

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



ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PONDERADO Y LOS CAUDALES APORTADOS POR LAS SUBCUENCAS DEL CONJUNTO URBANÍSTICO S-1, EN LA POBLACIÓN DE SOLEDAD, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR LOS
BACHILLERES LIZARDI L.,
DANIEL E. Y RODRÍGUEZ N.,
MARIELYS A. PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL**

CIUDAD BOLÍVAR, NOVIEMBRE DE 2017



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, titulado: **“ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PONDERADO Y LOS CAUDALES APORTADOS POR LAS SUBCUENCAS DEL CONJUNTO URBANÍSTICO S-1, EN LA POBLACIÓN DE SOLEDAD, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.”** presentado por los bachilleres: **LIZARDI L., DANIEL E. y RODRÍGUEZ N., MARIELYS A.** Ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre y Apellido

Firmas

Profesor Dafnis J. Echeverría

(Asesor)

(Jurado)

(Jurado)

Prof. Pedro Gamboa
Jefe de Depto. de Ing. Civil

Prof. Francisco Monteverde
Director de Esc. de Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, Noviembre de 2017

DEDICATORIA

Principalmente a DIOS, por ser mi refugio en donde recorro en cada una de las circunstancias que suceden en mi vida, ya que él me enseña la forma de mantenerme en pie enfrentando las pruebas y luchas que acontecen en mi diario vivir pero al final sé que son propósitos para hacerme más fuerte, porque es de valiente mantenerse como un guerrero dispuesto a superar batallas, al final siempre el me da la victoria y es con una enseñanza. Siempre me recuerdo estas palabras que las tengo grabada en mi mente y en mi corazón y me han ayudado a aumentar más mi convicción, dice en su palabra en Josué 1:9 Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu DIOS estará contigo en dondequiera que vayas. En Hebreos 11:1 Es, pues, la FE, la certeza de lo que se espera, y la convicción de lo que no se ve. A raíz de todo vivo por lo que no se ve con un corazón siempre dispuesto a aprender y a esperar las respuestas en mi DIOS de lo que tiene para mi futuro estoy segura que son de bienestar porque él es un DIOS Perfecto y ama a sus hijos que le obedecen su palabra, lo honran y lo buscan de todo corazón.

A mis papis y a mi tía, pero en especial a la mujer que más amo a mami es un ser humano tan maravilloso, humilde tan llena del AMOR de DIOS es muy fácil para ella reflejarlo en su vida..

Daniel Lizardi L.

DEDICATORIA

Principalmente a DIOS, por ser mi refugio en donde recurro en cada una de las circunstancias que suceden en mi vida, ya que él me enseña la forma de mantenerme en pie enfrentando las pruebas y luchas que acontecen en mi diario vivir pero al final sé que son propósitos para hacerme más fuerte, porque es de valiente mantenerse como un guerrero dispuesto a superar batallas, al final siempre el me da la victoria y es con una enseñanza. Siempre me recuerdo estas palabras que las tengo grabada en mi mente y en mi corazón y me han ayudado a aumentar más mi convicción, dice en su palabra en Josué 1:9 Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu DIOS estará contigo en dondequiera que vayas. En Hebreos 11:1 Es, pues, la FE, la certeza de lo que se espera, y la convicción de lo que no se ve. A raíz de todo vivo por lo que no se ve con un corazón siempre dispuesto a aprender y a esperar las respuestas en mi DIOS de lo que tiene para mi futuro estoy segura que son de bienestar porque él es un DIOS Perfecto y ama a sus hijos que le obedecen su palabra, lo honran y lo buscan de todo corazón.

A mis papis y a mi tía, pero en especial a la mujer que más amo a mami es un ser humano tan maravilloso, humilde tan llena del AMOR de DIOS es muy fácil para ella reflejarlo en su vida. Este triunfo en parte especial es para ti porque sé que luchaste muchos momentos a mi lado nos costó lágrimas para las respuestas de nuestro Padre Celestial, pero al final aquí está mi linda aquí está tu Maye Rodríguez dispuesta ahora a darte lo que te mereces ahora viene tu cosecha de lo que sembraste en el nombre de mi hermoso JESUS que lo amo súper.

Marielys Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Hoy, cuando se ha cumplido una etapa importante en mi vida y abriendo campo hacia lo laboral para emprender todos mis conocimientos adquiridos en previa carrera, le agradezco a DIOS por ser mi guía, por ser el empuje y sostén de seguir adelante y llegar hasta el final porque todo lo que inicia tiene que terminar para lograr el objetivo. Y dándole gracias por poner a personas en mi camino para bendecir este transitar de esfuerzo, dedicación, luchas, lágrimas pero al final todo esfuerzo tiene su recompensa y la recompensa la victoria.

Agradezco a mis papis a mis dos tías, pero en especial a mi mami hermosa Migdalia de Rodríguez por ser siempre una madre atenta, sus oraciones que fluyeron en el momento indicado soy doblemente feliz por tener el privilegio de ser su hija porque así estaba predestinado antes de la creación del mundo.

Gracias por las amistades que compartimos en este largo tiempo quedaron sembradas en mi corazón, a Marielys Rodríguez por compartir este logro y por ser muy paciente conmigo. A mi profesor Dafnis Echeverría gracias por estar siempre dispuesto a ayudar y a tratar con mucha amabilidad a todos, eres un amor. Y a todos los profesores que con constancia colaboraron con su tiempo para mí dicha formación.

Y no puede quedarse sin nombrar a la casa más Alta mi UNIVERSIDAD DE ORIENTE, a pesar de las dificultades forma a profesionales para un desempeño apto.

Daniel Lizardi

AGRADECIMIENTOS

Hoy, cuando se ha cumplido una etapa importante en mi vida y abriendo campo hacia lo laboral para emprender todos mis conocimientos adquiridos en previa carrera, le agradezco a DIOS por ser mi guía, por ser el empuje y sostén de seguir adelante y llegar hasta el final porque todo lo que inicia tiene que terminar para lograr el objetivo. Y dándole gracias a él por poner a personas en mi camino para bendecir este transitar de esfuerzo, dedicación, luchas, lágrimas pero al final todo esfuerzo tiene su recompensa y la recompensa la victoria.

Agradezco a mis papis a mis dos tías, pero en especial a mi mami hermosa Migdalia de Rodríguez por ser siempre una madre atenta, sus oraciones que fluyeron en el momento indicado soy doblemente feliz por tener el privilegio de ser su hija porque así estaba predestinado antes de la creación del mundo.

Gracias por las amistades que compartimos en este largo tiempo quedaron sembradas en mi corazón, a Daniel Lizardi por compartir este logro y por ser muy paciente conmigo. A mi profesor Dafnis Echeverría gracias por estar siempre dispuesto a ayudar y a tratar con mucha amabilidad a todos, eres un amor. Y a todos los profesores que con constancia colaboraron con su tiempo para mí dicha formación.

Y no puede quedarse sin nombrar a la casa más Alta mi UNIVERSIDAD DE ORIENTE, a pesar de las dificultades forma a profesionales para un desempeño apto.

Marielys Rodríguez

RESUMEN

El presente se ejecutó como preámbulo al diseño de la ingeniería básica y de detalle del conjunto urbanístico S-1 ubicado en la población de Soledad, en el municipio Independencia, estado Anzoátegui. En ese sentido, es necesario acotar que esta población requiere del diseño idóneo de sistemas de drenaje en todos los nuevos desarrollos urbanísticos que se desarrollarán en el futuro mediano lo cual implica contar con un estudio integral del comportamiento de la pluviosidad y de la escorrentía superficial de las subcuencas urbanas que integran la población de Soledad. Este trabajo se enmarca en un tipo de investigación descriptiva en la cual se aplicará una estrategia de campo y documental. En primer lugar, se efectuó un reconocimiento de la zona para validar la revisión previa de las cuencas y subcuencas existentes en el área de estudio efectuadas en las cartas y mapas de la zona. Asimismo, se tomó nota de las condiciones del relieve, de la hidrografía, de los suelos, de la geología aflorante y de la flora y fauna predominante. Posteriormente, se recabó, a partir de las bases de datos hidrometeorológicas administradas por el INAMEH, los registros de todos los parámetros climáticos de las estaciones cercanas al área de estudio, con especial énfasis en la información pluviométrica. Se utilizaron las curvas IDF construidas para la zona por la CVG-Tecmin C.A. con los registros de la estación Ciudad Bolívar. Por otra parte, se efectuará la delimitación de las cuencas urbanas la determinación de algunos de sus parámetros morfométricos tal como el área y el tiempo de concentración. Seguidamente se determinará el coeficiente de escorrentía ponderado y la determinación del caudal de escorrentía superficial que aportarán dichas subcuencas y en qué medida dichas aguas pudieran afectar las obras civiles de drenaje urbano. De la aplicación antes descrita se produjeron como resultados relevantes que en primer lugar el clima de la zona según Holdridge es Bosque seco tropical (Bst) y según Koppen se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmica (Awgi). El área de estudio drena las aguas pluviales en dos (2) cuencas y subcuencas. La pluviosidad de la zona alcanza unos 1000 mm anuales. El coeficiente de escorrentía ponderado para el área de estudio se estimó en 0.7. La magnitud del caudal de las escorrentías aportadas por las subcuencas calculado por el método racional arrojó valores de 3.4 y 4.2 m³/s.

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vii
CONTENIDO	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivos específicos	6
1.3 Justificación de la investigación	7
1.4 Alcance de la investigación	8
CAPÍTULO II. GENERALIDADES	9
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	9
2.2 Vegetación típica de la región	10
2.3 Geología local	11
2.3.1 Formación Mesa (Qp)	11
2.4 Geomorfología del área de estudio	12
2.5 Suelos del área de estudio	14
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	16
3.2. Bases teóricas	17
3.2.1 Hidrología urbana	17
3.2.2 Sistemas de drenaje	17
3.2.3 Acciones del sistema de drenaje urbano	18
3.2.4 Objetivos de un sistema de drenaje	18
3.2.5 Tipos de Drenaje	19
3.2.6 Variables hidrometeorológicas	20
3.2.7 Canales Abiertos	25

3.2.8 Tipos de canales abiertos	26
3.2.9 Tipos de flujo en canales	28
3.2.10 Estados del flujo	29
3.2.11 Distribución de velocidades en canales	31
3.2.12 Geometría de canal	32
3.2.13 Elementos geométricos de una sección de canal	33
3.2.14 Ecuaciones fundamentales que rigen el flujo de un canal	35
3.2.15 Energía específica en un canal.....	37
3.2.16 Estimación de gastos máximos. Método Racional	41
3.2.17 Tiempo de concentración.....	44
3.2.18 Coeficiente de escurrimiento	47
3.2.19 Curvas Intensidad, duración y frecuencia.....	50
3.2.20 Área de captación y cuenca de drenaje.....	52
3.2.21 Determinación de la capacidad hidráulica de una vía	53
3.3 Definición de términos básicos	54

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación	60
4.2 Diseño de investigación.....	60
4.2.1 Investigación de campo	60
4.2.2 Investigación documental	61
4.3 Población y muestra de la investigación	61
4.3.1 Población de la investigación	61
4.3.2 Muestra de la investigación	62
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	62
4.4.1 Técnicas para la recolección de datos.....	62
4.4.2 Instrumentos para la recolección de datos	63
4.5 Flujograma de la investigación.....	64
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos	64
4.6.1 Recopilación de la información bibliográfica.....	64
4.6.4 Coeficiente de escurrimiento ponderado para las subcuencas	65
4.6.5 Estimación de los caudales aportados por las subcuencas urbanas	65

CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Características climáticas generales de la zona de estudio.....	66
5.1.1 Precipitación	66
5.1.2 Temperatura.....	68
5.1.3. Insolación.....	69

5.1.4 Humedad Relativa	70
5.1.5 Vientos..	71
5.2 Identificación de las cuencas y subcuencas urbanas	72
5.4 Caudales de escorrentía aportados por las subcuencas	77
5.4.1 Determinación del período de retorno	77
5.4.2 Tiempo de concentración de la cuenca y subcuencas.....	77
5.4.3 Determinación de la intensidad de lluvia.....	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
Conclusiones	81
Recomendaciones.....	82
REFERENCIAS	83

LISTA DE FIGURAS

Página	
2.1	Ubicación relativa nacional del área de estudio..... 9
2.2	Ubicación relativa local del área de estudio..... 10
2.3	Aspecto de la vegetación..... 11
2.4	Paisaje de altiplanicie de Mesa..... 12
2.5	Corriente superficial permanente en el área de estudio..... 12
2.6	Suelos del área de estudio..... 15
3.1	Abaco para estimación del tiempo de concentración en cuencas rurales..... 46
4.1	Flujograma de la investigación..... 63
5.1	Distribución anual de la precipitación..... 66
5.2	Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima..... 68
5.3	Variación anual de la insolación..... 69
5.4	Variación anual de la humedad relativa..... 70
5.5	Variación anual de la velocidad del viento..... 71
5.6	Área de la cuenca..... 71
5.7	Área de la subcuenca 1..... 72
5.8	Área de la subcuenca 2..... 72
5.9	Área de los ramales secundarios..... 73

LISTA DE TABLAS

	Página	
2.1	Coordenadas de ubicación del área de estudio.....	10
3.1	Velocidad de escurrimiento de laderas.....	45
3.2	Coeficiente de escurrimiento.....	48
3.3	Coeficiente de escurrimiento de acuerdo a zonificación del uso del suelo.....	49
3.4	Factores de incremento de C.....	50
5.1	Características de la estación climatológica usada.....	65
5.2	Precipitación media mensual y anual.....	66
5.3	Temperatura máxima, media y mínima.....	67
5.4	Insolación media mensual y anual.....	68
5.5	Humedad relativa media mensual.....	69
5.6	Velocidad del viento media mensual y anual.....	70
5.7	Área total de la cuenca.....	72
5.8	Área total de las subcuencas.....	73
5.9	Área total de los ramales secundarios.....	74
5.10	Coeficiente de escurrimiento.....	75
5.11	Tiempo de concentración para la cuenca.....	77
5.12	Tiempo de concentración para las subcuencas.....	77
5.13	Intensidad de lluvia.....	78
5.14	Intensidad de lluvia.....	78
5.15	Intensidad de lluvia de las subcuencas.....	78
5.16	Intensidad de lluvia de los ramales.....	79
5.17	Caudal de la cuenca.....	79
5.18	Caudales de las subcuencas.....	79
5.19	Caudales de los ramales.....	80

INTRODUCCIÓN

En la actual investigación se ha planteado como objetivo principal analizar el comportamiento pluviométrico y las características de la escorrentía de las cuencas urbanas que inciden en las condiciones del drenaje del área ocupada por la población de Soledad en el estado Anzoátegui. Entre los propósitos del análisis estará la delimitación de las subcuencas de drenaje, su coeficiente de escorrentía ponderado y los caudales que drenarán estas subcuencas lo cual es de vital importancia para diseñar los futuros sistemas de drenaje de aguas pluviales cónsonos con las realidades climáticas y las características volumétricas de los escurrimientos de aguas pluviales que se desarrollarían en las cuencas del área de estudio que incidirían en las condiciones de drenaje de la citada población.

Por otra parte, la caracterización morfométrica de las subcuencas permitirá cuantificar los caudales de escorrentía que drenarán sobre la población en cuestión.

El desarrollo de esta investigación presentado en este documento se estructura en cinco (5) capítulos, de la siguiente manera:

El Capítulo I. Situación a investigar: está conformado por el planteamiento del problema, objetivos, justificación, alcance y limitaciones 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 trabajo: 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 e interpretación de los resultados: se presentan los resultados de la investigación.

Conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

En las ciudades casi el 50 % de la población mundial vive en zonas urbanas, habiéndose incrementado más del 80% en los últimos 20 años.

El crecimiento de las ciudades exige notables inversiones en infraestructuras, siendo la mayoría de ellas utilizadas diariamente por el ciudadano. Este es el caso de las vías de comunicación, zonas verdes, centros hospitalarios, redes para suministro de fluidos, etc. No obstante, el uso de esas infraestructuras y el normal desarrollo de la actividad ciudadana están en ciertos momentos, condicionados por el correcto funcionamiento de otra infraestructura: la red de drenaje de aguas pluviales.

Las acciones que se desarrollan para enfrentar los problemas de drenaje de las aguas lluvias en los sectores urbanos requieren una gran coherencia y continuidad debida a la intervención de múltiples agentes y a la interacción que presentan las acciones que se pueden plantear. El propio escurrimiento de las aguas sobre la superficie urbana hace que en cada sector se sufran las consecuencias de lo que ocurre aguas arriba, y genere a su vez obligaciones y efectos hacia aguas abajo. Parece importante entonces establecer ciertas normas mínimas para compatibilizar los diferentes desarrollos dentro de un esquema general coherente.

Un plan de gestión de aguas de lluvias en sectores urbanos debieran considerar los siguientes aspectos básicos:

La definición de un sistema de drenaje general que considere los cauces naturales y la forma en que ellos se incorporan en la urbanización así como la materialización de un

sistema de drenaje artificial, o de colectores de aguas lluvias urbanos que complemente la red natural.

Entre los problemas que genera la urbanización en relación a las aguas lluvias se destacan el incremento del volumen de escorrentía y el aumento de los caudales máximos a evacuar debido a la impermeabilización del suelo. La solución tradicional basada exclusivamente en redes de colectores de aguas lluvias incrementa ambos fenómenos. Además, debido a que los colectores deben proporcionar un estándar de protección adecuado, su diseño es tal que su funcionamiento a plena capacidad en condiciones de diseño es eventual, encareciendo la solución de los problemas generados por las aguas lluvias en las zonas urbanas. En casos en que las áreas urbanas se expanden hacia aguas arriba de los sectores que ya cuentan con un sistema de drenaje, estos van quedando obsoletos o son incapaces de operar con los mayores caudales que se generan en las nuevas zonas impermeabilizadas por la expansión de la urbanización. Así hoy en día se admite que la reducción de los volúmenes necesarios a evacuar por las redes de drenaje y su redistribución temporal presenta numerosas ventajas.

El problema de las aguas de lluvias en zonas urbanas tradicionalmente se ha enfrentado de manera de drenar y evacuar rápidamente los posibles excesos conduciéndolos mediante redes de colectores hacia el cauce natural más cercano. Recientemente se han planteado algunas observaciones ambientales a este esquema debido a los impactos que esta práctica produce en el sistema natural de drenaje hacia aguas abajo de los lugares de descarga, fundamentalmente en relación al incremento de los riesgos de inundación y el aumento de erosión y sedimentación en los cauces. Adicionalmente también se cuestiona que el enfoque tradicional afecta el balance hídrico natural, causa efectos de choque por la descarga concentrada de contaminantes, o contribuye al mal funcionamiento de unidades de tratamiento en el caso de sistemas que reciben flujos contaminados de aguas servidas y aguas lluvias. En respuesta a estos problemas algunas comunidades han propuesto un tratamiento distinto basado en la disposición local, más cerca de las fuentes de las aguas lluvias. Eso se logra infiltrando

total o parcialmente las aguas lluvias, o almacenándolas para evacuarlas con posterioridad a las tormentas de manera de disminuir el volumen y los gastos máximos durante las tormentas. En el ambiente técnico este esquema se conoce como de control en la fuente.

No deja de reconocerse que aun con la mayor información disponible, la magnitud del caudal de diseño en un determinado sitio y momento puede ser superado por un suceso inesperado, ya que la estimación de la intensidad, duración y frecuencia de una lluvia, es un factor medido en términos de probabilidad de ocurrencia, medida sobre estadísticas de registros pluviométricos de la región, tomando en cuenta además, la importancia de cada sector, los posibles daños que genere y el costo de las obras necesarias para ello.

Actualmente en la población de Soledad, en el municipio independencia del estado Anzoátegui se construirá un desarrollo urbanístico que no tiene previsto un adecuado sistema de drenaje, esta situación ha motivado llevar a cabo un trabajo de grado cuyo objetivo principal esté enfocado en el diseño preliminar del sistema de drenaje que recogerá las aguas pluviales.

En el sur del estado Anzoátegui, se encuentra la población de Soledad la cual será objeto de desarrollos urbanísticos que requerirán estimaciones de drenaje acordes a los caudales de lluvia que escurrirán. En vista de ello, cabe plantearse las siguientes interrogantes de investigación:

Ante las situaciones antes mencionadas surgen las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son las características pluviométricas en el área de estudio que podrían afectar directa o indirectamente el proyecto?

¿Cuál es el límite de las cuencas y subcuencas urbanas que drenarán en la zona urbana de la población de Soledad?

¿Cuál es el coeficiente de escurrimiento que corresponde a la zona de captación del área en estudio?

¿Cuál será la magnitud del caudal de esorrentía de aguas pluviales que aportaría la cuenca y sub cuencas presentes en la zona?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Estimar el coeficiente de escurrimiento ponderado y los caudales aportados por las subcuencas del conjunto urbanístico S-1, en la población de Soledad, municipio Independencia, estado Anzoátegui, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Describir las características pluviométricas que incidirán en el dimensionamiento del sistema de drenaje del área en estudio.
2. Delimitar las cuencas y sub cuencas que aportarán aguas de esorrentía al sistema de drenaje del área en estudio.
3. Calcular el coeficiente de escurrimiento de la cuenca y subcuencas de drenaje del área en estudio.

4. Determinar el caudal de drenaje de las subcuencas urbanas que permitirá estimar la captación del sistema de drenaje como parámetro básico para su dimensionamiento futuro.

1.3 Justificación de la investigación

Como se ha descrito en el planteamiento del problema, existe la necesidad de proponer un sistema de drenaje para aguas de lluvia en el urbanismo en estudio.

Entre las ventajas que se aprecian en la utilización de medidas alternativas y complementarias destinadas a abordar el problema de las aguas lluvias en el mismo sector en que ellas se producen se pueden mencionar las siguientes:

1. Al mantenerse los caudales máximos y los volúmenes de crecidas de aguas lluvias una vez urbanizados los nuevos sectores en valores similares a los que existen previos a la urbanización, se conservan operativas las redes de colectores hacia aguas abajo, no se incrementan los efectos de las crecidas y se facilita la aplicabilidad de planes maestros.
2. La amortiguación de los caudales de punta limita el efecto de impacto ambiental sobre los cuerpos receptores, reduciendo el impacto de crecidas, inundaciones y altas velocidades en los cauces naturales de drenaje.
3. La amortiguación de caudales máximos permitirá la utilización de colectores de menor diámetro, o el diseño con capacidades menos exigidas para el transporte de materiales en suspensión, lo que redundará en una obvia disminución de costos.

4. La regulación de los caudales cerca de sus lugares de origen permite reducir los elementos de regulación en las redes mismas o en los cuerpos receptores.
5. Se mejora el control sobre los elementos articulados en las redes de drenaje. Esto es especialmente importante en zonas urbanas con pendientes pronunciadas.
6. Se contribuye a la recarga de napas subterráneas aumentando los volúmenes almacenados de recursos hídricos y su disponibilidad en acuíferos de zonas urbanas.
7. Ofrecen la oportunidad de disponer de espacios públicos y su aprovechamiento con fines de recreación y esparcimiento.

1.4 Alcance de la investigación

Esta propuesta tiene por objeto definir las condiciones que deben ser tenidas en cuenta para el diseño de redes de canales superficiales colectores que componen un sistema de drenaje para la recolección y evacuación de aguas pluviales, y disponiéndolas hasta un receptor de descarga natural o río con la finalidad de evitar daños y molestias a la comunidad involucrada.

Debe establecerse la posibilidad de aprovechar total o parcialmente elementos del sistema de recolección y evacuación existente.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El área de interés para la realización del Estudio Hidrológico es Soledad, capital del municipio Independencia, ubicado en la zona suroriental del estado Anzoátegui, en la margen izquierda del río Orinoco frente a Ciudad Bolívar. Comprende una superficie de 1675,00 ha.

El acceso al área es a través de la carretera Troncal 16, en sentido El Tigre-Ciudad Bolívar, cruzando hacia la izquierda poco antes de llegar al Puente Angostura. También se llega desde el este a través de la carretera que viene desde la población de Palital.

En la tabla 2.1, se presentan las coordenadas del área de estudio y en las figuras 2.1 y 2.2 se muestran las ubicaciones relativas respectivas.



Figura 2.1. Ubicación Relativa nacional del área de estudio.



Figura 2.2. Ubicación Relativa local del área de estudio.

Tabla 2.1. Coordenadas de ubicación del área de estudio.
Datum REGVEN Huso 20.

CENTRO POBLADO	ÁREA (ha)	COORDENADA	
		NORTE	ESTE
Soledad	1675	905236	440171
		901282	436767

2.2 Vegetación típica de la región

En términos generales, en los suelos de mesa existe una vegetación de sabanas, muy alteradas por la acción del fuego, donde el componente leñoso lo conforma las especies: *Curatella americana* (Chaparro), *Bowdichia virgiloides* y *Byrsonima crassifolia*, de hasta 10 m de altura, respecto al componente herbáceo, este se encuentra dominado por, *Trahyogon vestitus*, *Axonopus purpusii* y *Galactia jussiaeana*. y *Croton ramnifolius*. (Figura 2.3)



Figura2.3 Aspecto de la vegetación en el área de estudio.

2.3 Geología local

El área de Soledad está cubierta mayormente por sedimentos de la Formación Mesa y en menor proporción afloran remanentes del Complejo Igneo metamórfico de Imataca.

Hacia el sur, en la planicie de desborde del Río Orinoco, existen depósitos de sedimentos recientes, originados a raíz de los procesos fluviales de dicho río.

2.3.1. Formación Mesa (Qp)

En el área de estudio o directa del proyecto se puede observar la presencia del cuadro textural de los afloramientos de la formación se compone básicamente por arenas de grano grueso y gravas con cemento ferruginoso, arenas de color blanco, amarillo y rojo, con estratificación cruzada, lentes discontinuas de arcilla con arenas finas, limos y grava. Descritas para la formación mesa en código estratigráfico de Venezuela de 1997.

2.4 Geomorfología del área de estudio

Fisiográficamente, el área de estudio está conformada por un tipo de paisaje bien diferenciado como es la Altiplanicie de Mesa, bien drenada, cuyo tipo de relieve es mesa y vegas de entalle, la forma del terreno varía entre plano a suavemente inclinado. La pendiente de esta unidad geomorfológica está entre 2% y 4% (Fotos 1 y 2). Geológicamente este paisaje está desarrollada y evolucionada sobre materiales aluviales antiguos de la Formación Mesa (Plio-Pleistoceno), que suprayace en contacto concordante sobre rocas graníticas del Complejo de Imataca.



Figura 2.4 Paisaje de Altiplanicie de Mesa y Vega en el área de estudio.



Figura 2.5 Corriente superficial permanente en el área de estudio.

Estas mesas representan geoformas con un perfil topográfico plano a suavemente inclinada, de configuración masiva, con una pendiente promedio en el orden de 2% - 4%, pudiendo en algunos casos tener un límite superior de inclinación cercano al 8% a 10%, en el reborde de mesa limítrofe con los valles del Río Orinoco. La mayoría de la Altiplanicie de Mesa posee un carácter depositacional, la cual se manifiesta con la presencia de características que dependen de los procesos sobre el que se depositó un manto superficial de sedimentos aluviales.

En términos generales, puede afirmarse que los procesos erosivos son de tipo escurrimiento difuso a laminar, de intensidad baja a ligera y de modalidad generalizada. Presenta un balance morfodinámico casi estable, ya que constituye un medio con muy pocos o sin problemas de erosión. No obstante durante los períodos de lluvia en zonas desprovistas de vegetación los procesos erosivos son moderados a severo.

El área de estudio presenta un potencial morfodinámico que varía entre baja, a ligera, esta clase de potencial corresponde a la superficie plano- suavemente inclinado, debido a que los factores de precipitación, cobertura vegetal y pendiente no favorecen los procesos erosivos severos.

Puede decirse que la cantidad de lluvia es relativamente baja, la vegetación es sabana gramínea arbustiva y potreros, con pendiente entre 2% a 4%. Por lo que se concluye que la erosión es de tipo escurrimiento difuso a laminar, de intensidad ligera y de modalidad generalizada.

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

2.5 Suelos del área de estudio

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

Estos suelos exhiben un avanzado desarrollo pedogenético (Foto 3), 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). Los mismos se caracterizan por ser de origen depositacional, formados a partir de sedimentos provenientes de la Formación Mesa.

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

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



Figura 2.6. Suelos del área de estudio.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

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

. Benitez y Seijas, (2.013), en su trabajo de grado titulado: “**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LA CALLE VICTORIA A LA ALTURA DEL BARRIO LIBERTAD, DE LA PARROQUIA AGUA SALADA, MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR**” plantean como objetivo principal: “Formular una propuesta de un sistema de recolección de aguas pluviales en la calle Victoria del Barrio Libertad parroquia Agua Salada Ciudad Bolívar-Estado Bolívar”, buscando una posible solución a la problemática de inundaciones en zonas urbanas que suelen producirse en épocas de lluvia principalmente en los sectores marginados, como barrios y específicamente como lo es en el Barrio Libertad. Según Benitez y Seijas, que debido a una mala. (p. 5)

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

Blanco Gladys y De Brito Roger, (2009), en su tesis de grado titulada **DISEÑO DE PROGRAMA COMPUTARIZADO PARA EL ESTUDIO DE CANALES ABIERTOS. UNIVERSIDAD DE ORIENTE. CIUDAD BOLÍVAR. VENEZUELA**, evaluaron y diseñaron un programa para la construcción de canales abierto por el método de tablas. Siguieron un tipo de investigación proyectiva y un

diseño de tipo aplicada, debido a que la creación del programa constituye una solución al problema planteado y da respuesta a sus objetivos. Como conclusión resultaron cuarenta y cuatro algoritmos que varían según el procedimiento de cálculos, ya sea para canales revestidos, para canales revestidos con cobertura vegetal, y para canales no revestidos, utilizaron un lenguaje de programación llamado Microsoft Visual Basic y un manejador de base de datos conocido como Microsoft Access; ambos permiten una gestión eficiente y rápida de los datos. Cabe destacar que utilizaron un ejemplo físico, tomando el canal revestido de la urbanización Vista Hermosa para verificar la eficiencia del programa. (p.4)

Este trabajo es relevante para el presente por el tipo de investigación que presenta la metodología en el desarrollo del proyecto.

3.2. Bases teóricas

3.2.1 Hidrología urbana

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

3.2.2 Sistemas de drenaje

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

Dentro del término “aguas pluviales” quedan comprendidas no solamente las aguas originadas por las precipitaciones que caen directamente sobre las áreas urbanizadas que conforman la población, sino también aquellas que provienen de otros sectores y discurren a través de la ciudad, bien sea por cauces naturales, conductos artificiales o simplemente a lo largo de su superficie.

3.2.3 Acciones del sistema de drenaje urbano

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

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

3.2.4 Objetivos de un sistema de drenaje

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

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

3.2.5 Tipos de Drenaje

3.2.5.1 Drenaje superficial

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

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.

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.

3.2.6 Variables hidrometeorológicas

3.2.6.1 Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Generalmente se mide en m^3/s , y es directamente influenciado por:

- a. La precipitación sobre la cuenca.
- b. Las características geológicas, edafológicas y topográficas de la cuenca.
- c. La cobertura vegetal.

3.2.6.2 Evaporación

Se define como el proceso mediante el cual se convierte el agua líquida en un estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible. También se requiere que la humedad de la atmósfera sea menor que la superficie de evaporación (a 100% de humedad relativa no hay evaporación).

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

- a. El viento.
- b. La temperatura del agua y del aire.
- c. La humedad del aire.

3.2.6.3 Evapotranspiración

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

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

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.

3.2.6.5 Humedad.

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

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

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

3.2.6.6 Temperatura

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

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

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

3.2.6.7 Radiación solar

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

3.2.6.8 Viento

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

3.2.6.9 Presión Atmosférica

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

3.2.6.10 Transpiración

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

3.2.6.11 Nubes

Una nube es un hidrometeoro que consiste en una masa visible formada por cristales de nieve o gotas de aguamicroscópicas suspendidas en la atmósfera. Las nubes dispersan toda la luz visible y por eso se ven blancas. Sin embargo, a veces son demasiado gruesas o densas como para que la luz las atraviese, cuando esto ocurre la coloración se torna gris o incluso negra.

3.2.6.12 Neblina

La neblina es un fenómeno meteorológico, concretamente un hidrometeoro, que consiste en la suspensión de muy pequeñas gotas de agua en la atmósfera, de un

tamaño entre 50 y 200 micrómetros de diámetro, o de partículas higroscópicas húmedas, que reducen la visibilidad horizontal a una distancia de un kilómetro o más. Ocurre naturalmente como parte del tiempo o de la actividad volcánica. Es común en atmósfera fría debajo de aire templado.

3.2.6.13 Interceptación

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

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

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.

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 acequias de drenaje. En este caso, se van a desarrollar los tipos de canales abiertos artificiales, dentro de la amplia categoría los canales abiertos tienen la siguiente subdivisión:

3.2.8.1 Prismáticos

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

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.

3.2.8.3 Medidor de régimen crítico

En la práctica el término medidor de régimen crítico se refiere a un canal construido sobre la superficie del terreno para conducir un flujo a través de una depresión.

Estos medidores usualmente se construyen de madera, metal, mampostería o concreto. El término medidor de régimen crítico es también aplicado a canales construidos en el laboratorio para estudios básicos y de aplicación.

3.2.8.4 Caída y disipadores

Una caída es un canal de pendiente fuerte. Un canal disipador también tiene una pendiente fuerte pero mucho menor que una caída.

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.

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.

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.

3.2.9.3 Flujo Uniforme

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

3.2.9.4 Flujo gradualmente variado

Es cuando la profundidad de flujo cambia a través de la longitud del canal. Este puede ser permanente o no permanente. Se clasifica en rápidamente variado o gradualmente variado, dependiendo de la profundidad del agua.

3.2.9.5 Flujo subcrítico o flujo lento

Es el nivel efectivo del agua en una determinada sección.

3.2.9.6 Flujo Crítico

Cuando la velocidad es igual que la raíz cuadrada de la gravedad por la profundidad.

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.

3.2.10 Estados del flujo

El estado o comportamiento del flujo en un canalabierto 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.

- a. 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.
- b. 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.

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.

3.2.12 Geometría de canal

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

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

Secciones geométricas cerradas diferentes del círculo se utilizan con frecuencia en alcantarillados de aguas negras, de manera particular para alcantarillas suficientemente grandes que permiten la entrada de un hombre. Estas secciones reciben diferentes nombres de acuerdo con su forma; pueden ser en forma de huevo, ovoides, semielípticas, en forma de U, catenaria, herradura, manija de canasto, etc. Los rectángulos y cuadrados completos, también son comunes en alcantarillados grandes. Las dimensiones y propiedades de secciones de alcantarillas se encuentran en textos sobre alcantarillados.

Una sección geométrica especial, conocida como lintearia, es la forma de la sección transversal de un canal compuesto por hojas flexibles que se suponen de peso insignificante, lleno con agua hasta la parte superior de la sección y firmemente

soportado en los extremos superiores de los lados pero sin efecto de fijación. La catenaria hidrostática ha sido utilizada para diseño de algunas canaletas elevadas de irrigación. Estas canaletas se construyen utilizando laminas metálicas tan delgadas, que su peso es insignificante, las cuales se unen firmemente a vigas en los extremos superiores.

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.

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:

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

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

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

Dónde:

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

La velocidad promedio espacialmente es dada por:

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

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

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

Los parámetros estadísticos de interés son:

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

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

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

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

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

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

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:

Dónde:

a_s : Aceleración de la partícula del fluido a lo largo de la línea de corriente.

Simplificando esta ecuación tenemos:

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

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 (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).

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.

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

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

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

Dónde:

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

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

Dónde:

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

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

Dónde:

Q: Gasto total.

dA: Un incremento de área.

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

3.2.16 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 m³/seg.

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:

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

Dónde:

Q : Gasto máximo en litros/seg.

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.

3.2.17 Tiempo de concentración

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

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

El primero, tiempo de escurrimiento en la superficie, a través de laderas, cunetas, canales o sobre las zonas de escurrimiento natural, puede ser estimado o calculado para las distintas características del suelo.

El tiempo que tarda el agua en escurrir en laderas puede estimarse en base a las velocidades recomendadas en el Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas.

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

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

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

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

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

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.

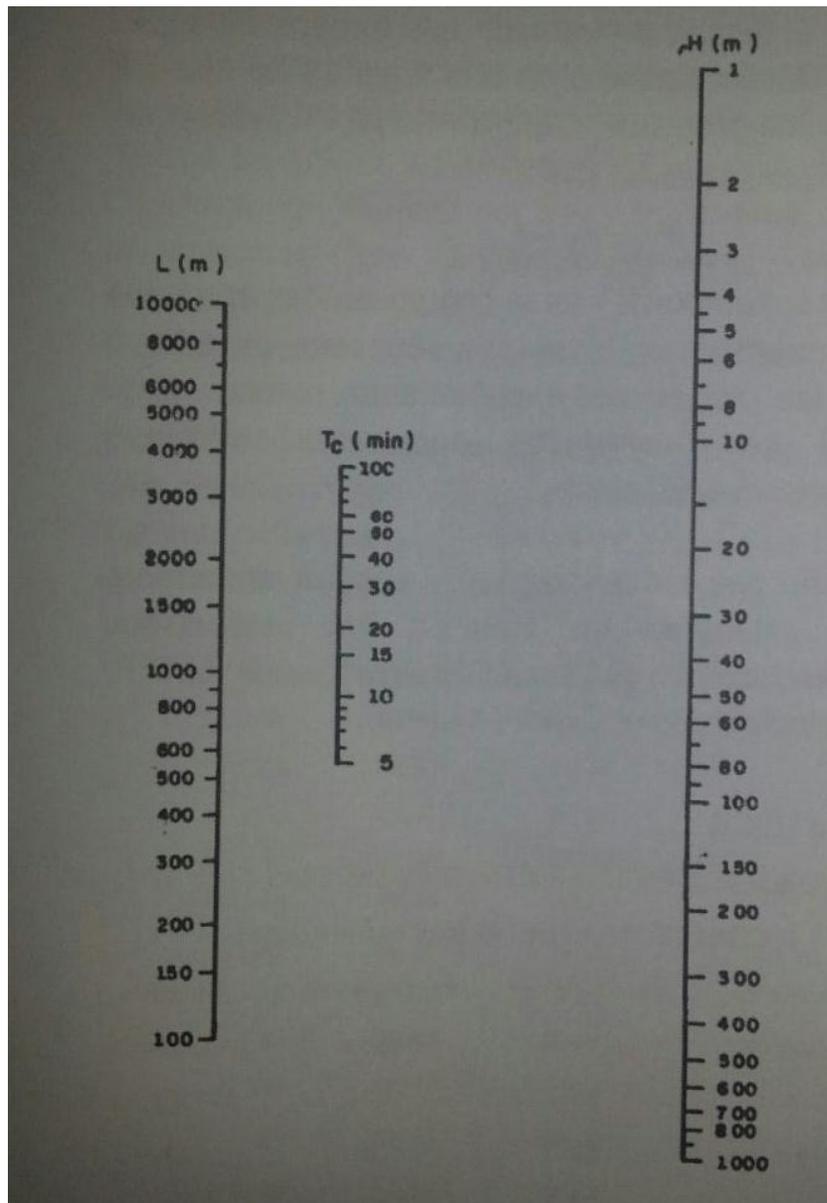


Figura 3.1 Abaco para estimación del tiempo de concentración en cuencas rurales (Arocha, 2012).

3.2.18 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.

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

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, utilizando los valores de tabla X para valores de C de cada tipo de superficies, se ha tratado de simplificar la selección del coeficiente.

La selección del coeficiente C para uso multifamiliar, industrial y comercial depende fundamentalmente del grado de ocupación con superficies impermeables y

no impermeables y no de la pendiente del terreno; es por esto que solo se indican límites para el coeficiente (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Coeficiente de escurrimiento (Bolinaga, 1979)

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

Tabla 3.3. Coeficientes de escurrimiento de acuerdo 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 6 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.

3.2.19 Curvas Intensidad, duración y frecuencia

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

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

3.2.19.1 Intensidad:

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

Donde P es la altura de agua de precipitación en mm o pulgadas, y T_d es la duración de la lluvia, dada usualmente en hr. Es importante señalar, que cuando sólo se dispone de un pluviómetro en una estación, es evidente que en general sólo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas. Como se comprenderá, esta información puede inducir a grandes errores por defecto, por cuanto las lluvias de corta duración son en general las más intensas. Es natural entonces que las determinaciones de intensidades de lluvia se hagan a partir de los registros proporcionados por los pluviógrafos.

3.2.19.2 Probabilidad de excedencia

Se define como la probabilidad de que un cierto valor a asumir por la variable aleatoria sea superado. Se define por $1 / T$, en donde T es el período de retorno; por consiguiente, la probabilidad de excedencia sirve para estimar riesgos en obras civiles en general, y poder tener una aplicación a largo plazo en el sector productivo. Además, dentro de las aplicaciones de la estadística, usadas comúnmente en la hidrología, está la determinación de la probabilidad o del período de recurrencia de determinado suceso.

3.2.19.3 Frecuencia

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

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

- a. Para zonas residenciales, de 2 a 3 años
- b. Para zonas comerciales y de valor elevado, de 5 a 15 años, dependiendo de su justificación económica.
- c. Para obras de canalizaciones de cursos naturales, ríos o quebradas, 50 años o más.

3.2.20 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.

3.2.21 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:

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.

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.

3.3 Definición de términos básicos

3.3.1 Acequias

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

3.3.2 Aguas pluviales

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

3.3.3 Cauce

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

3.3.4 Caudal

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

3.3.5 Clima

Es el conjunto de los valores promedios de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Estos valores promedio se obtienen con la recopilación de la información meteorológica durante un periodo de tiempo suficientemente largo. Según se refiera al mundo, a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zonal, regional o local (microclima), respectivamente. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.3.6 Cuenca

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

3.3.7 Drenaje superficial

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

3.3.7 Drenaje transversal

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

3.3.8 Escurrimiento

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

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

3.3.9 Fluido

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

3.3.10 Flujo

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

3.3.11 Hidráulica

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

3.3.12 Numero de Reynolds

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

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

En una tubería circular se considera:

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

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

$Re > 4000$ El fluido es turbulento.

3.3.13 Número de Froude

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

Este tipo de número recibe este nombre, en honor al ingeniero inglés William Froude. Cuando el número de Froude se encuentra en canales abiertos informa sobre el estado del flujo hidráulico. (Mohammed, 2014).

3.3.14 Pendiente

Podríamos definir la pendiente del terreno en un punto dado como el ángulo que forma el plano horizontal con el plano tangente a la superficie del terreno en ese punto. Es, en definitiva, la inclinación o desnivel del suelo. En lugar de expresarla como un ángulo, es más interesante representar la pendiente del terreno como un

valor de tanto por ciento. Esto se obtiene multiplicando por 100 la tangente del ángulo que define el desnivel del suelo. (Anónimo).

3.3.15 Régimen

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

3.3.16 Superficie

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

3.3.17 Topografía

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

3.3.18 Volumen

El volumen como magnitud es entendido como el espacio que ocupa un cuerpo. La misma posee tres dimensiones, alto, ancho y largo.

Según el Sistema Internacional de Unidades, el volumen es representado por el metro cúbico. En la vida cotidiana el litro también puede ser considerado como una unidad del volumen. (Anónimo).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA 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

Según Arias, F. (2006), esta investigación se considera de tipo descriptiva “se encarga de buscar la caracterización de los hechos mediante las relaciones de causa – efecto”.

Se afirma que la presente investigación es descriptiva por cuanto se darán las características de la pluviosidad desde el punto de vista estadístico y de sus implicaciones físicas sobre el área de estudio.

4.2 Diseño de investigación

4.2.1 Investigación de campo

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

Esta investigación es de campo ya que los datos topográficos serán tomados directamente de la zona de estudio.

4.2.2 Investigación documental

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

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

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

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

En el presente caso se considerará como población de la investigación toda la superficie de la zona que se desea urbanizar susceptible de captar aguas pluviales.

4.3.2 Muestra de la investigación

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

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

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas para la recolección de datos

La aplicación de técnicas para la recolección de información, conducen a la verificación del problema planteado, mientras que los instrumentos empleados llevan a la obtención de los datos a la realidad.

A continuación se describen las técnicas a utilizar para la recolección de datos.

4.4.1.1 Observación directa

Según Arias, F. (2006), la observación “es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno y situación que se produzcan en la naturaleza o en la sociedad, en función a los objetivos de investigación preestablecidos”.

4.4.1.2 Revisión bibliográfica

Para el desarrollo de este proyecto es necesario acudir a fuentes bibliográficas que permitan ampliar los conocimientos hacer del tema en estudio.

Esta técnica se basa en la obtención de información mediante la revisión de material bibliográfico tales como: tesis, texto, manuales de la organización, e informes.

4.4.2 Instrumentos para la recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos incluyen la utilización de los siguientes:

1. Computadora,
2. Calculadora,
3. Gps,
4. Cámara fotográfica,
5. Impresora,
6. Fotocopiadora,
7. Memoria magnética portátil (pendrive),
8. Papelería y artículos de oficina,
9. Internet,
10. Programas de ofimática,
11. Programas de diseño asistido por computador y de estadística; entre otros.

4.5 Flujoograma de la investigación

A continuación en la figura 4.1 se presenta el flujoograma de actividades que corresponde a esta investigación:

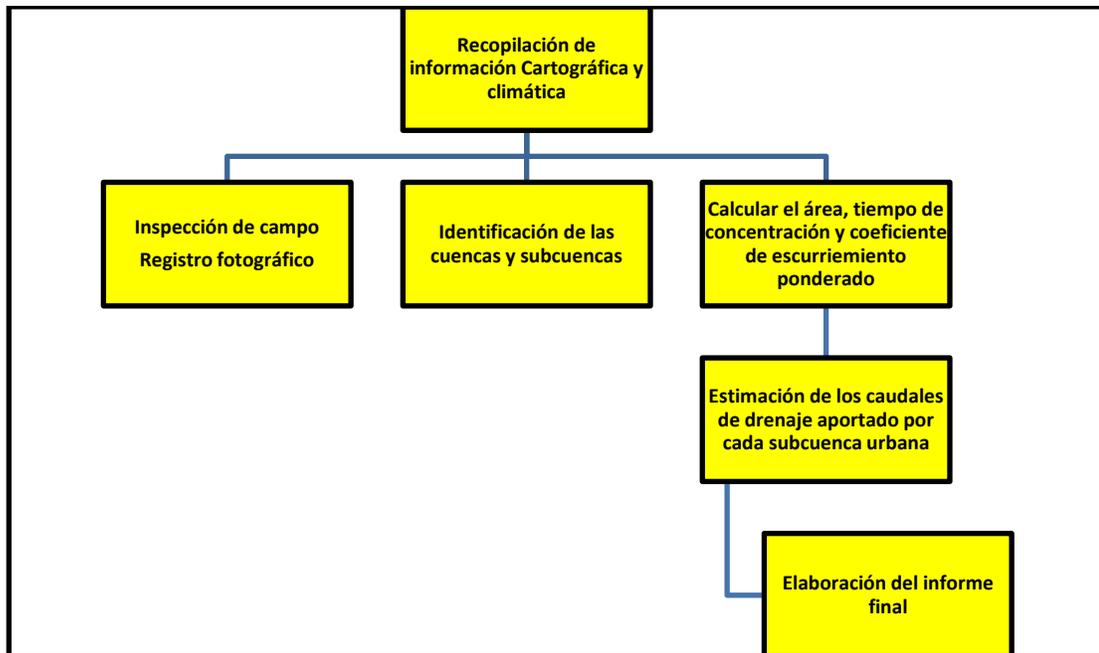


Figura 4.1 Flujoograma de actividades.

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

4.6.1 Recopilación de la información bibliográfica

Para el desarrollo de este proyecto se llevó a cabo la recopilación de información necesaria que consistió en una revisión bibliográfica de trabajos realizados en el área de estudio, como tesis de grado, información de avances, registros de pluviosidad de la zona, geología general, ambientes sedimentarios, hidrológica, entre otras. Por otra parte se recopiló la información cartográfica de la zona.

4.6.2 Identificar las subcuencas hidrológicas urbanas

Con base al diseño del urbanismo S-1 de la población de Soledad en el estado Anzoátegui se delimitan las cuencas y subcuencas de la zona de estudio que estarían afectadas por las precipitaciones del área y que drenarían sus aguas de escorrentía en los futuros canales de drenaje que se diseñen.

4.6.3 Caracterización climatológica del área de estudio

Se recopilaron los registros correspondientes a los parámetros climatológicos (evaporación, humedad relativa, radiación solar, insolación, velocidad del viento, entre otras) de las estaciones más cercanas al área de estudio.

4.6.4 Determinación del coeficiente de escorrentía ponderado para las subcuencas

Considerando el tipo de cobertura de los suelos y el área afectada por tales coberturas en la zona urbana (según sea pavimento, zona verde, viviendas, área comercial, etc.) se determinará el coeficiente de escorrentía ponderado.

4.6.5 Estimación de los caudales aportados por las subcuencas urbanas

Para ello se utilizará el método racional, calculando las intensidades de lluvia mediante las curvas IDF existentes.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Determinación de las características climáticas de la zona de estudio

Se ha efectuado un estudio de las características del clima, con base en el análisis temporal de precipitación, evaporación, temperatura, insolación, humedad relativa y viento, para lo cual se utilizaron los datos de registrados en las estaciones dentro del perímetro o en su área de influencia inmediata.

Para establecer las características del clima se efectuó un análisis cuantitativo, con base en los datos de los promedios mensuales y anuales de los parámetros registrados por la estación meteorológica de Ciudad Bolívar (Aeropuerto). Todos los datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). En la tabla 5.1, se muestran las características de las estaciones de la zona y la tomada como referencia.

Tabla 5.1. Características de la Estación Utilizada (INAMEH, 2014).

Estación	Tipo	Serial	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Organismo
Ciudad Bolívar	C1	3886	08°01'35"	63°37'53"	58	INAMEH

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

5.1.1 Precipitación

El valor promedio anual de precipitación para la zona del proyecto es de 800 mm, el cual fue estimado a partir de la estación más cercana al área de estudio. En la

tabla 5.2, se muestran los promedios mensuales y el total anual de precipitación para el período 1971-2011; con base en ellos se elaboró la figura 5.1 que muestra su comportamiento anual.

El régimen pluviométrico es de tipo unimodal, es decir, se registra un solo tope de lluvia durante el año. Este ocurre en los meses del verano astronómico (junio, julio y agosto), lo cual corresponde con la época de mayor actividad de la convergencia intertropical, responsable directa de la distribución temporal de las lluvias en el territorio venezolano. En estos tres meses se recoge más del 52% del volumen total de precipitación anual.

El valor más bajo de precipitación se registra en los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo).

Tabla 5.2 Precipitación media mensual y anual (mm)-Período 1971-2011 (INAMEH, 2014).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	17,2	11,3	16,1	23,1	89,3	147,1	155,6	161,8	82,1	80,7	68,2	30,2	883

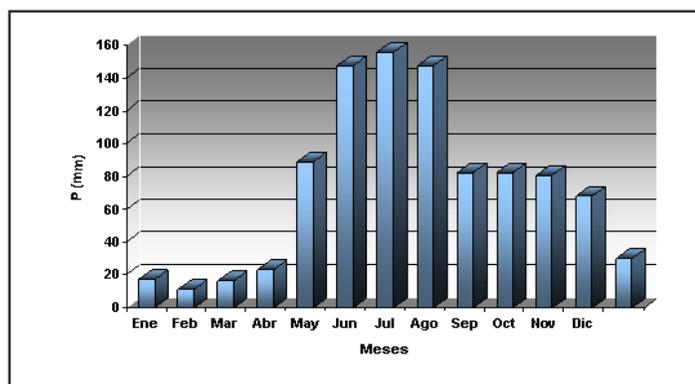


Figura 5.1. Distribución Anual de la Precipitación (mm). Estación Ciudad Bolívar-Aeropuerto (INAMEH 2014).

5.1.2 Temperatura

En el área, la estación más cercana registra 26,7 °C en promedio mensual. Por encontrarse en la zona tropical, se cumple la condición de isoterminia, es decir, la diferencia de los valores de temperatura entre el mes más cálido y el más frío no supera los 5 °C.

En la tabla 5.3, se indican los valores medios de temperatura para la estación Ciudad Bolívar. Con base en dichos valores se elaboró la figura 5.2 que muestra el comportamiento anual en la estación mencionada.

Tabla 5.3 Temperatura Máxima, Media y Mínima (°C) Período 1971-2011 (INAMEH,2014).

Estación	Estadístico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	Máxima Media	32,1	33,0	34,1	34,8	34,2	32,6	32,4	32,9	33,6	33,6	33,2	32,2	27,8
	Media	26,7	27,1	28,0	28,9	28,4	27,2	26,9	27,3	27,9	28,0	27,6	26,8	26,7
	Mínima Media	22,6	22,7	23,2	24,0	24,3	23,8	23,5	23,8	24,0	24,1	23,9	23,2	23,6

La distribución anual de la temperatura es de tipo bimodal. Se observa que las mayores temperaturas ocurren en la primavera astronómica, marzo – abril, con un máximo secundario en septiembre – octubre (otoño astronómico).

Las temperaturas más bajas se registran en el lapso diciembre – febrero (invierno astronómico) y en el mes de julio, coincidiendo con la época de máxima pluviosidad. Por otra parte, la amplitud térmica anual promedio es de 2,2 °C, lo que ratifica la condición de isoterminia del clima del área.

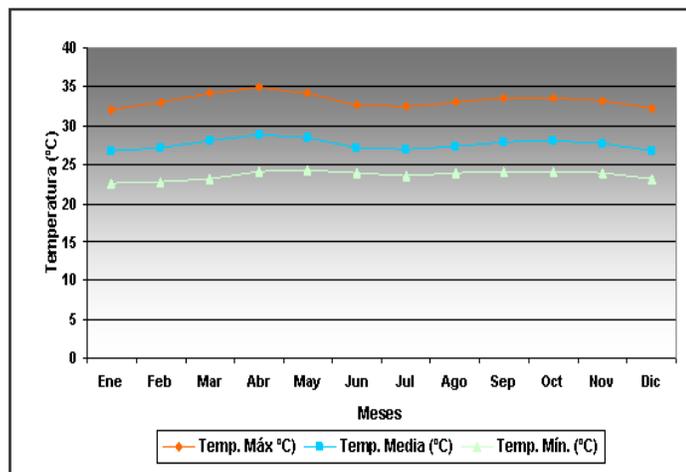


Figura 5.2 Variación Anual de la Temperatura Máxima, Media y Mínima (°C) en la Estación Ciudad Bolívar (INAMEH, 2014).

5.1.3. Insolación

La variación temporal de la insolación depende del movimiento anual aparente del sol, de la nubosidad, las precipitaciones y el estado de transparencia de la atmósfera. Con base en los datos registrados en la estación Ciudad Bolívar se estima que el área del proyecto recibe una insolación media anual alrededor de 7,9 horas de sol.

Los valores más altos ocurren en los meses de febrero a marzo y un segundo pico ocurre en el mes de octubre. Los menores valores de brillo solar ocurren durante el mes de junio, lo que demuestra la alta nubosidad presente en la zona por la temporada lluviosa. (tabla 5.4 y figura 5.3).

Tabla 5.4. Insolación media mensual y anual (horas de sol). Período 1971-2011 (INAMEH 2014).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	7,8	8,4	8,5	7,8	7,4	6,7	7,6	8,0	8,4	8,4	8,3	7,9	7,9

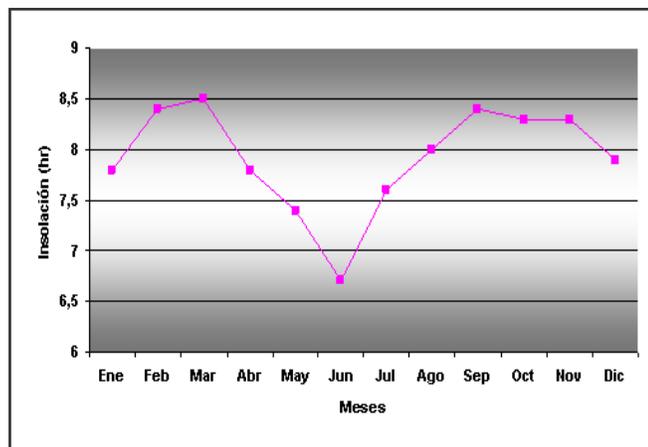


Figura 5.3 Variación Anual de la Insolación (horas de sol). Estación Ciudad Bolívar (INAMEH, 2014).

5.1.4 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual está por el orden del 75 %, según los datos de la estación Ciudad Bolívar. En la tabla 5.5, se presentan los valores medios mensuales y anuales de humedad relativa para dicha estación y en la figura 5.4 se muestra su distribución en el año. De acuerdo a ello, se observa que la humedad relativa media mensual alcanza su mayor valor (80%), en los meses de máxima precipitación (junio y julio), y el mínimo durante la época del equinoccio de primavera (marzo y abril), esto es de un 69%.

Tabla 5.5. Humedad Relativa Media Mensual y Anual (%). Período 1971-2011 (INAMEH, 2014).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	75	71	69	69	73	80	80	79	76	75	76	77	75

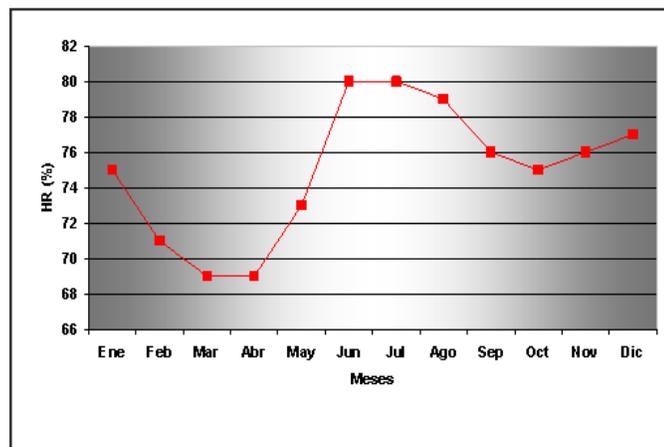


Figura 5.4 Variación Anual de la Humedad Relativa (%). Estación Ciudad Bolívar. (INAMEH 2014).

5.1.5 Vientos

La velocidad media anual del viento, estimada para la zona, está cerca de los 10 km/h, con dirección prevaleciente este-noreste (ENE), mayor en marzo y más baja en agosto. En la tabla 5.6, se muestran los datos de las estaciones del área y en la figura 5.5 se presenta su distribución anual.

Tabla 5.6 Velocidad Media Mensual y Anual del Viento (m/s) Período 1970-2011 (INAMEH 2014).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	11,6	12,8	15,1	12,7	10,5	8,8	7,4	6,9	6,9	7,5	8,3	9,7	9,9

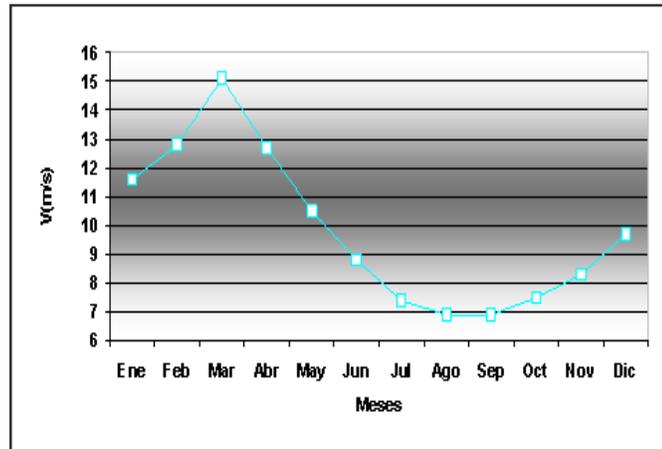


Figura 5.5 Variación Anual de la Velocidad del Viento (m/s). Ciudad Bolívar (INAMEH,2014).

5.2 Identificación de las cuencas y subcuencas urbanas

Para el cálculo del caudal de diseño será necesario delimitar el área para la cual el mismo estará en capacidad de recolectar, por lo tanto la forma mas practica de determinar estos caudales es haciendo una repartición del caudal total del urbanismo en función de su área, al delimitar el área a servir por cada tramo podemos obtener el caudal de diseño correspondiente la cuenca y subcuencas.



Figura 5.6 Area de la cuenca.

Tabla 5.7 Area total de la cuenca

Zona	Área	
	ha	m ²
Residencial	1.60	16021
Pavimento	0.50	5015
Vegetación	0.01	100
Total	2,11	21136



Figura 5.7 Area de la subcuenca 1



Figura 5.8 Area de la Subcuenca 2

Tabla 5.8 Area de las subcuencas

Subcuencas	Zona	Área		Área Total	
		ha	m ²	ha	m ²
1	Residencial	0,892	8920	1,4486	14486.22
	Pavimento	0,404	4040		
	Vegetación	0,152	1520		
2	Residencial	0,482	3820	0,6650	6650.96
	Pavimento	0.103	2030		
	Vegetación	0,080	800		



Figura 5.9 Area de los ramales secundarios

Tabla 5.9 Area de los Ramales secundarios.

Ramal	Zona	Área		Área total	
		ha	m ²	ha	m ²
Azul oscuro	Residencial	0.65	6500	0.71	7100
	Pavimento	0.06	600		
Verde manzana	Residencial	0.28	2800	0.33	3300
	Pavimento	0.04	400		
	Vegetación	0.01	100		
Rojo	Residencial	0.14	1400	0.21	2100
	Pavimento	0.07	700		
Fucsia	Residencial	0.08	800	0.14	1400
	Pavimento	0.06	600		
Verde oscuro	Residencial	0.04	400	0.06	600
	Pavimento	0.02	200		
Naranja oscuro	Residencial	0.09	900	0.14	1400
	Pavimento	0.05	500		
Gris	Residencial	0.14	1400	0.21	2100
	Pavimento	0.07	700		
Morado	Residencial	0.19	1900	0.32	3200
	Pavimento	0.13	1300		

5.3 Estimación del coeficiente de escorrentía ponderado

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 5.9.

Tabla 5.10 Coeficientes de escurrimiento según la zona

Tipo de superficie	Coeficiente de escurrimiento	
	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

Para las zonas residenciales (1,61 ha) el coeficiente de escurrimiento seleccionado fue 0.60, para zonas verdes o parques (0.01 ha) el coeficiente fue de 0.20 y para las zonas o calles asfaltadas o pavimentadas (0,5 ha) el coeficiente que se seleccionó fue de 0.825. como en la mayoría de las parcelas se tenía zona residencial, pavimentadas y áreas verdes el coeficiente de escurrimiento se ponderó utilizando la siguiente fórmula:

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

En ese orden de ideas podemos considerar que el coeficiente de escorrentía ponderado es de 0.7

5.4 Caudales de escorrentía superficial aportados por las subcuencas

5.4.1 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 periodo 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 canales abiertos se utilizarán obras hidráulicas para canalización de aguas de lluvias en ciudades de tamaño de mediano a grande de 20 a 50 años. Estimándose la construcción de estos canales para un período de diseño de 25 años.

5.4.2 Tiempo de concentración de la cuenca y subcuencas

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.

Tabla 5.11 Tiempo de concentración de la cuenca.

Tramo	Tc	
	Minutos	Horas
Área Total De La Cuenca	8,1422	0,1357

Tabla 5.12 Tiempos de concentración de las subcuencas y ramales.

Tramo	Tc	
	Minutos	Horas
17- Descarga	5,61	0,0936
4 – 3	5,26	0,0877
6 – 5	5,16	0,0861
8 – 7	1,50	0,0250
13 - 9	1,50	0,0250
Oct-16	1,50	0,0250
16 – Descarga	1,50	0,0250
20 - 19	1,54	0,0258
22 – 21	1,50	0,0250
20 - 24	2,60	0,0434
18 – 26	1,96	0,0327

5.4.3 Determinación de la intensidad de lluvia

La intensidad será determinada en función de la duración y el período de retorno y el tiempo de concentración, esta intensidad será estimada con los datos suministrados por el INAMEH.

Tabla 5.13 Intensidades de lluvia dependiendo de la duración y el tiempo de retorno

DURACIÓN (h)	Tr (Años)		
	5	10	25
0,25	150	160	190
0,5	99	125	147
1	60	78	90
3	25	30	36
6	14	16	20
9	9	12	14
12	7	8	10
24	4	5	5,8

Tabla 5.14 Intensidad de la cuenca estudiada.

Zona	Intensidad	
	(mm/h)	(lps/ha)
Área total de la cuenca	80,361	223,40358

Tabla 5.15 Intensidad de las subcuencas del área estudiada.

Subcuencas	Intensidad	
	(mm/h)	(lps/ha)
1	97,3074	270,51457
2	176,712	491,25936

De acuerdo con la figura 5.8 que corresponde al área de los ramales presentamos la tabla siguiente con las intensidades correspondientes a cada ramal.

Tabla 5.16 Intensidades de los ramales.

Ramal	Intensidad	
	(mm/h)	(lps/ha)
Azul oscuro	104	289
Verde manzana	131	364
Rojo	190	528
Fucsia	190	528
Verde oscuro	190	528
Naranja oscuro	148	412
Gris	190	528
Morado	178	496

Recordemos que para esta investigación se decidió calcular el caudal de diseño de los canales 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.

Tabla 5.17 caudal de la cuenca.

	Caudal	
	m³	lps
Área total de la cuenca	7,639	7639

Tabla 5. 18Caudales de las subcuencas

Subcuencas	(Q) m³	
	m³	lps
Subcuenca 1	3,426	3426
Subcuenca 2	4,213	4212

Tabla 5.19Caudal de los ramales

Ramal	Caudal	
	m³	lps
Azul oscuro	0,228	228
Verde manzana	0,768	768
Rojo	0,868	868
Fucsia	0,569	569
Verde oscuro	0,477	477
Naranja oscuro	1,926	1926
Gris	0,888	888
Morado	0,865	865

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. De acuerdo a las magnitudes promedio de los parametros climáticos, analizadas en el área de estudio donde se pudo observar una precipitación aproximada anual de 1000 mm, temperatura promedio anual de 28,3 °c, humedad relativa promedio anual de 65%; podemos concluir que la zona de estudio posee un clima típico de bosque seco tropical.
2. Morfométricamente el área de estudio la cual debe ser drenada de las escorrentias superficiales tiene un área de 2,11 ha, como cuenca de drenaje asimismo presenta una pendiente promedio de total de 0° por lo cual el diseño de los drenajes deberán ser construidos con pendientes promedios alrededor del 1% para mantener las velocidades mínimas permisibles. Por otro lado, la longitud del cauce principal es de 0,700 km.
3. En las dos subcuencas se presentaron coberturas del suelo de viviendas, pavimento y vegetación a las cuales se les asignó coeficientes de escorrentía de 0.6, 0.825 y de 0.2 respectivamente y al considerar las áreas ocupadas por las coberturas indicadas se obtuvo un coeficiente de escorrentía ponderado de 0.7.

4. La cuenca de drenaje total del área de estudio deberá manejar un caudal 7,639 m³/s, esta ha sido dividida en 2 subcuencas a través de las cuales se deberán trazar en el futuro los canales principales que manejarán cada uno caudales de 4,213 y 3,426 m³/s respectivamente.

Recomendaciones

1. Se sugiere evaluar las alternativas de trazado de canales superficiales y de tuberías subterráneas para el manejo del drenaje de las aguas de escorrentía pluvial.
2. Se sugiere a las autoridades de la Escuela de Ciencia de la Tierra a exponer oficialmente al Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología la importancia de mantener actualizadas y disponibles las bases de datos correspondientes a los registros de los parámetros climatológicos de las estaciones que se mantienen activas efectuando mediciones en todo el oriente del territorio del país, con la finalidad de que sirvan de insumo para los análisis pluviométricos que académicamente se requieren para el desarrollo de investigaciones que involucren tal variable climática.

REFERENCIAS

Aguasuelos Ingeniería, S.C (1993). **CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS EN EL ÁREA NORTE DE MONAGAS FASE IV**, Informe preparado para Corpoven, Monagas, Venezuela, (pp 15-51).

Alfonsi, P. (1999) **SEDIMENTOLOGÍA DE CLÁSTICOS YELECTROFACIES**. Centro Internacional de educación y Desarrollo. PDVSA Exploración y Producción. Maracaibo. Venezuela, (p 115).

Aparicio, F. (1997). **FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Balderas, México: Limusa. (p.303)

Arias, F. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. (5TA ED). Editorial Episteme, Caracas, Venezuela, (pp 20-83).

Aros, V. (1997). **APUNTES DE HIDROLOGÍA. INGENIERÍA CIVIL**. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. (pp25 – 31).

Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe (1965). **DISPOSICION Y TRATAMIENTO DEL AGUA PRODUCIDA**, 15 junio 2015, [<http://www.oilproduction.net/>].

Aymard R., Pimentel, I., Eitz, P., Chaouch, A., Navarro, J., Mijares, J., Pereira, J., (1990), **GEOLOGICAL INTEGRATION AND EVALUATION OF NORTHERN MONAGAS, EASTERN VENEZUELA BASIN**. EN J. BROOKS, ED, **CLASSIC PETROLEUM PROVINCES: GEOLOGICAL SOCIETY OF LONDON SPEAD PUBLICATION N° 50**, (pp.37-53).

Carvalho y Farías (2015). **PROPUESTA DESISTEMA DRENAJE SUPERFICIAL PARA CONDUCCIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LAS RESIDENCIAS RÓMULO GALLEGOS, ZUATA, MUNICIPIO JOSÉ GREGORIO MONAGAS, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.** Trabajo de grado, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Casado, C. (1984). **INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD PETROLERA EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA MESA DE GUANIPA.** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la tierra, Ciudad Bolívar, (pp 2-154).

Cid, L.; Mora, C.; Valenzuela, M. (1990). **ESTADÍSTICA MATEMÁTICA. PROBABILIDADES E INFERENCIA ESTADÍSTICA.** Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias. Departamento de matemáticas. Chile. (p 319).

Comisión Estatal de Agua de Querétaro (2013). **NORMAS Y LINEAMIENTOS PARA LAS INSTALACIONES DE AGUA POTABLE, AGUA TRATADA, ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LOS FRACCIONAMIENTOS Y CONDOMINIOS DE ZONA URBANA DE QUERETARO, MÉXICO.** Santiago de Querétaro.

Custodio, E., Llamas, M., (1976) **HIDROLOGÍA SUBTERRANEA.** Ediciones Omega, Barcelona, España. Tomo I, (p 1154).

Chen, C. L. (1983). "RAINFALL INTENSITY-DURATION-FREQUENCY FORMULAS," J. Hydro. Engrg., ASCE, 109(12), (pp.1603-1621)

Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. (1994). **MANUAL DE HIDROLOGÍA APLICADA.** Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. (p 584).

Echeverría, B. (2015). **INGENIERÍA BÁSICA DE UN SISTEMA DE DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES PARA EL CONJUNTO RESIDENCIAL JOSÉ GREGORIO MONAGAS, EN SAN DIEGO DE CABRUTICA, MUNICIPIO JOSÉ GREGORIO MONAGAS, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.** Trabajo de grado, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Franco, M. (1985) **CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO Y LA ESTIMACIÓN DEL ORDEN DE MAGNITUD DE LAS RESERVAS RENOVABLES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

González de Juana, Iturralde C., y Xavier P., (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS.** Editorial Foninves. Caracas.

Kazmann, R. (1974). **HIDROLOGÍA MODERNA.** Segunda Edición. Compañía Editorial Continental S.A.D.F. México. (p 420).

Kothyari, C.; Garde, J. (1992). **RAINFALL INTENSITY-DURATION-FREQUENCY.** Journal of Hydraulic Engineering. Volumen.118, N°2. USA. (pp 323 – 336).

Linsley, R.; Kohler, M.; Paulhus, J. (1988). **HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS.** Segunda Edición. Mc Graw-Hill. Latinoamericana. D.F. México. (p 386).

Mendenhall, W.; Scheaffer, R.; Wackerly, D. (1986). **ESTADÍSTICA Y MATEMÁTICAS CON APLICACIONES.** Tercera edición Editorial Iberoamericana, S.A. México (p 751).

Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú. (2011). **NOCIONES DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Lima.

MOP, Ministerio de Obras Públicas, (1967). **MANUAL DE DRENAJE**. Caracas,(p 208).

Nichols, G. (1999). **SEDIMENTOLOGY AND STRATIGRAPHY**. Segunda edición. Oxford. United Kingdom. Wiley – Blackwell. (pp 307, 321, 329).

PDVSA-Intevep, (1997). **CÓDIGO GEOLÓGICO DE VENEZUELA**. 14 de Octubre de 2010, [<http://www.pdvsa.com/lexico/utilid/glosario/glosario.htm>]

Pérez, J. (1979). **FUNDAMENTOS DEL CICLO HIDROLÓGICO**. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Departamento de Meteorología e Hidrología. Caracas. (pp 01-38)

Pizarro, R.; Novoa, P. (1986). Instructivo n° 5. **DETERMINACIÓN DE VALORES PROBABILÍSTICOS PARA VARIABLES HIDROLÓGICAS. ELEMENTOS TÉCNICOS DE HIDROLOGÍA**. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile. (p 78).

Real Academia Española, (2012). **DICCIONARIO**. Editorial Limusa. Madrid

Rivadulla, R. (2004). **CARTOGRAFÍA DE SUPERFICIE Y SUBSUELO**. FundaGeominas, Ciudad Bolívar, (p 417).

Sabino, C. (1992). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN**. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela, (pp. 89,142).

Témez, J. (1978). **CÁLCULO HIDROMETEOROLÓGICO DE CAUDALES MÁXIMOS EN PEQUEÑAS CUENCAS NATURALES**. Dirección General de Carreteras. Madrid.España. (p 111)