transpiración.

Es la liberación de vapor de agua (gas) de las hojas de las plantas. La transpiración tiene tres pasos principales.

Las raíces absorben el agua del suelo.

El agua se mueve a través de los tejidos de las plantas y cumple funciones metabólicas y fisiológicas críticas en la planta.

Las hojas liberan vapor de agua al aire a través de sus estomas.

De acuerdo al USGS, la rata de transpiración varía ampliamente según el clima y otras condiciones, como:

Tipo de planta: Las plantas transpiran agua a diferentes velocidades. Algunas plantas que crecen en regiones áridas, como los cactus y las suculentas, conservan agua preciada al transpirar menos agua que otras plantas.

Tipo de suelo y saturación: las partículas de arcilla son pequeñas (menos de 0,002 mm) y retienen el agua, mientras que las partículas de arena que son grandes (0,05-2 mm) liberan agua fácilmente (por ejemplo, el agua desaparece rápidamente en la arena en la playa). Cuando falta humedad, las plantas pueden comenzar a envejecer (envejecimiento prematuro, lo que puede resultar en la pérdida de hojas) y transpirar menos agua.

Disponibilidad e intensidad de la luz solar

Precipitación: Durante los períodos secos, la transpiración puede contribuir a la pérdida de humedad en la zona superior del suelo, lo que puede tener un efecto sobre la vegetación y los campos de cultivos alimentarios.

Humedad: a medida que aumenta la humedad relativa del aire que rodea a la planta, la tasa de transpiración disminuye. Es más fácil que el agua se evapore en el aire más seco que en el aire más saturado.

Temperatura: las tasas de transpiración aumentan a medida que aumenta la temperatura, especialmente durante la temporada de crecimiento, cuando el aire es más cálido debido a la luz solar más intensa y las masas de aire más cálidas. Las

temperaturas más altas hacen que se abran las células vegetales que controlan las aberturas (estoma) por donde se libera el agua a la atmósfera, mientras que las temperaturas más frías hacen que las aberturas se cierren.

Viento y movimiento del aire: el aumento del movimiento del aire alrededor de una planta dará como resultado una mayor tasa de transpiración. El viento moverá el aire, con el resultado de que el aire más saturado cerca de la hoja es reemplazado por aire más seco.

3.2.6.10 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 (Chow, 1994) .

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.

3.2.6.11 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, 1994) .

3.2.6.12 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, 1994).

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.

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 producirán, por tanto, resultados bastantes 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. Dentro de esta categoría están los canales de navegación, canales de fuerza e irrigación, cunetas y asequias 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 (Chow, 2008) :

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, 2008).

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, 2008).

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 (Chow, 2008) .

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, 2008).

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, 2008).

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, 2008) .

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, 2008) .

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 de forma, de rugosidad, cambio de la pendiente o en una variación del caudal (Chow, 2008).

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, 2008).

3.2.9.5 Flujo subcrítico o flujo lento

Es el nivel efectivo del agua en una determinada sección (Chow, 2008).

3.2.9.6 Flujo crítico

Cuando la velocidad es igual que la raíz cuadrada de la gravedad por la profundidad (Chow, 2008).

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, 2008).

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.

Dependiendo del efecto de la viscosidad relativa a la inercia, el flujo puede ser laminar, turbulento o de transición (Chow, 2008).

3.2.10.1 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 infinitesimalmente delgadas del fluido parecen deslizarse sobre las capas adyacentes (Chow, 2008).

3.2.10.2 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.

- a. Si el Número de Froude es mayor a la unidad ($F > 1$), el flujo se denomina supercrítico.
- b. Si el Número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$), el flujo se denomina subcrítico.
- c. Si el Número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$), el flujo se denomina crítico (Chow, 2008).

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.

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. En una curva, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo (Chow, 2008).

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.

Los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares. La tabla 1 relaciona seis formas geométricas utilizadas comúnmente. El trapecio es la forma más común para canales con bancas en tierra sin recubrimiento, debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad. El rectángulo y el triángulo son casos especiales del trapecio. Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos con materiales estables, como mampostería, roca, metal o madera. La sección triangular solo se utiliza para pequeñas acequias, cunetas a lo largo de carreteras y trabajos de laboratorio. El círculo es la sección más común para alcantarillados y alcantarillas (culverts) de tamaños pequeños y medianos. La parábola se utiliza como una aproximación a secciones de canales naturales de tamaños pequeño y mediano. El rectángulo con esquinas redondeadas es una modificación del rectángulo. El triángulo con fondo redondeado es una aproximación de la parábola; esta es la forma creada a menudo con la utilización de excavadoras.

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, semi-elípticas, 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, 2008) .

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 del 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, 2008).

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:

$$\begin{aligned}
 u &= \bar{u} + u' \\
 v &= \bar{v} + v' \\
 w &= \bar{w} + w'
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

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:

$$\bar{u}T = \frac{1}{T} \int_0^T u \, dt
 \tag{3.5}$$

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:

$$\bar{u} = \frac{1}{A} \iint_A u \, dA
 \tag{3.6}$$

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

$$\bar{u}' = \frac{1}{T} \int_0^T u' \, dt
 \tag{3.7}$$

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 interpendientes. 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, $\overline{u'v'}$ es finito: por lo tanto, se concluye u' y v' están correlacionados.

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

(Chow, 2008).

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:

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

La ecuación (3.12) es conocida como la ecuación de Euler de movimiento a lo largo de una línea de corriente. Si $a_s = 0$, la ecuación (3.12) puede ser integrada para obtener la ley hidrostática; i.e., la presión varía en forma lineal con respecto a la profundidad.

Las implicaciones de la ecuación (3.12) en el flujo de canales abiertos son significativas. Primero, se ignoran fluctuaciones menores producidas por la turbulencia y las líneas de corriente no tienen componentes de aceleración en el plano de la sección transversal, i.e., las líneas de corriente no tienen curvatura sustancial ni divergencia, entonces el flujo se denomina paralelo y prevalece una distribución de presión hidrostática. En la práctica, muchos flujos uniformes y flujos gradualmente variados pueden ser considerados como flujos paralelos con distribuciones de presiones hidrostáticas en donde la divergencia y curvatura de las líneas de corriente son despreciables. En un flujo paralelo, la suma $z + p/\gamma$ es constante e igual al tirante del flujo y , si el plano de referencia es tomado como el fondo del canal. Entonces, por definición, la energía específica de un flujo en el canal abierto relativo al fondo del canal es:

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

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. ($\bar{u} = Q/A$ donde A es el área hidráulica y Q es el gasto).

a. La suposición inherente en la ecuación (3.13) es que la pendiente del canal es pequeña, o $\cos \theta \simeq 1$, y $y \simeq d \cos \theta$. En general, si $\theta < 10^\circ$ ó $S < 0.018$ donde S es la pendiente del canal, la ecuación (3.13) es válida.

b. 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.

c. 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

d. o, 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:

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

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 (Chow, 2008).

3.2.16 Determinación de caudal de captación de un canal y caudal de diseño de una cuenca

3.2.16.1 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 a la siguiente fórmula:

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

Dónde:

Q : Gasto máximo en m^3/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 litros/s.

i : Intensidad de la lluvia en litros/seg/hectáreas.

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 formula se reduce básicamente a encontrar los valores adecuados de t_c y C .

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 (1967).

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/min). (Arocha,
R., 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.

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

Dónde:

L: Longitud del cauce más largo, en metros.

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

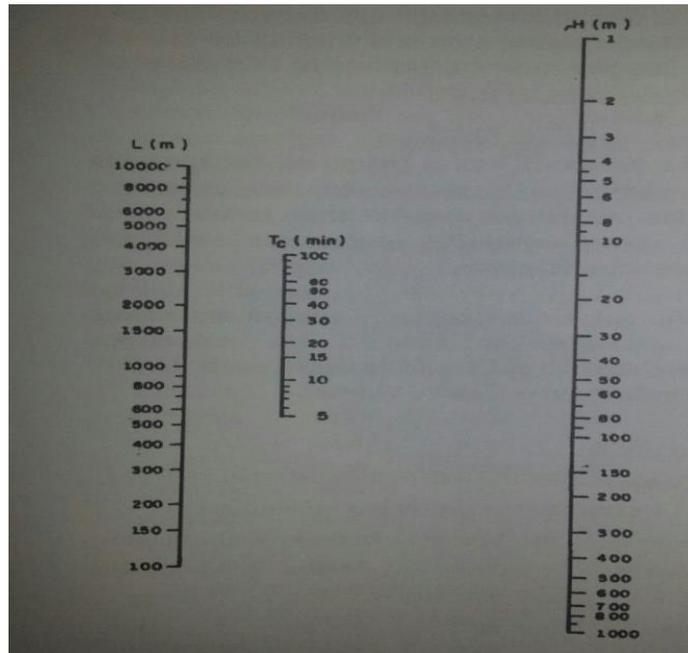


Figura 3.1. Abaco para estimación del tiempo de concentración en cuencas rurales (Arocha, 2012).

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.

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 a planes de desarrollo urbano; estos valores provienen de un cálculo de las superficies impermeables y no impermeables de cada tipo de uso, se ha tratado de simplificar la selección del coeficiente (Arocha, R., 2012).

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 a 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	0,65 a 0,85		
	R8, R9 y R10	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
ZONAS VERDES		0,15	0,20	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 al 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 al 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.

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.

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.

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.

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. (Arocha, R., 2012)

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.

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.

$$A_{ec} = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^{12} \bar{P}N_j} \quad (3.22)$$

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 (Arocha, R., 2012).

3.2.18 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 uso de la calle, de acuerdo a lo que se indica a continuación:

3.2.18.1 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 (Arocha, R., 2012).

3.2.18.2 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 (Arocha, R., 2012).

3.2.19 Trazado de canales abiertos

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

- a. Fotografías aéreas, imágenes satelitales, para localizar los poblados, caseríos, áreas de cultivo, vías de comunicación, etc.
- b. Planos topográficos y catastrales.
- c. 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 (Arocha, R., 2012).

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

3.2.19.1 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 (georreferenciados) (Arocha, R., 2012).

3.2.19.2 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 (Arocha, R., 2012) .

3.2.19.3 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 (Arocha, R., 2012) .

3.2.20 Rápidas escalonadas

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:

3.2.21.1 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 gradadas.

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/s², 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).

3.2.21.2 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.

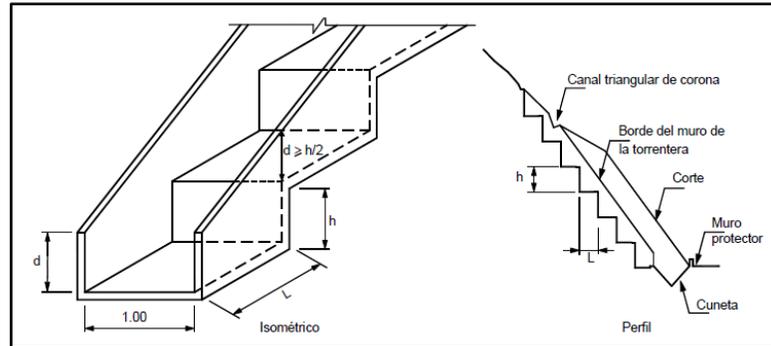


Figura 3.2 Torrentera en gradería (Aristizabal et al,2013).

3.2.21.3 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.

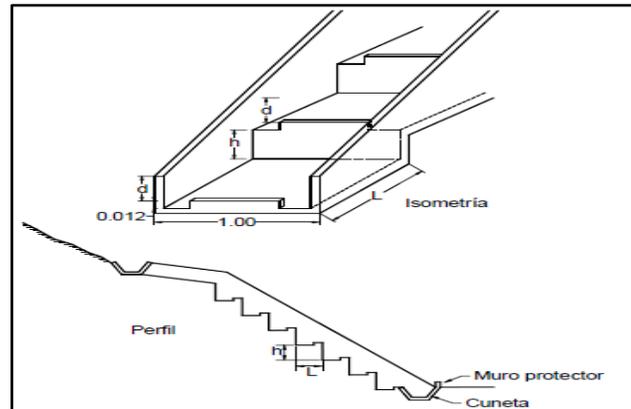


Figura 3.3 Torrentera en gradería con bloques en el fondo (Aristizábal et al, 2013).

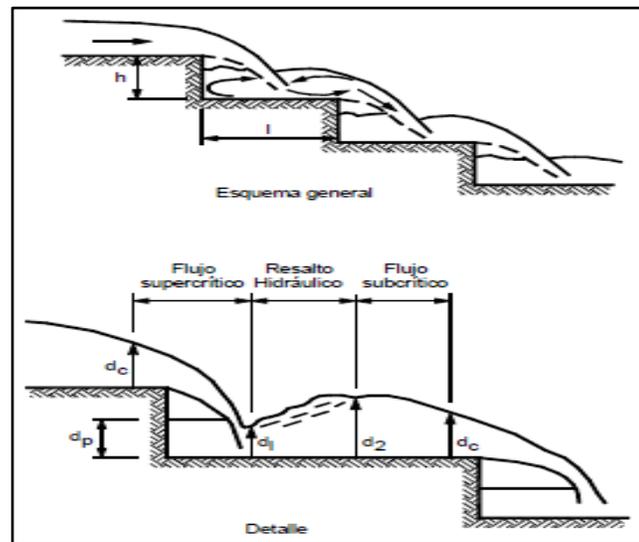


Figura 3.4 Régimen de flujo saltante sobre un canal en gradería (Mejía, 1999).

3.2.21.4 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:

$$V = (1/n) \cdot (R_h^{0.67} \cdot S^{1/2}) \quad (3.27)$$

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
Pastizales en suelos arenosos	Pendiente 0 a 2%	0.05 a 0.1
	2 a 7%	0.1 a 0.15
	Más de 7%	0.15 a 0.25
Pastizales en suelos arcillosos	Pendiente 0 a 2%	0.13 a 0.17
	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

3.2.21.5 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.

$$b = 0.905 \cdot Q_D^{2/5} \quad (3.28)$$

$$V_{\text{prom}} = 4.376 \cdot Q_D^{1/5} \quad (3.29)$$

Donde:

b: Ancho del canal,

Q_D : Caudal de diseño

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

3.2.21.6 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).

3.3 Definición de términos básicos

a. Abrupto: dicho de un terreno escarpado, quebrado o de difícil acceso. (Real Academia Española, 2012).

b. Áreas inundables: son aquellas superficies diferentes de las planicies inundables, que pueden ser ocupadas durante un tiempo prudencialmente largo, por aguas provenientes del escurrimiento superficial. (Bolinaga J., 1979).

c. Canales de drenajes: es una cuneta que se encuentra ubicada en la orilla de la carretera para recoger y conducir el agua superficial para drenaje alejándola del lecho de la vía. (Carciente J, 1985).

d. Cartografía: arte de trazar mapas geográficos. (Real Academia Española, 2012).

e. Cavitación: formación de burbujas de vapor o de gas en el seno de un líquido, causada por las variaciones que este experimenta en su presión. (Real Academia Española, 2012).

f. Climatología: tratado del clima, conjunto de las condiciones propias de un determinado clima. (Real Academia Española, 2012).

g. Coeficiente de escorrentía (C): se denomina coeficiente de escorrentía al cociente entre el caudal de agua que circula por una sección de una cuenca a consecuencia de un suceso lluvioso (lluvia neta), y el volumen de agua que ha

precipitado sobre la misma (lluvia total). Es decir, se trata de la proporción de lluvia real que produce escorrentía superficial. (Gustavo A, 2003).

h. Coeficiente de Manning (n): es un valor adimensional utilizado en la ecuación de Manning en los cálculos de capacidades de colectores, tuberías o canales que funcionan a gravedad cuya cuantía depende del material. (Gustavo A, 2003).

i. Colectores: son los cauces naturales o los conductos construidos por el hombre (canales, tuberías, etc.) que transportan las aguas y que son drenajes primarios o secundarios, según sea el caso. (Bolinaga J, 1979).

j. Cota: altura de un punto sobre el nivel de otro plano de referencia. (Real Academia Española, 2012).

k. Cuenca: es un concepto geográfico e hidrológico que se define 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 ésta 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 cuenca endorreica. Cuando sus descargas llegan hasta el mar se les denominan cuencas exorreicas. Normalmente la corriente principal es la que define el nombre de la cuenca. (Zinck A, 1977).

l. Cuenca hidrográfica: el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. (Zinck A, 1977).

m. Datum: cota tomada como base para graficar un perfil. (López, 1998).

n. Desnivel: diferencia de altura entre dos puntos. (Real Academia Española, 2012).

o. Embaulamiento: es un conducto artificial que sirve para llevar las aguas de lluvia, por lo general más eficientes hidráulicamente en la velocidad de las aguas, ya que poseen pendientes que incrementan los gastos máximos. (Carciente J, 1985).

p. Escorrentía: ocurre cada vez que la corriente de agua llega a un cauce superficial producto de haberse discurrido de los charcos y depresiones. (Carciente J, 1985).

q. Fluctuar: dicho de un cuerpo, vacilar sobre las aguas por el movimiento agitados de ellas. (Real Academia española, 2012).

r. Hidrología: también llamada hidrografía es la ciencia de la naturaleza que estudia el agua dentro del planeta Tierra, tanto en los aspectos de ocurrencia como acumulación y circulación desde el punto de vista cualitativo, cuantitativo y estadístico. (Chow T, 1994).

s. Inundación: son producto de las fuertes lluvias que a causa de la acción indiscriminada del hombre en cuencas, cauces de los ríos y quebradas y el depósito de basura que taponan drenajes naturales, son algunas de las causas por las cuales se origina este fenómeno. (Gustavo A, 2007).

t. Meteorología: ciencia que trata de la atmósfera y los meteoros. (Real Academia española, 2012).

u. Pendiente: proporción entre la distancia de cotas entre dos puntos y su longitud. (López, 1998).

v. Perfil longitudinal: es la representación gráfica de la intersección del terreno con un plano vertical que contiene al eje longitudinal de nivelación, con esto se obtiene la forma altimétrica del terreno a la largo de la mencionada línea. (Bolinaga J, 1979).

w. Perfil transversal: es la representación gráfica de la intersección del terreno con un plano vertical perpendicular al eje longitudinal, este se realiza en cada uno de los puntos que definen al perfil longitudinal, es decir, se realiza en todos los puntos de cambio. (Bolinaga J, 1979).

x. Pluviómetro: aparato que sirve para medir la lluvia que cae en lugar y tiempo dados. (Real Academia española, 2012).

y. Zanjas: son canales abiertos que tienen como objeto recoger el agua que proviene de las plataformas de la vía. (Carciente J, 1985).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este capítulo de la investigación consistió en generar información útil para lograr obtener la ejecución secuencial de manera precisa, de los objetivos propuestos en el desarrollo de este trabajo.

4.1 Tipo de investigación

La investigación será de proyecto factible o investigación proyectiva, por cuanto se diagnostica, se definen y describen los hechos para planificar las acciones y poder sanear hidráulicamente. La misma cuenta con todos los instrumentos y datos necesarios para ser llevada a cabo y dará soluciones a una problemática planteada.

Según Balestrini, M. (2002), “los proyectos factibles son aquellos estudios o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas, entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática planteada, la cual fue sometida con anterioridad a estudios de las necesidades a satisfacer”. (p. 9)

Esta investigación se considera proyectiva o factible porque se propone la aplicación de la ingeniería básica en el sistema de drenaje superficial para el encauzamiento final de las aguas pluviales mediante torrenteras en el conjunto urbanístico Los Jabillos ubicado en El Tigre, estado Anzoátegui; 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 problema que se presenta, arropando las necesidades de la comunidad en cuestión.

La investigación según su propósito será Aplicada, ya que ésta busca la solución de problemas de índole importante para la mejora de calidad de vida de la sociedad con el fin de evitar cualquier tipo de problemas que le generen inconvenientes a los habitantes del urbanismo.

Para Tamayo y Tamayo (2006), “la forma de investigación aplicada se le denomina también activa o dinámica, se encuentra íntimamente ligada a la pura ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos; es el estudio o aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias o características concretas; esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no a el desarrollo de teorías”. (La investigación, p. 71)

Según el nivel de conocimiento será descriptiva, debido a que se presenta la realidad del hecho que se desea estudiar y se plantea de una manera correcta el funcionamiento de un canal abierto que permita la conducción y descarga de aguas pluviales hacia un punto específico.

Según Tamayo y Tamayo (2006), “el tipo de investigación descriptiva, comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos; el enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo, cosa, funciona en el presente; la investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hecho, caracterizándose fundamentalmente por presentarnos una interpretación correcta”. (La investigación, p. 71).

4.2 Diseño de investigación

4.2.1 Investigación de campo

Se considera una investigación de campo, dado que es preciso que la información sea recopilada de datos tomados directamente del lugar donde ocurren los hechos en observación.

Según Arias, F. (2012), “La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de todos los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variables alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos y la solución del problema planteado”. (p. 31)

4.2.2 Investigación documental

Esta investigación es documental, puesto que la información derivó de fuentes primarias tales como los registros de datos climáticos del portal web es.weatherspark.com y del servidor Giovanni de la <http://www.giovanni.dmi.unipi.it/> a través de la aplicación de entrevistas con especialistas en el área, por medio de la revisión de mapas topográficos del área elaborados por la CVG-Tecmin, C.A. y de la consulta, extracción y análisis de datos contenidos en libros, tesis de grado y todo material bibliográfico o electrónico que esté relacionado con el estudio a realizar.

Para Arias, F. (2006), una investigación documental es: “Aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos”. (p. 49)

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

En el presente caso se considerará como población de la investigación toda la superficie del urbanismo Los Jabillos susceptible de captar aguas pluviales, además formará parte de la población los taludes a través del cual se proyecta conducir las aguas pluviales utilizando la torrentera.

Según lo señalado por Balestrini, M. (2002), se llama población “Un conjunto finito o infinito de personas, cosas o elementos que presentan características comunes y para el cual serán validadas las conclusiones obtenidas en la investigación”. (p. 137)

4.3.2 Muestra de la investigación

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

Hernández, Fernández y Baptista (1994), expresan “La muestra es, en esencia un subgrupo de la población. Digamos que es un subgrupo de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población”. (p. 212)

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos pueden considerarse como la forma o procedimiento que utiliza el investigador para recolectar la información necesaria en el diseño de la investigación.

Así lo expresa Arias, F. (2006), “Son las distintas formas o maneras de obtener la información”. (p. 53)

Dada la naturaleza de esta investigación, y en función de los datos que se requerían, las técnicas que se utilizaron fueron:

4.4.1.1 Revisión documental

Para esta investigación se llevó a cabo la consulta de textos asociados, los cuales están representados por normativas, leyes, reglamentos y decretos, e información bibliográfica, etc., dado que son fuentes de información confiable y viable para el logro de los objetivos trazados durante el desarrollo de la investigación.

Según Arias, F. (2006), “Es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por los 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)

4.4.1.2 Observación directa

La observación directa consiste en el estudio de la situación en el mismo momento de su ocurrencia, mediante el uso de sus sentidos, el investigador deberá someter el resultado de estas observaciones a su interpretación y análisis para poder formular el problema planteado.

Conforme a Arias, F. (2006), define: “la observación, es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos”. (p. 69)

Según Hurtado (2008), la observación directa constituye un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información, para el cual el investigador se apoya en sus sentidos”. (p. 459)

4.4.1.3 Entrevistas no estructuradas

Según Sabino, C. (1992): “De un modo general, una entrevista no estructurada o no formalizada es aquella en que existe un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas”. (p. 118)

Mediante esta técnica es posible captar información importante basada en la experiencia y conocimiento del entrevistado. La aplicación de la misma dentro de esta investigación implica la realización de preguntas orales sin una estructura definida al personal involucrado y conocedor del tema (responsables de área, ingenieros, técnicos, supervisores, entre otros).

4.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que sirvieron de ayuda a la presente investigación fueron los siguientes: a) calculadora, b) computadora portátil, c) cámara fotográfica, d) GPS, e) internet e imágenes satelitales de la zona, f) cuaderno de notas, g) pendrives h) textos relacionados al estudio expuesto, i) nivel Abney, j) brújula Brunton, k) jalón topográfico, l) cinta métrica, entre otros.

4.5 Flujograma de la metodología de trabajo

En la figura 4.1 se presenta el Flujograma de la investigación.

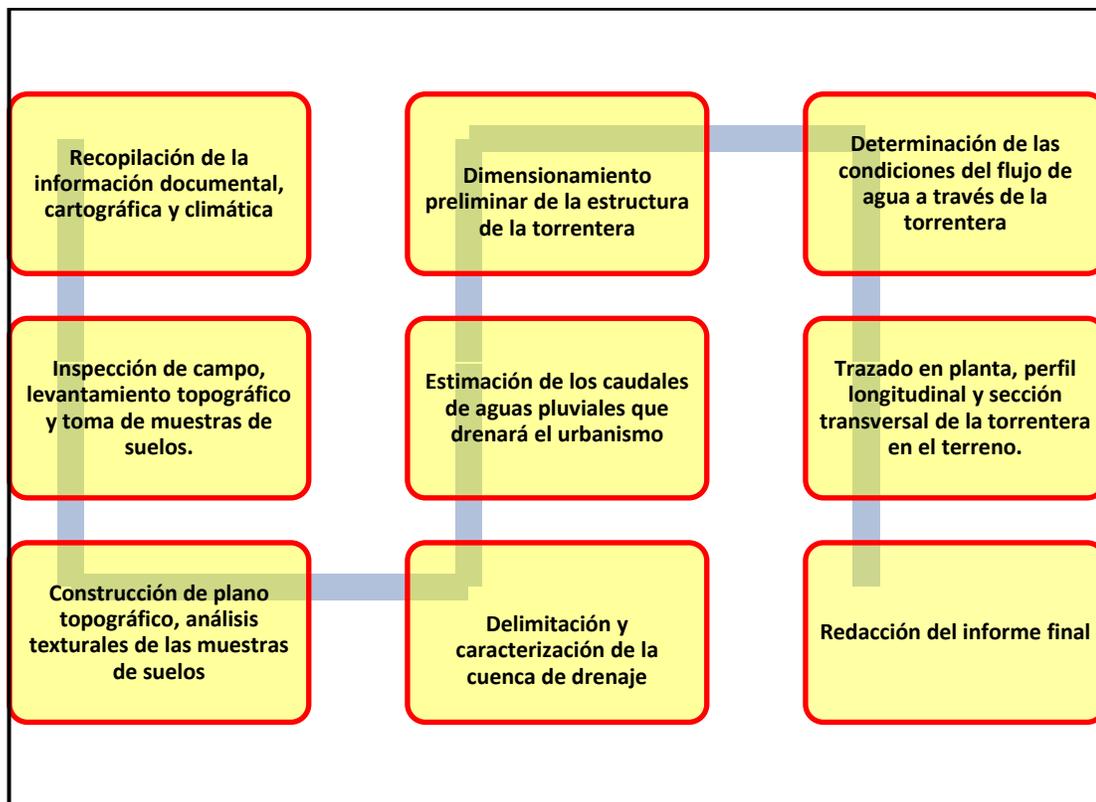


Figura 4.1 Flujograma de la investigación

4.5.1 Procedimiento para el logro de los objetivos

4.5.1.1 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.

4.5.1.2 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 (toma de muestras de suelo de los taludes) 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.

4.5.1.3 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 construcción del plano topográfico respectivo del urbanismo y del talud objeto de estudio. Se efectuó un análisis preliminar de la estabilidad del talud como base para la construcción de una torrentera en dicha ladera. 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.

4.5.1.4 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.

4.5.1.5 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 Caracterización de la climatología del área de estudio

El área de estudio está conformada por una superficie actual de 70 ha, en la cual se han revisado las características relevantes de la climatología local, con base en el análisis temporal de los datos registrados en el servidor Giovanni y también los reportados por el portal es.weatherspark.com. Cabe destacar que *Giovanni* es la interface web de la NASA que provee información de varios satélites para todas las zonas del mundo. Los datos ya están procesados y pueden ser descargados en una escala requerida. .

En la zona de El Tigre, el clima dominante es cálido, con una temperatura media anual aproximada entre los 29 y 30 °C, y un régimen pluviométrico biestacional, que se caracteriza por la alternancia de una pronunciada estación seca de cuatro a cinco meses entre noviembre y marzo o abril, y con un período húmedo menos prolongado de tres a cuatro meses. Los meses de máxima precipitación corresponden a julio y agosto, con más del 50% de las precipitaciones anuales.

5.1.1 Precipitación

En la figura No. 5.1 se presenta el gráfico de los registros de precipitación tomados de la base de datos del servidor Giovanni que corresponden al satélite TRMM.

Los datos se corresponden al dataset 3B43. Este producto se creó utilizando la tasa de precipitación infrarroja de microondas combinada ajustada por el satélite TRMM (en mm/h) y las estimaciones de error de precipitación de la raíz cuadrada media (RMS). Proporciona una "mejor" estimación de precipitación en una banda de latitud que cubre de 50o N a 50o S, una expansión de la región TRMM, de todas las fuentes de datos globales, a saber, datos de microondas de alta calidad, datos infrarrojos y análisis de pluviómetros. El tamaño de gránulo es de un mes. La serie de tiempo comprende desde 1998 hasta 2019. De acuerdo a los registros se tienen valores máximos de lluvia del orden de 300 mm/mes y valores medios del orden de 100 mm/mes.

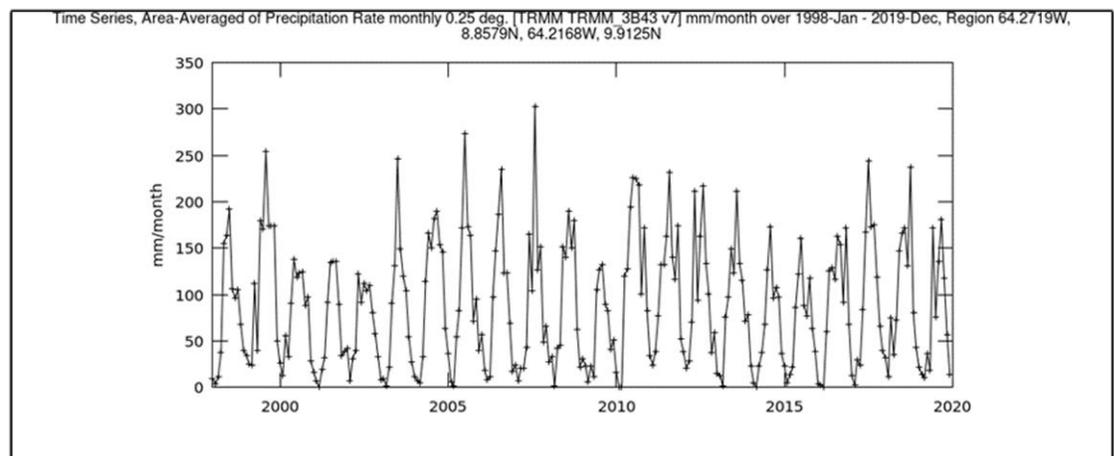


Figura 5.1: Precipitación - Población El Tigre – Periodo 1998 a 2019

5.1.2 Energía solar

Este parámetro trata sobre la energía solar de onda corta incidente diaria total que llega a la superficie de la tierra en una área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta.

La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales leves durante el año.

El período más resplandeciente del año dura 2,1 meses, del 15 de febrero al 17 de abril, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado superior a 6,7 kWh. El mes más resplandeciente del año en El Tigre es marzo, con un promedio de 7,0 kWh.

El periodo más obscuro del año dura 3,2 meses, del 13 de septiembre al 19 de diciembre, con una energía de onda corta incidente diaria promedio por metro cuadrado de menos de 5,7 kWh. El mes más obscuro del año en El Tigre es noviembre, con un promedio de 5,4 kWh

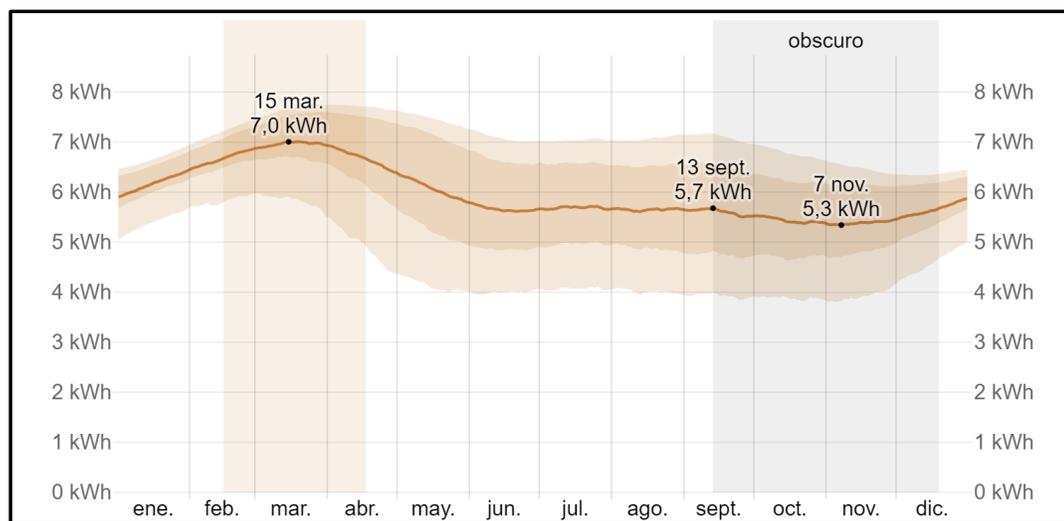


Figura. 5.2 Energía solar de onda corta promedio por metro cuadrado (línea anaranjada), con las bandas de percentiles 25° a 75° y 10° a 90°. (es.weatherspark.com, 2023).

5.1.3 Humedad

El sitio web weatherspark.com basa el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

En El Tigre la humedad percibida varía considerablemente.

El período más húmedo del año dura 9,1 meses, del 13 de abril al 17 de enero, y durante ese tiempo el nivel de comodidad es bochornoso, opresivo o insoportable por lo menos durante el 64 % del tiempo. El mes con más días bochornosos en El Tigre es julio, con 28,5 días bochornosos o peor.

El mes con menos días bochornosos en El Tigre es febrero, con 15,8 días bochornosos o peor

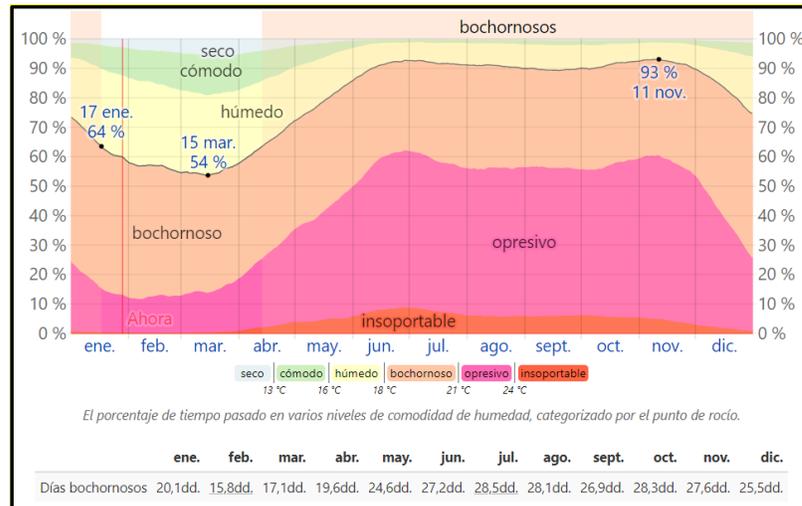


Figura 5.3 Porcentaje de humedad promedio mensual (es.weatherspark.com. 2023).

5.1.4 Temperatura

En la figura No. 5.4 se presenta el gráfico de los registros de precipitación tomados de la base de datos del servidor Giovanni que corresponden al satélite TRMM. La serie de tiempo comprende desde 2002 hasta 2016. De acuerdo a los registros se tienen valores máximos de temperatura del orden de 32 °C, valores mínimos en el orden de 27.5 C y valores medios del orden de 29 °C.

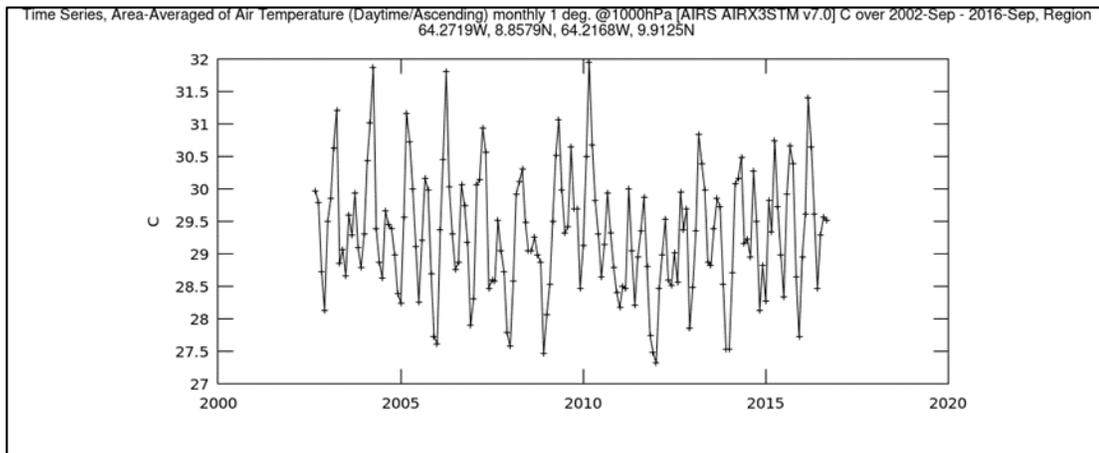


Figura 5.4 Temperatura máxima y mínima promedio mensual (Giovanni. NASA, 2023).

5.1.5 Vientos

La gráfica 5.5 muestra que los valores máximos de velocidad del viento en la población de El Tigre oscilan entre 4.2 m/s y 9 m/s

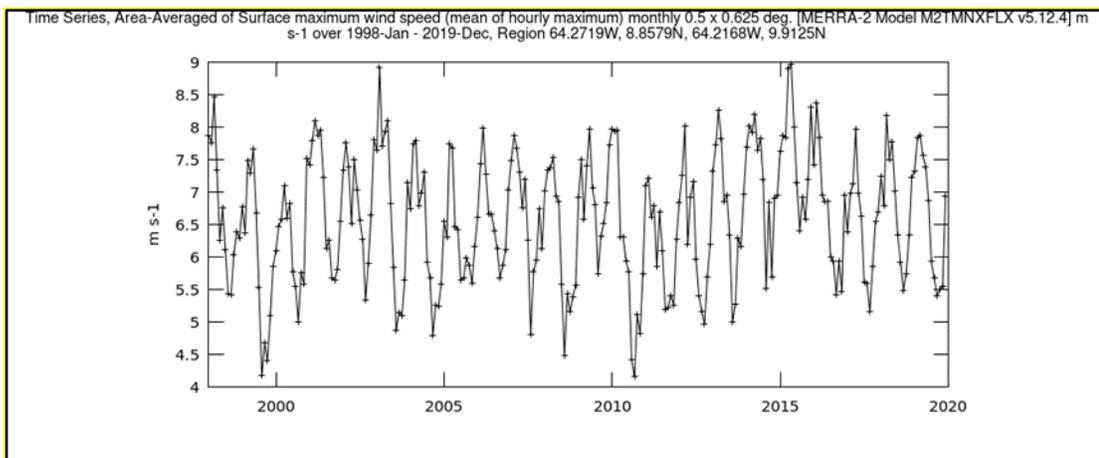


Figura. 5.5 Promedios mensuales de máxima velocidad del viento – El Tigre – Periodo 1998 hasta 2019. (Satélite Giovanni, NASA, 2023)

5.2 Distribución de parcelas del área de drenaje

El urbanismo está constituido por diecisiete (17) parcelas con cinco (5) vías principales con dirección norte a sur y cuatro (4) vías secundarias como se representa en la figura 5.7 las cuales están distribuidas de la siguiente manera:



Figura 5.6 Distribución de las calles del urbanismo.

Las áreas fueron calculadas mediante el programa AutoCAD 2016, y organizadas y distribuidas en las tablas a continuación.

Las aguas se drenan en el urbanismo fluyendo sus aguas en dirección norte a sur y de este hacia el oeste, entregándolas en el río Tigre mediante una rápida escalonada en un único punto al sur del urbanismo como se representa en la figura 5.7:



Figura 5.7 Punto de drenaje del urbanismo hacia el sur (flecha roja).

El urbanismo “Los Jabillos”, está conformado por veinte (20) parcelas (Figura 5.8), cada parcela estará subdividida, como se muestra en la Figura 5.9, en cuatro (4) sectores (norte: N, sur: S, este: E y oeste: O), con los siguientes tipos de cobertura de sus suelos: residencial zona pavimentada y zonas verdes.

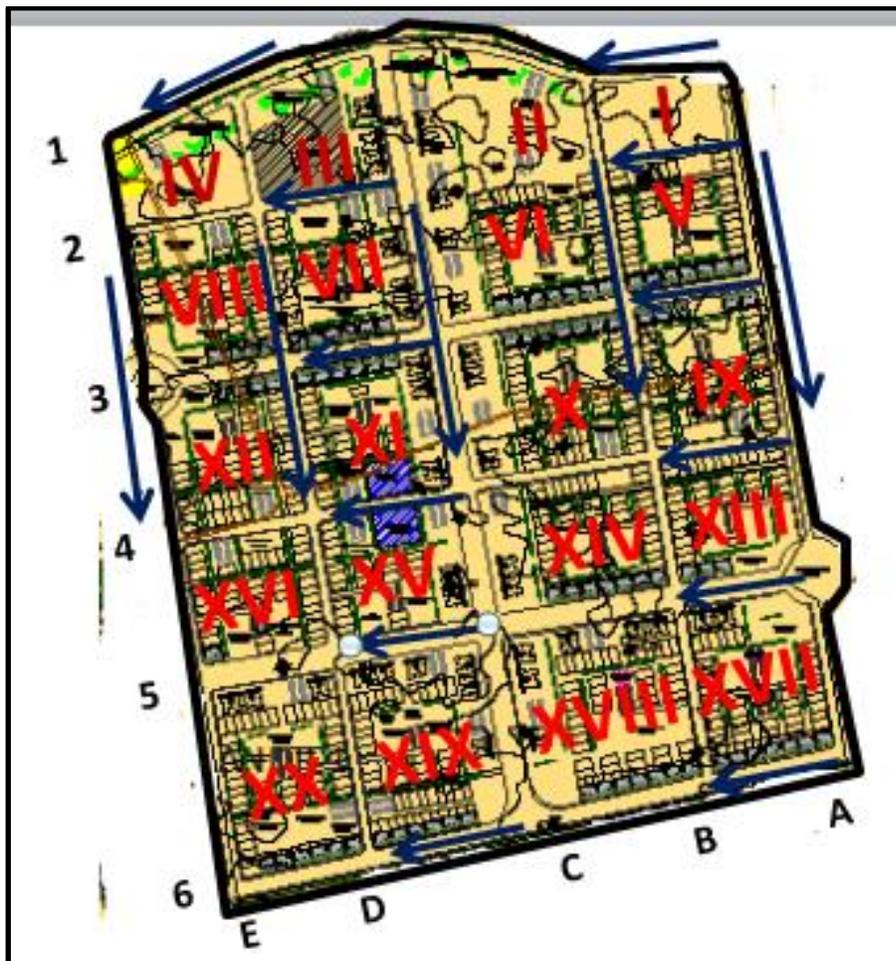


Figura 5.8 Direcciones de flujo en el urbanismo “Los Jabillos” e identificación de las parcelas drenantes de escorrentías.

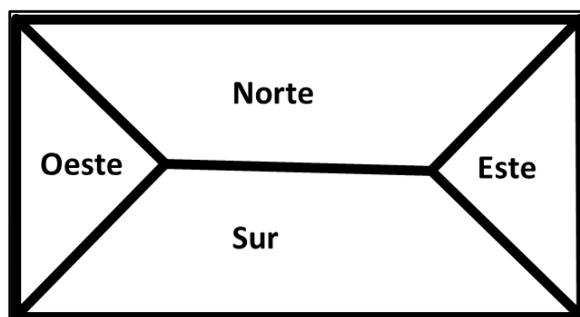


Figura 5.9 Identificación típica de los sectores que drenan en cada subcuenca.

5.3 Caudal de drenaje aportado por la cuenca

La estimación del caudal de la cuenca se realizó mediante el método Racional, para lo cual se deben determinar los tres (3) parámetros fundamentales:

5.3.1 Área y Coeficiente de escorrentía ponderado (Cep) de la cuenca

Para el cálculo o determinación del coeficiente de escorrentía se considerarán los criterios dados por Aparicio (2001) de acuerdo a la zonificación del uso de la tierra.

Para esta investigación se tomó un valor medio entre el mínimo y máximo que aparecen en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Coeficientes de escurrimiento (Aparicio, 2001).

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0,50	0,70
Zonas residenciales unifamiliares	0,30	0,50
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0,40	0,60
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,60	0,75
Zonas residenciales semiurbanas	0,25	0,40
Zonas industriales espaciadas	0,50	0,80
Zonas industriales densas	0,60	0,90
Parques	0,10	0,25
Zonas deportivas	0,20	0,35
Estaciones e infraestructuras viarias del ferrocarril	0,20	0,40
Zonas suburbanas	0,10	0,30
Calles asfaltadas	0,70	0,95
Calles hormigonadas	0,70	0,95
Calles adoquinadas	0,70	0,85
Aparcamientos	0,75	0,85
Techados	0,75	0,95
Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%)	0,05	0,10
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0,10	0,15
Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%)	0,15	0,20
Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%)	0,13	0,17
Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias)	0,18	0,22
Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%)	0,25	0,35

$$C_p = ((\text{Area 1} * C_e 1) + (\text{Area 2} * C_e 2)) / \text{Area total} \quad (5.1)$$

En la tabla 5.2 se muestra la distribución de las áreas de acuerdo a su cobertura y superficie.

Tabla 5.2 Distribución de parcelas según su tipo de cobertura y superficie.

LOTE	Parcela	Tipo de	Area			Area Total	
		Cobertura	Parcial			de Parcela	
		del Suelo	(m ²)	(ha)	%	(m ²)	(ha)
Total cuenca		Residencial	220600	22.06	41.26	534647	53.464675
		Pavimento	214816	21.4816	40.18		
		Àrea verde	99230.75	9.923075	18.56		

El coeficiente ponderado para las subcuencas se determinó de la siguiente manera:

$$C_p = \frac{((1,91 \text{ ha} \times 0,30) + (15,89 \text{ ha} \times 0,80) + (3,75 \text{ ha} \times 0,70) + (2,33 \text{ ha} \times 0,80) + (5,14 \text{ ha} \times 0,30))}{29,02 \text{ ha}} = 0,67$$

En los apéndices A.1 hasta A.5 se mostrará el coeficiente ponderado de las subcuencas codificadas como roja y amarilla

5.3.2 Determinación del período de retorno

Lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada, entendiéndose esto por período de diseño el cual; debe ser seleccionado cuidadosamente para que el sistema de recolección de agua sea eficiente en la capacidad de conducción del gasto de diseño.

En el caso del diseño de obras hidráulicas para canalización de aguas de lluvias en ciudades de tamaño de mediano a grande de 20 a 50 años. Estimándose un período de diseño de 25 años.

5.3.3 Tiempo de concentración e intensidad de lluvia

El tiempo de concentración es uno de los criterios más importantes que deben ser tomados en cuenta a la hora de realizar el dimensionamiento de cualquier obra hidráulica, para estimar este valor en un determinado punto de una cuenca o subcuenca. El tiempo de concentración se determinará mediante la fórmula del California Culvert Practice, la cual se ha elegido por tratarse de obras de drenaje urbano:

$$T_c = 0.0195 (L^3/H)^{0.385}$$

Dónde:

T_c: 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.

La intensidad será determinada en función de la duración y el período de retorno (de 25 años) y el tiempo de concentración (tabla 5.8), esta intensidad será estimada con base a las curvas IDF para la Región XI de Camacho (2004) mostradas en la figura 5.12.

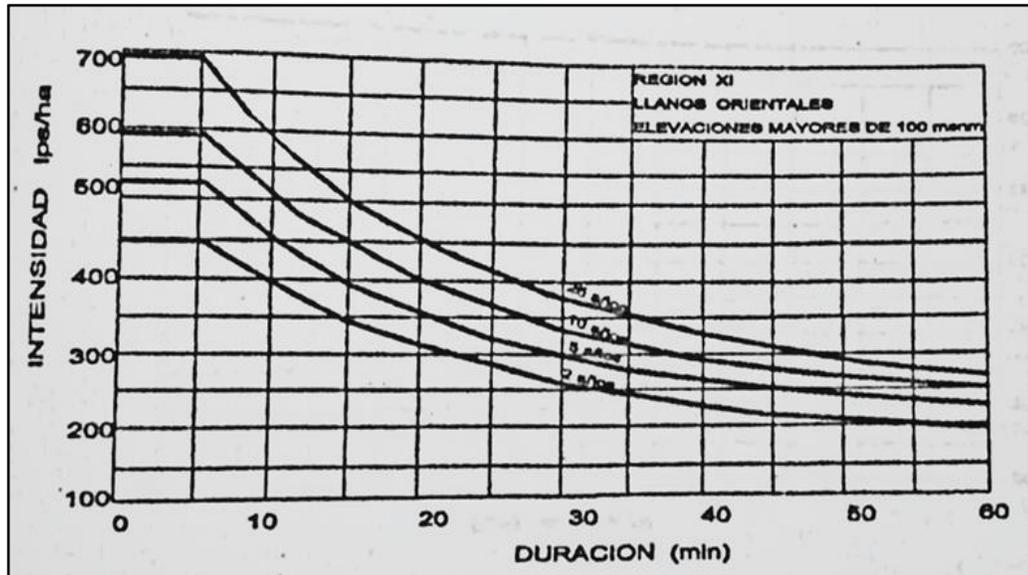


Figura 5.12 Curva IDF para la Región XI (Llanos orientales con elevaciones superiores a los 100 msnm), (Camacho, 2004).

Tabla 5.8. Estimación de la intensidad de lluvia (I) en el área de estudio.

Longitud cauce más largto (m)	Cota inicio (msnm)	Cota final (msnm)	Dif Cota (m)	Tiempo de concentración Tc (min)	Período de retorno (Tr) (años)	Intensidad de lluvia I	
						(lps/ha)	(mm/hr)
1670	303	264	39	25	25	417	150

5.3.4 Caudal de drenaje de la cuenca

Se calculará el caudal de diseño aportado por las parcelas por el método racional, para este cálculo del caudal es necesario saber que será el producto de los coeficientes de escurrimiento, las intensidades de lluvia de la zona y las áreas respectivas.

El urbanismo “Los Jabillos” está conformado por veinte (20) parcelas codificadas: en números romanos desde la I hasta la XX.. Para estimar el caudal que aportaría cada parcela, estas se subdividieron en cuatro (4) sectores: codificados en

sentido horario como norte, este, sur y oeste, como se muestra en la figura 5.13 siguiente:

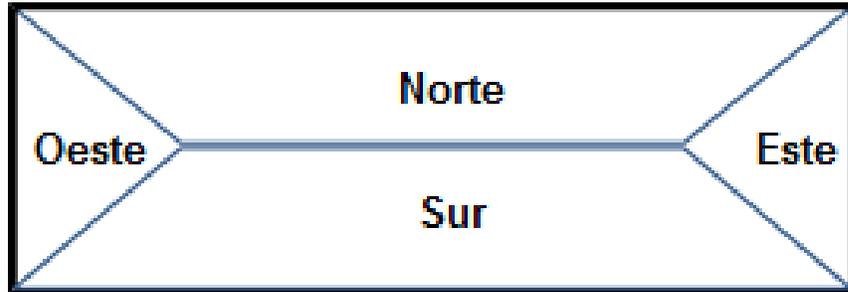


Figura 5.13. Orientación de los sectores tributarios.

Para obtener el cálculo del caudal de las parcelas, se usó el método racional:

$$Q = C . I . A$$

La fórmula anterior se aplicó para el cálculo de los caudales drenados por las parcelas presentes en el urbanismo (Tablas 5.9 y 5.10).

Tabla 5.9 Caudales drenado por las parcelas I a X.

Lote	Parcela	Area (ha)	Ce pond	Intensidad Lluvia (lps/ha)	Caudal	
					(lps)	(m ³ /s)
I	In	0.8280	0.7217	417	249.174	0.249
	Ie	0.8280	0.7217	417	249.174	0.249
	Is	0.6180	0.7630	417	196.632	0.197
	Io	0.8280	0.7217	417	249.174	0.249
II	IIIn	1.5388	0.5471	417	351.039	0.351
	IIe	1.0653	0.7013	417	311.549	0.312
	IIIs	0.7510	0.7002	417	219.281	0.219
	IIIo	0.6304	0.6690	417	175.865	0.176
III	IIIIn	1.1544	0.5240	417	252.235	0.252
	IIIe	0.5024	0.7187	417	150.570	0.151
	IIIIs	0.5024	0.7187	417	150.570	0.151
	IIIo	0.5024	0.7187	417	150.570	0.151
IV	IVIn	0.8074	0.5996	417	201.884	0.202
	IVe	0.6274	0.5335	417	139.584	0.140
	IVs	0.4002	0.7229	417	120.636	0.121
	IVo	0.4002	0.7229	417	120.636	0.121
V	VIn	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
	Ve	0.6576	0.6522	417	178.839	0.179
	Vs	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
	Vo	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
VI	VIIn	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
	VIe	0.6576	0.6522	417	178.839	0.179
	VIs	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
	VIo	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
VII	VIIIn	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
	VIIe	0.6576	0.6522	417	178.839	0.179
	VIIIs	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
	VIIo	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
VIII	VIIIIn	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
	VIIIe	0.6576	0.6522	417	178.839	0.179
	VIIIIs	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
	VIIIo	0.4175	0.6406	417	111.527	0.112
IX	IXIn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	IXe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	IXs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	IXo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
X	XIn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	Xe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	Xs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	Xo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
Subtotal		25.2647			6748.871	6.749

Tabla 5.10 Caudales drenado por las parcelas XI a XX.

Lote	Parcela	Area (ha)	Ce pond	Intensidad Lluvia (Ips/ha)	Caudal	
					(Ips)	(m ³ /s)
XI	XIn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XIe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
XII	XIIIn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XIIe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIIs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIIo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
XIII	XIIIIn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XIIIe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIIIs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIIIo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
XIV	XIVn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XIVe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIVs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIVo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
XV	XVn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XVe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XVs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XVo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
XVI	XVIn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XVIe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XVIs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XVIo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
XVII	XVIIIn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XVIIe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XVIIs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XVIIo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
XVIII	XVIIIIn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XVIIIe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XVIIIs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XVIIIo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
XIX	XIXn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XIXe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIXs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XIXo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
XX	XXn	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
	XXe	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XXs	0.7950	0.6243	417	206.978	0.207
	XXo	0.6150	0.5641	417	144.678	0.145
Subtotal		28.2000			7033.122	7.033

Lo cual implica un caudal total drenado por el urbanismo de 13.782 m³/s.

5.4 Relieve del talud a través del cual se trazará la rápida escalonada

De acuerdo a las líneas de flujo dentro del urbanismo las cuales fueron interpretadas con base a las curvas de nivel del plano topográfico, y considerando el punto de recolección de todos los flujos (ubicado en la esquina suroeste del urbanismo), se procedió a definir la zona de descarga final de las aguas pluviales drenadas por el conjunto urbanístico “Los Jabillos”, obteniéndose un desplazamiento horizontal de 70.00 m y un desnivel de diez (10.00) metros para una pendiente longitudinal del talud de 0.142857 m/m

5.5 Definir el trazado en planta y perfil longitudinal de la torrentera

La rápida escalonada será trazada a partir de la esquina noreste del urbanismo “Los Jabillos” desde una cota de 264.0 msnm hasta una cota de 254.0 msnm, con una trayectoria o rumbo sur franco recorriendo una distancia horizontal de 70.0 m para una pendiente de 8.13 grados (figura 5.14).



Figura 5.14 Trazado en planta de la rápida escalonada (flecha roja).

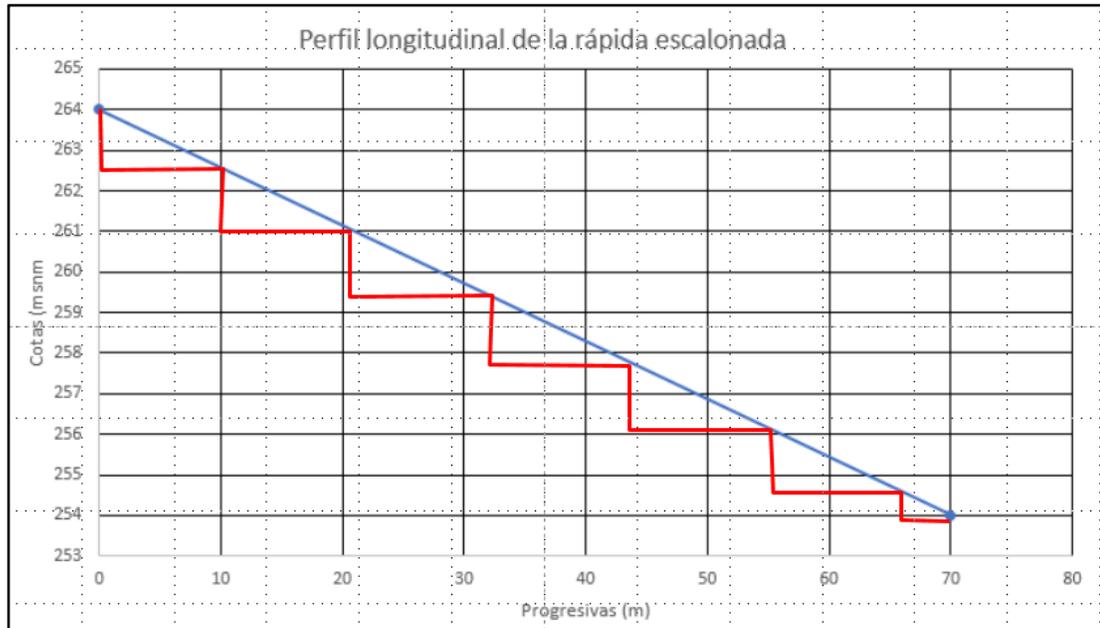


Figura 5.15 Perfil longitudinal de la rápida sin disipación.

5.6 Determinar los parámetros geométricos e hidráulicos de la torrentera

5.6.1 Ancho de la solera o base (b)

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:

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

$$b = 0.905 \cdot (13.782 \text{ m}^3/\text{s})^{2/5} = 2.58 \text{ m}$$

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:

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

$$b = 0.1 (13.782 \text{ m}^3/\text{s} / 4.79 \times 10^{-3})^{0.4} = 2.42 \text{ m}$$

Considerando ambos valores calculados para el ancho de la solera (b), asumiremos como un valor adecuado el más conservador de ambos: $b = 2.42 \text{ m}$

5.6.2 Profundidad normal y profundidad crítica

Con base al gráfico del Apéndice B.1 de Camacho (1996), partiendo del ancho de la solera (b) igual a 2.42 m, se determina el factor de descarga (K):

$$K = Qn / (So^{1/2} \cdot b^{8/3})$$

$$K = (13.782 \times 0.02) / (0.142857^{1/2} \times 2.42^{8/3})$$

$$K = 0.069085$$

Donde:

Q: caudal = 13.782 m³/s

n: coeficiente de rugosidad de Manning = 0.02

So: pendiente longitudinal del lecho = 0.142857 m/m

b: ancho de la solera del canal = 2.42 m

De lo cual se una relación de $y/b = 0.24$ para un valor de $y = 0.58 \text{ m}$

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:

$$y_c = ((13.782 \text{ m}^3/\text{s} / 2.42 \text{ m})^2 / 9.8 \text{ m/s}^2)^{1/3} = 1.49\text{m}$$

En vista de ello, como $y_c > y_n$ se dice que el flujo será supercrítico en este canal, lo cual es producto a que se ha diseñado como un canal tipo caída sin disipación de energía.

5.6.3 Parámetros hidráulicos y geométricos de la sección transversal

Utilizando el programa HCANALES, el cual aplica las ecuaciones: de Darcy, de Manning y de Bernoulli se determinan los parámetros geométricos e hidráulicos del canal tipo caída, tal y como se muestran en la figura 5.16 y la tabla 5.10.

Datos:			
Caudal (Q):	<input type="text" value="13.782"/>	m ³ /s	
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="2.42"/>	m	
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>		
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.02"/>		
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.142857"/>	m/m	

Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.5679"/>	m	Perímetro (p): <input type="text" value="3.5559"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="1.3744"/>	m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.3865"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="2.4200"/>	m	Velocidad (v): <input type="text" value="10.0276"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="4.2483"/>		Energía específica (E): <input type="text" value="5.6930"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

Figura 5. 16 Modelamiento del flujo en el canal tipo caída sin disipación de energía.

Tabla 5.10 Parámetros geométricos e hidráulicos preliminares del canal tipo caída sin disipación de energía.

Parámetros	Tramo superior
Caudal, Q (m ³ /s)	13.782

Coefficiente rugosidad, n	0.02
Pendiente longitudinal, So (m/m)	0.142857
Ancho de solera, b (m)	2.42
Profundidad normal, y_n (m)	0.57
Área, A (m ²)	1.37
Ancho superficie, T (m)	2.42
Perímetro mojado, Pm (m)	3.56
Radio hidráulico, Rh (m)	0.39
Velocidad flujo, V (m/s)	10.02
Energía específica, Es (m.kg/kg)	5.69
Número de Froude, Fr	4.24
Tipo de flujo	Supercrítico

5.6.4 Diseño de la rápida escalonada

En vista de los valores de la velocidad del flujo que se alcanzaría dentro del canal de rápida (10.02 m/s) el cual supera los rangos permisibles de velocidad de 5 m/s en un canal con revestimiento de concreto ($n=0.02$), se procederá a incorporar escalones a la rápida como medida para obtener la disipación de energía necesaria.

De acuerdo a la ecuación de Darcy:

$$Q = V \cdot A \Rightarrow V = Q / A \Rightarrow V = Q / (b \cdot y_n) \quad (5.4)$$

Sustituyendo:

$$V = 13.782 \text{ m}^3/\text{s} / (2.42 \text{ m} \times 0.57 \text{ m}) = 9.99 \text{ m/s}$$

Obsérvese que 9.99 m/s es una velocidad que se encuentra por encima de lo permisible (tabla 5.11) y ameritaría características especiales y costosas del concreto para una obra de drenaje urbano.

Tabla 5.11 Velocidad máxima permisible para canales artificiales (CORPOCALDAS & INVÍAS, 1998 en INVÍAS, 2009).

MATERIAL	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)
Ladrillo común	3.0
Ladrillo vitrificado	5.0
Arcilla vitrificada (gres)	4.0
Concreto 175 kg/cm ²	6.0
Concreto 210 kg/cm ²	10.0
Concreto 280 kg/cm ²	15.0
Concreto 350 kg/cm ²	20.0

Con ello corroboramos los valores de velocidad del flujo arrojados por el programa HCANALES y se ratifica la necesidad de imponer medidas de disipación de energía.

Por lo general, el diseño de una rápida escalonada comprende fundamentalmente el cálculo del número de escalones, la huella (L_T) o longitud horizontal de los escalones y la contrahuella (h) o altura de cada escalón.

Según el “Manual de Drenaje” del Ministerio de Obras Públicas (M.O.P) en Camacho (2004) se determina a través del número de Froude la relación de h/y y Lc/y como se muestra en la tabla 5.12, para conseguir el valor de la altura del escalón o contrahuella (h) y la distancia horizontal del escalón o huella (L_T) utilizada para el diseño de los escalones de las rápidas escalonadas.

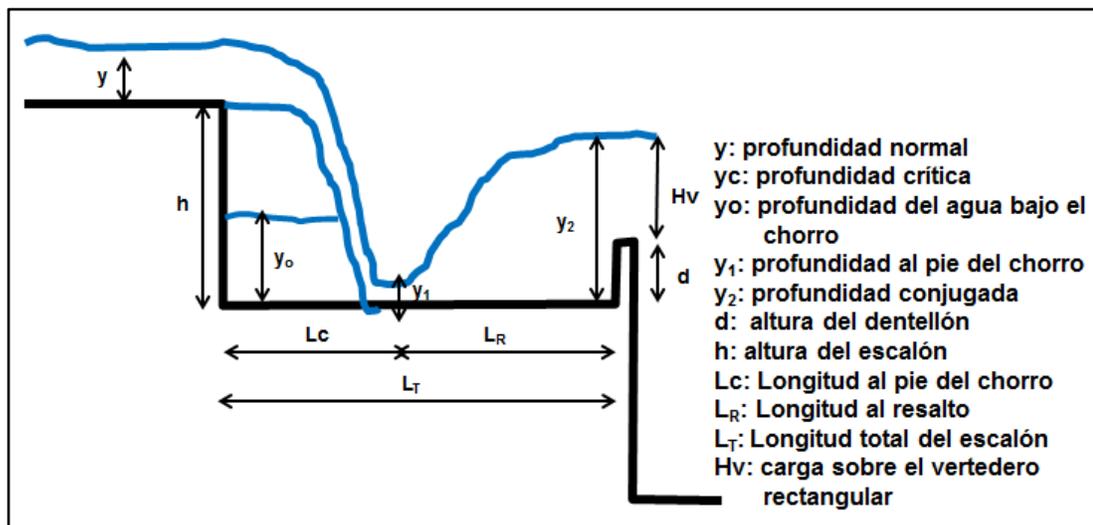


Figura 5.17 Dimensiones del escalón para régimen supercrítico (MOP, 1967 en Camacho, 2004).

En términos generales, en la práctica no se recomienda utilizar alturas de escalones (h) superiores a los 4.00 m.

Tabla 5.12 Valores establecidos para el cálculo de rápidas escalonadas (MOP, 1967 en Camacho, 2004).

VALORES APROXIMADOS											
Nº FROUDE = 2				Nº FROUDE = 3				Nº FROUDE = 4			
h/y	L_c/y	L_R/y	y_2/y	h/y	L_c/y	L_R/y	y_2/y	h/y	L_c/y	L_R/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 L_c .

En vista de ello, considerando el valor del número de Froude, de 4.24; se asumirá un $Fr = 4$ y una relación $h/y = 1.0$ en la tabla para la estimación de la disipación por caída con régimen supercrítico.

Dado que $y = y_n$, entonces, la profundidad normal será: $y_n = 1.58$ m. Lo cual implica que la altura vertical del escalón o contrahuella, será: $h = 1.58$ m. Luego, de la misma tabla anterior, se obtiene, de forma similar, para cada una de las relaciones:

$$\text{De } L_c/y = 3.4 \quad \Rightarrow L_c = 3.4 \times 1.58 = 5.37 \text{ m}$$

Ahora bien, la huella o longitud horizontal total del escalón disipador (L_T) se determina mediante la ecuación:

$$L_T = 1.1 L_c \quad (5.5)$$

Sustituyendo:

$$L_T = 1.1 \times 5.37 \text{ m} = 5.91 \text{ m}$$

Se presume por las experiencias obtenidas en campo que esta altura de huella y la distancia horizontal de contrahuella estimadas deberían bastar para disipar los excesos de energía del flujo. Sin embargo, es necesario acotar que en los cálculos previos del número de Froude, este alcanzaría en la rápida sin disipación un $Fr > 4$ lo cual supera los valores previstos en el método desarrollado en el “Manual de Drenaje” por el Ministerio de Obras Públicas (1967).

En ese sentido, se sugiere abundar en las medidas de disipación de energía utilizando un dentellón cuya ubicación estará al final aguas debajo de la parte horizontal del mencionado escalón. Entonces:

De acuerdo a las relaciones establecidas por el MOP (1967) en Camacho (2004), la altura del dentellón (d) podría ser calculado a partir de la determinación de la profundidad conjugada o altura del resalto (y_2):

Si la profundidad normal $y=0.58$ m ^ según la tabla 5.12, se tiene que:

$$y_2/y = 5.2$$

implica que la profundidad conjugada o altura del resalto será: $y_2= 3.02$ m

Y la altura del dentellón (d) sería un máximo de:

$$d = 1/6 y_2 = 1/6. (3.02) \text{ m}$$

$$d = 0.5 \text{ m}$$

Sin embargo, se puede determinar una altura menos conservadora del dentellón (d) mediante el uso de la ecuación de Francis para estimar la carga sobre un vertedero (H_v):

$$H_v = (q / 1.84)^{2/3} = ((Q/b) / 1.84)^{2/3} \quad (5.1)$$

Donde:

H_v : carga sobre el vertedero en m

Q: caudal de descarga en m^3/s

q: caudal unitario por cada metro de ancho (m^3/s)

b: ancho de la solera del canal (m)

Sustituyendo:

$$H_v = ((13.782 \text{ m}^3/\text{s} / 2.42 \text{ m}) / 1.84)^{2/3}$$

$$H_v = 2.12 \text{ m}$$

Por diferencia de alturas determinamos la altura del dentellón (d):

$$d = y_2 - H_v \quad (5.2)$$

Sustituyendo:

$$d = 3.02 \text{ m} - 2.12 \text{ m}$$

$$d = 0.9 \text{ m}$$

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Posterior al estudio y análisis de los cálculos correspondientes para el logro de los objetivos, se puede concluir que:

1. El área del proyecto se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical, según la clasificación climática de Holdridge. En el área de estudio se recibe una pluviosidad promedio sobre los 1000 mm anuales, con una temperatura media anual que oscila alrededor de los 27°C y evaporación promedio que supera los 2.200 mm por año. De acuerdo con esto, el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico, caracterizado por presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien definidos, con una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C.
2. Se delimitaron 20 parcelas dentro del urbanismo con coberturas del suelo de pavimento, infraestructuras y zonas verdes lo que permitió estimar un coeficiente de escorrentía ponderado para cada parcela que osciló entre 0.547 y 0.706. La intensidad de las lluvias estimada para el urbanismo es de 417 lps/ha, para un caudal total aportado por el urbanismo de 13.782 m³/s.
3. El trazado en planta de la rápida escalonada obedeció a un alineamiento de rumbo sur franco debido a la ubicación relativa entre el urbanismo y el río Tigre adyacente al urbanismo. La torrentera tendrá un desnivel de 5 m con un desplazamiento horizontal de 70 m. y recogerá la totalidad de las aguas drenadas por todas las parcelas del urbanismo.
4. La rápida escalonada tendrá un diseño de sección transversal rectangular con cobertura de concreto ($n=0.02$ y $R_{28} = 210 \text{ kg/cm}^2$) con una altura del escalón o

contrahuella (h) de 1.58 m, una distancia horizontal del escalón o huella (L_T) de 5.91 m, y altura de dentellones (d) de 0.9 m.

5. Asimismo, la rápida escalonada estará dotada de protecciones laterales externas de enrocado para defensa contra la erosión que pudiera producir las aguas de escorrentía no canalizadas que drenen adyacentes a la obra de drenaje sobre la superficie natural del talud.

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 la laguna de inundación del río Tigre entre el estiaje y las aguas altas.
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, Fidas. (1999). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. (pp.55)

Arias, Fidas. (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)

Bañon 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 BÁSICA Y APLICADA**. Grupo de Investigaciones en Transporte de Sedimentos. Colombia. (pp.70)

Beltran 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)

Cedeño y Guerra (2010). **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**, Trabajo de Grado

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).

CORPOCALDAS & INVIAS. (1998). **MANUAL PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN**, Manizales.

Díaz Rúa, A. (2021). **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL FLUJO EN UNA RÁPIDA ESCALONADA COMPARANDO LOS RESULTADOS DE UN MODELO FÍSICO CON UN MODELO NUMÉRICO EN OPENFOAM**. Trabajo de Grado, Alternativa trabajo de investigación Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá D.C.

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>]

Drainage Criteria Manual. (2004). <https://app.lincoln.ne.gov/city/ltu/watershed/dcm/pdf/chapter1.pdf>

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)

Falcón Díaz, D. (2015). **ESTUDIO COMPARATIVO DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL. APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO**. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Civil. Dep. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

Finol M, 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, C. y Polanco, A. (2006), **SANEAMIENTO HIDRÁULICO DEL SECTOR EL DESEPERO Y LÁGRIMAS VERDES DE LA POBLACIÓN DE CARRASQUERO, MUNICIPIO MARA, ESTADO ZULIA**. Trabajo de grado, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo. Pp 16 y 26.

Hernandez, 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 Estadística (2013) www.ine.gov.ve/documentos/see/sintesisestadistica2013/estados/Anzoátegui/

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (2014). 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>]

Instituto Nacional de Vías -INVIAS. (2009). **MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS**. Ministerio de Transporte. Bogotá.

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

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)

Peña-Colmenarez C. y Gordon E. (2019). **MORICHAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO TIGRE (ANZOÁTEGUI, VENEZUELA): AGUAS, SUELOS Y VEGETACIÓN**. Project: Composición de la vegetación en humedales venezolanos. Central University of Venezuela

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)

Ruben, R. (2009), **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL EN LA VIALIDAD RURAL DE SANTA LUCIA – JACOA, (FUNDO ZAMORANO) DEL MUNICIPIO BARINAS ESTADO BARINAS**. Trabajo Especial de Grado. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño Extensión Barinas.

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

Shosinsky, G. y Losilla, M (2000). **MODELO ANALÍTICO PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN CON BASE EN LA LLUVIA MENSUAL**. [Revista Geológica de América Central] 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. México. (pp.175)

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

Universidad Central de Venezuela (2022). **BOLETÍN LLUVIAS ESTACIÓN U.C.V. – DICIEMBRE 2022** <http://hidromet-ucv.org.ve/boletin-lluviasucv/>

USGS <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/>

APÉNDICES

APÉNDICE A
COEFICIENTES DE ESCORRENTÍAS DE PARCELAS Y
SECTORES

A.1 Coeficiente de escorrentía ponderado para lotes I al IV.

LOTE	Parcela	Tipo de Cobertura del Suelo	Area Parcial		Area Total de Parcela		Ce	Ce pond
			(m ²)	(ha)	(m ²)	(ha)		
I	In	Residencial	3900.00	0.390000	8280.00	0.828	0.60	0.722
		Pavimento	4380.00	0.438000			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	
	Ie	Residencial	3900.00	0.390000	8280.00	0.828	0.60	0.722
		Pavimento	4380.00	0.438000			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	
	Is	Residencial	1800.00	0.180000	6180.00	0.618	0.60	0.763
		Pavimento	4380.00	0.438000			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	
	Io	Residencial	3900.00	0.390000	8280.00	0.828	0.60	0.722
		Pavimento	4380.00	0.438000			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	
II	IIn	Residencial	5960.00	0.596000	15388.00	1.5388	0.60	0.547
		Pavimento	4693.00	0.469300			0.83	
		Àrea verde	4735.00	0.473500			0.20	
	IIe	Residencial	5960.00	0.596000	10653.00	1.0653	0.60	0.701
		Pavimento	4693.00	0.469300			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	
	IIs	Residencial	2000.00	0.200000	7509.75	0.750975	0.60	0.700
		Pavimento	4693.00	0.469300			0.83	
		Àrea verde	816.75	0.081675			0.20	
	IIo	Residencial	0.00	0.000000	6304.00	0.6304	0.60	0.669
		Pavimento	4693.00	0.469300			0.83	
		Àrea verde	1611.00	0.161100			0.20	
III	In	Residencial	2431.00	0.243100	11544.00	1.1544	0.60	0.524
		Pavimento	4393.00	0.439300			0.83	
		Àrea verde	4720.00	0.472000			0.20	
	Ie	Residencial	2431.00	0.243100	5024.00	0.5024	0.60	0.719
		Pavimento	2593.00	0.259300			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	
	Is	Residencial	2431.00	0.243100	5024.00	0.5024	0.60	0.719
		Pavimento	2593.00	0.259300			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	
	Io	Residencial	2431.00	0.243100	5024.00	0.5024	0.60	0.719
		Pavimento	2593.00	0.259300			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	
IV	IIn	Residencial	1864.00	0.186400	8074.00	0.8074	0.60	0.600
		Pavimento	3938.00	0.393800			0.83	
		Àrea verde	2272.00	0.227200			0.20	
	IIe	Residencial	1864.00	0.186400	6274.00	0.6274	0.60	0.534
		Pavimento	2138.00	0.213800			0.83	
		Àrea verde	2272.00	0.227200			0.20	
	IIs	Residencial	1864.00	0.186400	4002.00	0.4002	0.60	0.723
		Pavimento	2138.00	0.213800			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	
	IIo	Residencial	1864.00	0.186400	4002.00	0.4002	0.60	0.723
		Pavimento	2138.00	0.213800			0.83	
		Àrea verde	0.00	0.000000			0.20	

A.2 Coeficiente de escorrentía ponderado para lotes V al VIII .

Lote	Parcela	Tipo de Cobertura del Suelo	Area Parcial		Area Total de Parcela		Ce	Ce pond
			(m ²)	(ha)	(m ²)	(ha)		
V	VN	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
	VE	Residencial	2000.00	0.200000	6576.00	0.6576	0.60	0.652
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1126.00	0.112600			0.20	
	VS	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
	VO	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
VI	VIN	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
	VIE	Residencial	2000.00	0.200000	6576.00	0.6576	0.60	0.652
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1126.00	0.112600			0.20	
	VIS	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
	VIO	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
VII	VIIN	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
	VIIE	Residencial	2000.00	0.200000	6576.00	0.6576	0.60	0.652
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1126.00	0.112600			0.20	
	VIIS	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
	VIIO	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
VIII	VIIN	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
	VIIE	Residencial	2000.00	0.200000	6576.00	0.6576	0.60	0.652
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1126.00	0.112600			0.20	
	VIIS	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	
	VIIO	Residencial	2000.00	0.200000	4175.00	0.4175	0.60	0.641
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	525.00	0.052500			0.20	

A.3 Coeficiente de escorrentía ponderado para lotes IX al XII .

Parcela	Sector	Tipo de Cobertura del Suelo	Area Parcial		Area Total de Parcela		Ce	Ce pond
			(m ²)	(ha)	(m ²)	(ha)		
IX	IXN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	IXE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	IXS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	IXO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
X	XN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
XI	XIN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
XII	XIIN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIIE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIIS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIIO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	

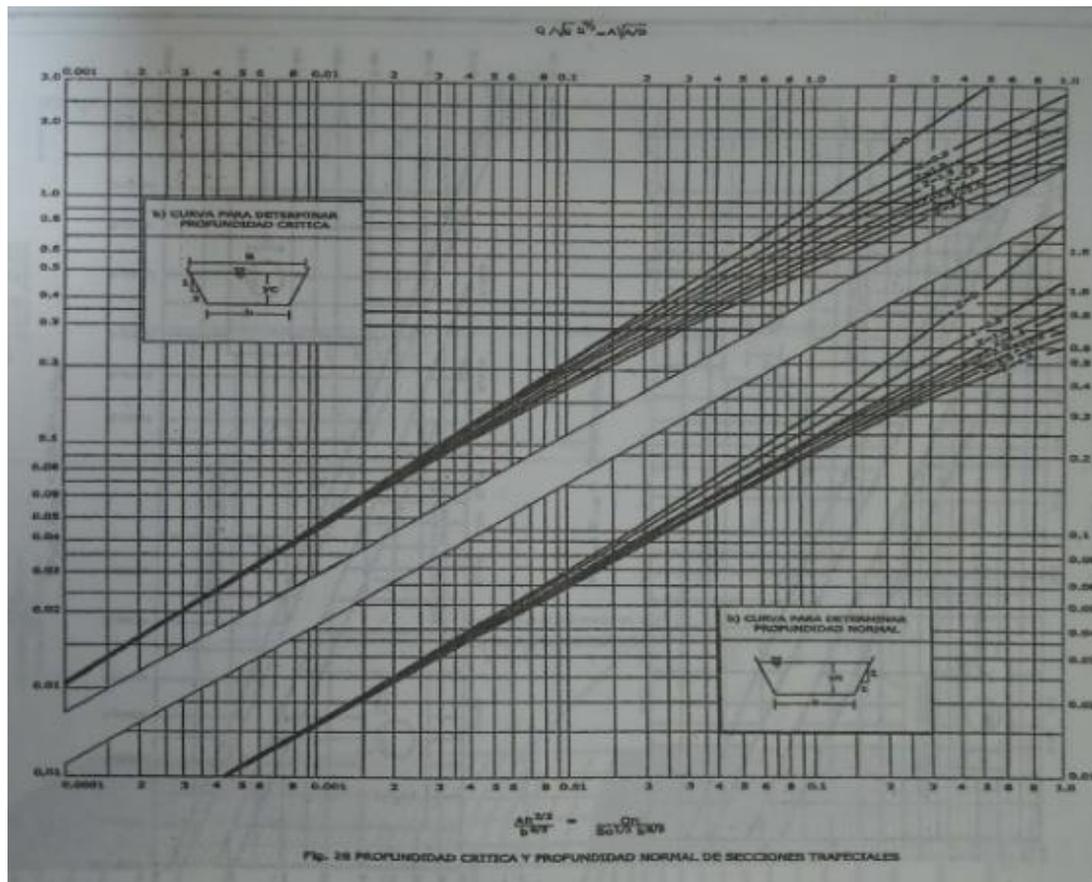
A.4 Coeficiente de escorrentía ponderado para lotes XIII al XVI.

Parcela	Sector	Tipo de Cobertura del Suelo	Area Parcial		Area Total de Parcela		Ce	Ce pond
			(m ²)	(ha)	(m ²)	(ha)		
XIII	XIIIN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIIIE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIIIS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIIIO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
XIV	XIVN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIVE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIVS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIVO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
XV	XVNI	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
XVI	XVIN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVIE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVIS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVIO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	

A.5 Coeficiente de escorrentía ponderado para lotes XVII al XX.

Parcela	Sector	Tipo de Cobertura del Suelo	Area Parcial		Area Total de Parcela		Ce	Ce pond
			(m ²)	(ha)	(m ²)	(ha)		
XVII	XVIIIN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVIIIE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVIIIS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVIIIO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
XVIII	XVIIIIIN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVIIIIIE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVIIIIIS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XVIIIIIO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
XIX	XIXIN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIXIE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIXIS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XIXIO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
XX	XXN	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XXE	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XXS	Residencial	3000.00	0.300000	7950.00	0.795	0.60	0.624
		Pavimento	3450.00	0.345000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	
	XXO	Residencial	3000.00	0.300000	6150.00	0.615	0.60	0.564
		Pavimento	1650.00	0.165000			0.83	
		Àrea verde	1500.00	0.150000			0.20	

APÉNDICE B
GRÁFICOS PARA CÁLCULO DE PROFUNDIDAD NORMAL Y
PROFUNDIDAD CRÍTICA DE CANALES



B.1 Estimación de profundidad normal y profundidad crítica en canales rectangulares y trapeciales (Camacho, 2004).

Título	ESTIMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FLUJO A TRAVES DE UNA RÁPIDA ESCALONADA PARA EL DRENAJE DE LAS AGUAS PLUVIALES DEL CONJUNTO RESIDENCIAL “LOS JABILLOS” EN LA POBLACIÓN DE EL TIGRE, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Natera Rivero, Roger José	CVLAC	27.351.914
	e-mail	rogerjosenaterarivero@gmail.com
	e-mail	
Rodríguez Jaramillo, Génesis Gabriela	CVLAC	28.111.700
	e-mail	genesisgrj@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Drenaje pluvial
Rápidas escalonadas
Urb Los Jabillos
Drenaje urbano
Precipitación

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Hidrología de superficie	Escorrentía pluvial
	Caudal de drenaje
	Intensidad de lluvia
Obras Hidráulicas	Drenaje urbano
	Diseño de rápidas escalonadas

Resumen (abstract):

Este estudio se está basado en las necesidades de drenaje de las aguas de lluvia del conjunto residencial “Los Jabillos” ubicada en la población de El Tigre. El objetivo principal de la investigación es proponer la ingeniería básica del sistema de descarga final basado en rápidas escalonadas de las aguas de escorrentía pluvial provenientes desde el conjunto residencial antes mencionado hasta el río Tigre. Para ello se aplicará una estrategia o diseño de campo y documental enmarcada dentro de esta investigación de tipo proyecto factible. Entre los objetivos específicos planteados se encuentra en primer lugar, la caracterización de la pluviosidad de la zona de estudio, la estimación de los caudales de diseño, la descripción de las condiciones del relieve de la zona de estudio, determinación de las condiciones del flujo drenado desde el urbanismo y finalmente, el diseño y alineamiento en planta y perfil longitudinal de la torrentera, así como también su sección transversal. Una vez realizadas estas actividades, se estimó el caudal de drenaje para el diseño de la torrentera el cual alcanzó un valor $13.782 \text{ m}^3/\text{s}$. El levantamiento topográfico de los taludes indicó un recorrido o distancia horizontal de 70 m con un ángulo de inclinación de 8° . El modelamiento del comportamiento de los flujos a través de los taludes mostró que se desarrollarían flujos de naturaleza supercríticos con un número de Froude de 4.5 aproximadamente y velocidad de 9.99 m/s en una rápida sin disipación de energía. Se diseñó una rápida escalonada según los criterios del MOP (1967) en Camacho (2004), con un ancho de base de 2.42 m, una altura de contrahuella de 1.58 m y una longitud horizontal o huella de 5.8 m, con dentellones de 0.9 m para toda la rápida escalonada.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Echeverría Díaz, Dafnis José	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	4.506.408
	e-mail	dafnisecheverria2807@gmail.com
	e-mail	
Monteverde S., Francisco R.	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	12.192.676
	e-mail	monteverdefr@gmail.com
	e-mail	
Echeverría Coa, Beatriz C.	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	21.013.748
	e-mail	beitacaro92@gmail.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2023	03	

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-().doc	Application/msword
Condiciones de flujo en una rápida escalonada en urb Los Jabillos, El Tigre, estado Anzoátegui, 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 Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela (Opcional)

Temporal: 2023 (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: Hidrología de superficie

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

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

Derechos:

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado

**“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,
quien lo participara al Consejo Universitario”**

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

Br. Roger José Natera Rivero
C.I. No 27.351.914
Autor

Br. Génesis Gabriela Rodríguez Jaramillo
C.I. No 28.111.700
Autor

Dafnis José Echeverría Díaz
C.I. No 4.506.408
Tutor