

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



**“PROPUESTA METODOLÓGICA DE EVALUACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE
DRENAJE PLUVIAL ANTE EL AUMENTO DE ZONAS
IMPERMEABILIZADAS EN EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

**DIEGO JOSÉ CABRERA AGUIRRE
JOSÉ OSCAR HUEZO GUEVARA
LUIS MIGUEL LINARES CASTRO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:

ING. MAX ADALBERTO HERNÁNDEZ RIVERA

SANTA ANA - EL SALVADOR - CENTROAMÉRICA

SEPTIEMBRE DE 2013

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

VICERRECTORA ACADÉMICA:

MAESTRA ANA MARÍA GLOWER DE ALVARADO

SECRETARÍA GENERAL:

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FISCAL:

LICDO. FRANCISCO CRUZ LETONA

**AUTORIDADES DE LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE
OCCIDENTE**

DECANO:

LICDO. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

VICEDECANO:

ING. WILLIAM VIRGILIO ZAMORA GIRÓN

SECRETARIO:

LIC. VÍCTOR HUGO MERINO QUEZADA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

JEFA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA:

ING. MS. SORAYA LISSETTE BARRERA DE GARCÍA

DOCENTE DIRECTOR:

ING. MAX ADALBERTO HERNÁNDEZ RIVERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

Título:

**“PROPUESTA METODOLÓGICA DE EVALUACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE
DRENAJE PLUVIAL ANTE EL AUMENTO DE ZONAS
IMPERMEABILIZADAS EN EL SALVADOR”**

Presentado por:

**DIEGO JOSÉ CABRERA AGUIRRE
JOSÉ OSCAR HUEZO GUEVARA
LUIS MIGUEL LINARES CASTRO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director:

ING. MAX ADALBERTO HERNÁNDEZ RIVERA
SANTA ANA - EL SALVADOR - CENTROAMÉRICA
SEPTIEMBRE DE 2013

AGRADECIMIENTOS

Al concluir nuestro Trabajo de Graduación queremos manifestar públicamente nuestros agradecimientos a:

Nuestro Docente Director:

Ing. Max Adalberto Hernández Rivera

Por su colaboración y orientación durante el desarrollo del Trabajo de Graduación.

Nuestros Asesores Externos:

Ing. César Amilcar Elías Medina

Arq. Yonny Marroquín Orellana

Por su invaluable apoyo, entrega y ayuda como asesores en la elaboración del presente trabajo.

Comunidad de la Urbanización “Jardín del Rocío”:

Por su confianza y colaboración en todo el momento para el desarrollo de este Trabajo de Investigación

A nuestros compañeros y amigos que de una manera u otra colaboraron en la realización de este Trabajo de Investigación.

DEDICATORIAS

A los muertos por sobre los cuales estoy yo vivo,
Josefina Aguirre Duarte y Jonathan Guardado Herrera.

A mi madre Aracely Aguirre,
Por todo lo demás.

DIEGO AGUIRRE

Aunque el camino parezca largo, difícil y lleno de obstáculos, es necesario conocer el día a día, y saber que a pesar de las adversidades se puede salir adelante y cumplir con cada cosa que nos proponemos, saber que nada es imposible, solo basta querer y poder.

Agradezco infinitamente.

A DIOS TODOPODEROSO: Por permitirme cada segundo de mi vida y luchar cada momento para ser alguien de valor, y a la vez poder esforzarme para ser mejor. “Todo lo puedo en CRISTO que me fortalece” .

A MI MADRE: por haberme dado las fuerzas necesarias para enfrentar la vida y no desmayar en los momentos más difíciles de mi carrera, por aquellas palabras de aliento cuando más lo necesite y porque en cada momento me enseñó a ser fuerte. Por ser el pilar fundamental de todo lo que me rodea y por sobre todo por nunca dejarme solo.

A MI PADRE: por ser el, el motivo de mi inspiración para cumplir este sueño, el que me enseñó a luchar por lo que más quiero y a valorar lo que poseo, a tener humildad y a saber que nunca se deja de aprender, que con su esfuerzo y su arduo sudor me llevo hasta donde ahora estoy.

A MI HERMANO: que me soporto con mis malos humores y mis caídas, pero que a pesar de todo me echo la mano y me brindo sus conocimientos para continuar por el camino correcto.

A MI SOBRINA Y HERMANA: porque junto a todos hemos luchado y salido de las adversidad que nos rodean, pero que juntos ahora festejamos este gran logro.

A mis amigos y demás personas que de una u otra manera con el paso de los días fueron dándome su apoyo, palabras y gestos de amistad; me hicieron seguir adelante para triunfar... mil gracias.

JOSÉ HUEZO

En primer lugar quiero agradecer a Dios por haberme permitido culminar mi carrera y desarrollarme como persona, por darme sabiduría, paciencia y voluntad necesaria en todo momento.

A mi abuelo Alfonso Estanislao Linares Morales, a quien le debo gran parte de lo que ahora soy y que, aunque ya no se encuentre en esta vida, sé muy bien que estaría orgulloso de este logro que ahora obtengo.

A mis padres Eduardo Miguel Linares Barrientos y Ana Lilian Castro de Linares, por su incalculable apoyo a lo largo de mi carrera, por demostrarme que todo se logra con la voluntad y por esforzarse día a día para lograr heredarme el título profesional que ahora recibo y así generar importantes herramientas que ocuparé a lo largo de mi vida.

A mis hermanos de sangre Eduardo Alfonso, Agustín Guillermo y Alfonso Antonio Linares Castro, por apoyarme siempre que los necesito y demostrarme que todo se puede lograr, solamente se necesita pensar en grande y no dejarse vencer por pequeñeces que se presentan en la vida.

A todos mis amigos, de los que he aprendido y sigo aprendiendo cada día y me han demostrado una valiosa amistad.

LUIS MIGUEL LINARES

CONTENIDO

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 OBJETIVOS	6
1.5 ALCANCES	7
1.6 LIMITACIONES	8
1.7 JUSTIFICACIÓN	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL	11
2.1.1 SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL	11
2.1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL	11
2.1.1.2 ALCANTARILLADO	12
2.1.1.3 IMPORTANCIA DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL	12
2.2 COMPONENTES DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL	13
2.2.1 EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	13
2.2.1.1 TRAGANTES, ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN.....	14
2.2.1.2 ESTRUCTURAS DE CONDUCCIÓN	15
2.2.1.3 ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN Y MANTENIMIENTO.....	15
2.2.1.4 ESTRUCTURAS DE VERTIDO	16
2.2.1.5 INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS	17
2.2.1.6 DISPOSICIÓN FINAL.....	17
2.3 DISEÑO DE RED DE DRENAJE PLUVIAL	18
2.3.1 EVALUACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO	18
2.3.1.1 MÉTODO RACIONAL	18
2.3.1.1.1 ÁREA DE DRENAJE	20
2.3.1.1.2 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	20
2.3.1.1.3 INTENSIDAD DE LLUVIA	22

2.3.2 NORMAS DE DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL	24
2.3.2.1 VELOCIDAD	24
2.3.2.1.1 VELOCIDAD MÍNIMA	25
2.3.2.1.2 VELOCIDAD MÁXIMA.....	28
2.3.2.2 DIÁMETRO MÍNIMO	29
2.3.2.3 BORDE LIBRE EN LOS COLECTORES	30
CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO ACTUAL DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL	31
3.1 DELIMITACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO	32
3.1.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO	32
3.1.1.1 ZONA ACTUALMENTE URBANIZADA CON UN ÁREA VERDE URBANIZABLE ALEDAÑA.....	32
3.1.1.2 SITIO DE CONSTANTE CRECIMIENTO HABITACIONAL	32
3.1.1.3 CERCANÍA	32
3.1.1.4 SEGURIDAD.....	32
3.1.2 DESCRIPCIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.....	33
3.2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO	38
3.2.1 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS EN ÁREA DE ESTUDIO	38
3.2.1.1 ÁREA DE LA CUENCA.....	38
3.2.1.2 LONGITUD, PERÍMETRO Y ANCHO.....	39
3.2.1.3 DESNIVEL ALTITUDINAL	40
3.2.2 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (PERÍODO DE RETORNO)/ CURVAS IDF	41
3.2.2.1 INTENSIDAD DE LLUVIA	42
3.2.2.2 DURACIÓN DE LA LLUVIA	42
3.2.2.3 PERÍODO DE RETORNO TR.....	44
3.2.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	45
3.2.3.1 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PONDERADO	45
3.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO	48
3.3.1 LEVANTAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA PLUVIAL DE ÁREA DE ESTUDIO. 48	
3.3.1.1 ELABORACIÓN DE ESQUEMAS CON PLANIMETRÍA	48

3.3.1.2 UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE DRENAJE PLUVIAL	49
3.3.1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL	52
3.3.2 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO ACTUAL DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL: ANÁLISIS HIDRÁULICO	56
3.3.2.1 DATOS GENERALES DE COLECTORES DE SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DE ÁREA DE ESTUDIO	56
3.3.2.2 OBTENCIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA EN COLECTORES	57
3.3.2.3 OBTENCIÓN DEL CAUDAL HIDROLÓGICO EN COLECTORES	59
3.3.2.3.1 MÉTODO RACIONAL	59
3.3.2.3.1.1 ÁREAS DE INFLUENCIA DE COLECTORES	60
3.3.2.3.1.2 INTENSIDAD DE DISEÑO	61
3.3.2.3.1.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PONDERADO	61
3.3.2.3.2 CAUDAL PARCIAL EN COLECTORES	61
3.3.2.3.3 CAUDAL ACUMULADO EN COLECTORES	62
3.3.2.3.4 PORCENTAJE DE CARGA HIDRÁULICA EN COLECTORES	63
3.4 DESARROLLO DEL ÁREA DE ESTUDIO	65
3.4.1 EXPANSIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y COLECTORES DE ENTRONQUE	65
3.4.2 CAUDAL MÁXIMO SOPORTADO POR SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DE ÁREA DE ESTUDIO	66
3.4.3 VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL LUEGO DE INCREMENTAR SU CARGA HIDRÁULICA.....	67
3.4.4 CÁLCULO DE ÁREA MÁXIMA DE EXPANSIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO	67
3.4.5 ESCENARIOS DE DESARROLLO	67
3.4.5.1 ESCENARIO 1: EXPANSIÓN IGUAL TIPO DE RESIDENCIAL	68
3.4.5.2 ESCENARIO 2: EXPANSIÓN RESIDENCIAL DE BAJA DENSIDAD.....	69
3.4.5.3 ESCENARIO 3: EXPANSIÓN RESIDENCIAL DE MEDIA DENSIDAD.....	70
3.4.5.4 ESCENARIO 4: EXPANSIÓN RESIDENCIAL DE ALTA DENSIDAD	71
3.4.6 RESUMEN DE EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	72
CAPÍTULO IV: PROPUESTA METODOLÓGICA DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL ANTE EL AUMENTO DE ZONAS IMPERMEABILIZADAS EN EL SALVADOR	73
4.1 INFRAESTRUCTURA PLUVIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	74

4.2 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO ACTUAL DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE	77
4.2.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	77
4.2.1.1 MÉTODO RACIONAL	77
4.2.1.1.1 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PONDERADO	78
4.2.1.1.2 CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA.....	79
4.2.1.1.3 CÁLCULO DE ÁREAS DE INFLUENCIA.....	82
4.2.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO	82
4.2.2.1 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE TRABAJO POR COLECTOR	82
4.2.2.1.1 CÁLCULO DE CAPACIDAD HIDRÁULICA DE COLECTORES.....	82
4.2.2.1.2 CÁLCULO DEL CAUDAL HIDROLÓGICO	83
4.2.2.1.3 CARGA HIDRÁULICA EN COLECTORES	84
4.2.2.1.4 TABLA DE CÁLCULO DEL COMPORTAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE	84
4.2.2.1.4.1 DESCRIPCIÓN DE TABLA DE CÁLCULO.....	86
4.2.3 CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO SOPORTADO POR SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE	90
4.2.4 VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE LUEGO DE INCREMENTAR SU CARGA HIDRÁULICA .	90
4.2.5 CÁLCULO DE ÁREA MÁXIMA DE EXPANSIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO	91
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA.....	94
ANEXOS	95

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

Es conocida la tendencia de la población al desplazamiento desde zonas rurales hacia zonas urbanas. En la actualidad casi el 50 % de la población mundial vive en zonas urbanas, habiéndose incrementado más del 80 % en los últimos 20 años.

El desarrollo urbano altera sustancialmente la hidrología de las cuencas donde se produce. En particular, se modifican la red de drenaje y el proceso de transformación lluvia-escorrentía. Como consecuencia de la actividad urbanizadora, los cauces naturales que conformaban la red hidrográfica original suelen ser profundamente alterados, lo que afecta de forma directa a su capacidad de desagüe y por tanto se propicia la existencia de inundaciones.

En vista de los diferentes fenómenos y condiciones que ocasionan las precipitaciones, y la necesidad de la población rural de emigrar hacia zonas urbanas, el Vice Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador (VMVDU) busca una metodología para la evaluación del comportamiento hidráulico de sistemas de drenaje pluvial ante el aumento de las zonas impermeabilizadas en la República de El Salvador, en la cual se considere un área de estudio que posea tanto una zona urbanizada, es decir, un terreno que ya cuente con calles, pavimento, infraestructura habitacional y esté dotado de servicios básicos que requiere todo asentamiento poblacional, y un sector urbanizable, el cual presente características que garanticen la viabilidad de un crecimiento de infraestructura habitacional en ese sector, para determinar la capacidad hidráulica actual del sistema de drenaje de aguas lluvias de la zona urbanizada y posteriormente realizar análisis hidrológicos e hidráulicos en tal área de estudio bajo diferentes escenarios, planteando que el sector urbanizable sufre cambios de impermeabilización y la reacción del sistema de drenaje de aguas lluvias de la zona urbanizada ante estos cambios con el fin de poder encontrar la metodología que permita estandarizar los criterios de evaluación del comportamiento hidráulico en dicho sistema.

1.2 Antecedentes

El desaforado crecimiento urbanístico a nivel mundial ha generado un aumento de las zonas impermeabilizadas en el entorno de las urbes, lo cual genera y acrecienta los problemas relacionados con la gestión del agua pluvial.

En El Salvador el problema se agrava debido a la migración interna dadas las diferencias tan grandes que existen entre las oportunidades, número y características de los diferentes tipos de empleo que existen en el campo, con relación a la ciudad.

La Dirección de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador, la cual es una de las instituciones encargadas de velar por el desarrollo urbano y evaluar la factibilidad técnica de los proyectos de urbanización y construcción, no cuenta con una metodología establecida en los instrumentos normativos de evaluación del comportamiento hidráulico de sistemas de drenaje de aguas lluvias ante el aumento de zonas impermeabilizadas. De igual forma otras instituciones del Estado carecen de este tipo de herramientas metodológicas.

La Dirección de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador tiene como única herramienta de evaluación los requerimientos técnicos de las obras que debe realizar un proyecto urbanístico para el drenaje de aguas lluvias¹, pero estas no toman en cuenta que la construcción de casas, edificios comerciales, parqueo, caminos pavimentados y calles, incrementa el suelo impermeable en las cuencas hidrográficas, reduciendo la infiltración y recarga de las aguas lluvias, lo cual genera que se incremente el volumen y la velocidad de la escorrentía, produciendo caudales de crecientes con picos mayores en las cuencas urbanizadas que aquellos que ocurrían antes de la

¹ Reglamento a la Ley de Urbanismo y Construcción en lo Relativo a Parcelaciones y Urbanizaciones Habitacionales, *Art. 91 Obras de Urbanización para Aguas Lluvias.*

urbanización, es decir, el efecto de la urbanización ante el proceso de precipitación - escorrentía.

Es por ello que muchos sistemas de drenaje urbano construidos bajo un cierto nivel de urbanización operan hoy en día bajo niveles de urbanización mayores, por lo cual tienen una capacidad inadecuada (Chow, 1994), así como por la falta de mantenimiento y limpieza en los sistemas pluviales en general.

Por lo tanto se hace de suma importancia que las instituciones encargadas del desarrollo urbanístico en El Salvador, cuenten con una herramienta para la evaluación de la factibilidad técnica de los proyectos de urbanización y construcción en el país.

1.3 Planteamiento del Problema

Históricamente, al momento de definir si un sistema de drenaje pluvial de un proyecto urbanístico considera correctamente el incremento futuro de las zonas impermeabilizadas, existe el problema que cada proyectista toma sus propios criterios, parámetros y metodologías para realizar dicho estudio. Esto genera una disconformidad en el proceso de otorgamiento de permisos de construcción a proyectos urbanísticos, debido a que no hay una normativa que regule dichos aspectos y extiende los tiempos de aprobación de tales permisos.

En base a ello se determinó que el problema de investigación es:

**“Diversidad de criterios de evaluación sobre el comportamiento
hidráulico de sistemas de drenaje pluvial ante el aumento de zonas
impermeabilizadas”**

Dentro de los involucrados en la problemática están el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU) como ente regulador del crecimiento urbano, las oficinas descentralizadas en el tema de desarrollo urbano tales como la Oficina de Planificación y Gestión Territorial “OPLAGEST” y la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador “OPAMSS”, las mismas municipalidades y los Proyectistas como modificadores del paisaje urbano. La Universidad de El Salvador por medio del equipo de investigación proporcionará alternativas de solución a la problemática planteada.

1.4 Objetivos

Objetivo General:

- Estandarizar criterios de evaluación sobre el comportamiento hidráulico de sistemas de drenaje pluvial ante el aumento de zonas impermeabilizadas.

Objetivos Específicos:

1. Determinar la capacidad hidráulica actual del sistema de drenaje de aguas lluvias en Urbanización “Jardín del Rocío”, municipio de Santa Ana, Departamento de Santa Ana.
2. Evaluar el comportamiento del sistema de drenaje pluvial del área de estudio ante diferentes escenarios de impermeabilización.
3. Elaborar una propuesta metodológica de evaluación del comportamiento hidráulico de los sistemas de drenaje de aguas lluvias.

1.5 Alcances

El proyecto a desarrollar tiene como alcance general fortalecer a las instituciones encargadas de emitir los permisos de construcción en El Salvador mediante la elaboración de una herramienta que defina la forma de evaluación de los sistemas de drenaje pluvial de proyectos urbanísticos, delimitado por los siguientes puntos:

- Proponer una metodología para estandarizar los criterios de evaluación del comportamiento hidráulico de los sistemas de drenaje pluvial ante el aumento de las zonas impermeabilizadas, la cual podrá tomarse como parámetro en cualquier proyecto de desarrollo urbano en la República de El Salvador.
- Recomendar los criterios y variables que habrá que agregar y tomarse en cuenta para utilizar dicha metodología en cualquier sector de la República de El Salvador.

1.6 Limitaciones

Luego de planteados los alcances de dicha investigación y abordada la temática en la que se basa la misma, es posible conocer los factores que influyen directamente en su desarrollo, los cuales se detallan a continuación:

- No existen planos digitales sobre la red de drenaje pluvial de la zona de estudio por lo que deberá efectuarse el levantamiento detalladamente o como se conoce, Catastro de la Red de Aguas Lluvias.
- Falta de Inversión en la creación de Laboratorios de Hidráulica Pluvial para el desarrollo de Investigación en El Salvador.
- Existe muy poca documentación sobre este tipo de proyecto.

1.7 Justificación

Ante la falta de una Metodología estandarizada sobre la evaluación del comportamiento hidráulico de sistemas de drenaje pluvial ante el aumento de zonas impermeabilizadas, es que nace la necesidad de presentar este proyecto de investigación.

La metodología resultante pretende fortalecer los criterios tomados para la aprobación de los permisos de construcción a proyectos de urbanización futuros otorgados por dichas instituciones, ya que contarán con una herramienta de aprobación ante los casos de aumento de las zonas impermeabilizadas sin correr el riesgo de sobrecargar el sistema existente de drenaje de aguas lluvias que se encuentre en la zona de influencia del proyecto, en el caso que se conectara a él.

Para elaborar la metodología se realizará un estudio en un área localizada en el municipio de Santa Ana, Departamento de Santa Ana, en el cual se plantearán escenarios de crecimiento de la zona impermeabilizada y se evaluará el impacto que este aumento tiene en el sistema de drenaje de agua lluvia existente en dichas comunidades.

Los beneficiarios directos del desarrollo de la investigación serán el VMVDU, las municipalidades y todos los entes encargados de la aprobación de nuevos proyectos urbanísticos y de impermeabilidad de suelos.

La Dirección de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del VMVDU de El Salvador y todas las instituciones involucradas en el planeamiento del desarrollo urbano, verán reducidos los descontentos que generan la subjetividad de criterios de evaluación de las factibilidades técnicas de proyectos de urbanización, los excesivos tiempos de otorgamiento de permisos de construcción y se dispondrá de un mejor criterio de planificación urbana en los territorios.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Descripción del alcantarillado pluvial

Se denomina alcantarillado o también red de alcantarillado o red de drenaje al sistema de estructuras y tuberías usado para la recogida y transporte de las aguas pluviales de una población desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten al medio natural. La red de alcantarillado se considera un servicio básico, sin embargo la cobertura de estas redes en las ciudades de países en desarrollo es mínimo en relación con la cobertura de las redes de agua potable. Esto genera importantes problemas sanitarios.

Durante mucho tiempo, la preocupación de las autoridades municipales o departamentales estaba más ocupada en construir redes de agua potable, dejando para un futuro indefinido la construcción de las redes de alcantarillado. Las redes de alcantarillado son estructuras hidráulicas que funcionan a presión atmosférica, por gravedad. Sólo muy raramente, y por tramos breves, están constituidos por tuberías que trabajan bajo presión o por vacío. Normalmente están constituidas por canales de sección circular o compuesta, enterrados la mayoría de las veces bajo las vías públicas.

2.1.1 Sistemas de alcantarillado pluvial.

Es importante conocer cuál es la importancia por la cual se crea un diseño de alcantarillado pluvial y a la vez describir de la mejor manera dichos sistemas.

2.1.1.1 Descripción del sistema de alcantarillado pluvial.

El alcantarillado de aguas de lluvia está conformado por el conjunto de colectores y canales necesarios para evacuar la escorrentía superficial producida por la lluvia. Inicialmente el agua es captada a través de los sumideros en calles y las conexiones domiciliarias, y llevada a una red de tuberías que van ampliando su sección a medida que aumenta el área de drenaje. Posteriormente estos colectores se hacen demasiado grandes y entregan su caudal a una serie de canales, los que harán la entrega final a una quebrada y río.

2.1.1.2 Alcantarillado

En la mayoría de las ciudades se tiene la necesidad de desalojar el agua de lluvia para evitar que se inunden las viviendas, los comercios, las industrias y otras áreas de interés. Además, el hombre requiere deshacerse de las aguas que han servido para su aseo y consumo.

Por otra parte, la construcción de edificios, casas, calles, estacionamientos y otros modifican el entorno natural en que habita el hombre y, tiene como algunas de sus tantas consecuencias, la creación de superficies poco permeables, es decir que favorece a la presencia de una mayor cantidad de agua sobre el terreno y la eliminación de los cauces de las corrientes naturales (que reduce la capacidad de desalojo de las aguas pluviales y residuales). Así, la urbanización incrementa los volúmenes de agua de lluvia que escurren superficialmente, debido a la impermeabilidad de las superficies de concreto y pavimento.

Por ello, las conducciones artificiales para evacuar el agua son diseñadas con mayor capacidad que la que tienen las corrientes naturales existentes. Los sistemas de alcantarillado se encargan de conducir las aguas de desecho y pluviales captadas en los sitios de asentamiento de las conglomeraciones humanas para su disposición final.

2.1.1.3 Importancia del alcantarillado pluvial

El alcantarillado, tiene como su principal función la conducción de aguas pluviales hasta sitios donde no provoquen daños e inconvenientes a los habitantes de poblaciones de donde provienen o a las cercanas. Un sistema de alcantarillado está constituido por una red de conductos e instalaciones complementarias que permiten la operación, mantenimiento y reparación del mismo. Su objetivo es la evacuación de las aguas pluviales, que escurren sobre calles y avenidas, evitando con ello su acumulación y propiciando el drenaje de la zona a la que sirven. De ese modo se impide la generación y propagación de enfermedades relacionadas con aguas contaminadas.

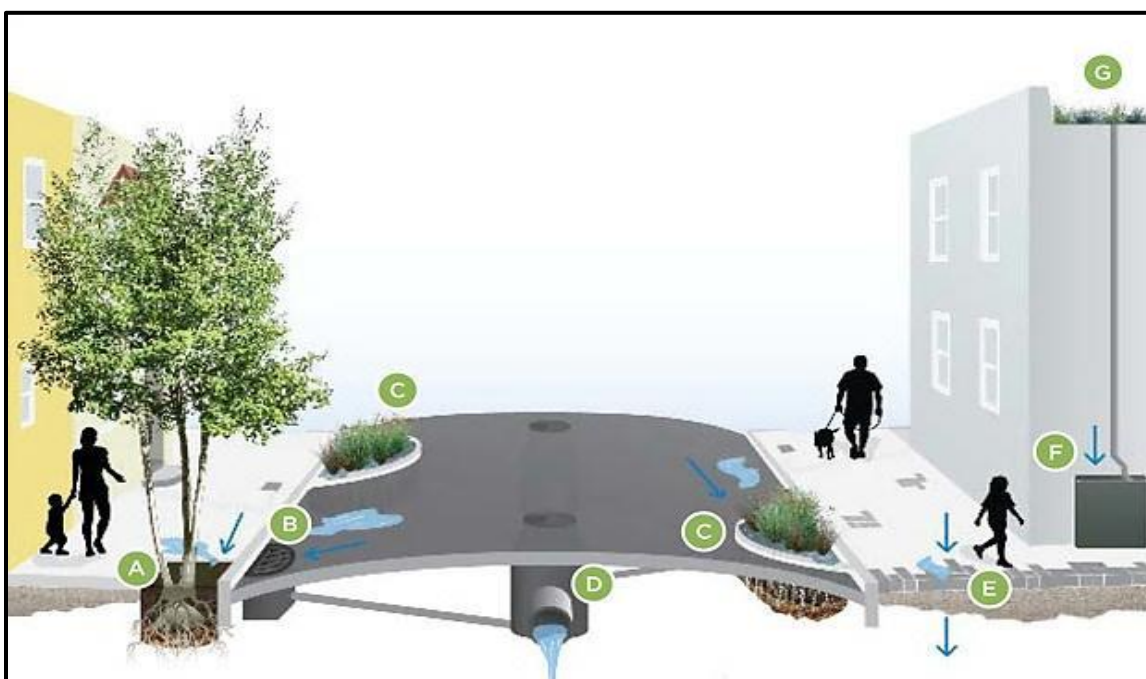
2.2 Componentes del Alcantarillado Pluvial.

La adecuada descripción de componentes conlleva a la mejor presentación y entendimiento de los sistemas de drenaje pluvial por lo que a continuación se presenta los componentes principales de un sistema de alcantarillado pluvial.

2.2.1 El sistema de alcantarillado pluvial

Los componentes principales de un sistema de alcantarillado se agrupan según la función para la cual son empleados. Así, un sistema de alcantarillado pluvial se integra de las partes siguientes (ver Ilustración 2.1):

Ilustración 2.1 Componentes principales de un Sistema de Drenaje Pluvial.



A = Infiltración natural.

B = Tragantes.

C = Estructuras de conexión.

D = Pozos de visita.

E = Estructuras de vertido.

F = Estructura de vertido en conductos cerrados.

G = Obras complementarias.

2.2.1.1 Tragantes, estructuras de captación. Son las estructuras que recolectan el agua que escurre sobre la superficie del terreno y la conducen al sistema (Ilustración 2.2). Se ubican a cierta distancia en las calles con el fin de interceptar el flujo superficial, especialmente aguas arriba del cruce de calles y avenidas de importancia; también se les coloca en los puntos bajos del terreno, donde pudiera acumularse el agua. Están constituidas por una caja que funciona como desarenador donde se depositan las materias pesadas que arrastra el agua y por una coladera con su estructura de soporte que permite la entrada del agua de la superficie del terreno al sistema de la red mediante una tubería de concreto a la que se le denomina “albañal pluvial”. La coladera evita el paso de basura, ramas y otros objetos que pudieran taponar los conductos de la red.

Ilustración 2.2 Detalle de Tragante



Existen varios tipos de tragantes, a los cuales se acostumbra llamarles coladeras pluviales: las de piso, de banqueta., combinadas, longitudinales y transversales. Las coladeras de piso se instalan formando parte del pavimento al mismo nivel de su superficie y las de banqueta se construyen formando parte de la protección. Cuando se requiere captar mayores gastos, puede hacerse una combinación de ambas. Las coladeras longitudinales son un tipo especial de tragante. La selección de alguna de ellas o de alguna de sus combinaciones depende exclusivamente de la pendiente longitudinal de las calles y del caudal por recolectar. En ocasiones, se les combina con una depresión del espesor del pavimento para hacerlas más eficientes.

2.2.1.2 Estructuras de conducción. Transportan las aguas recolectadas por las estructuras de captación hacia el sitio de vertido. Representan la parte medular de un sistema de alcantarillado y se forman con conductos cerrados y abiertos conocidos como tuberías y canales, respectivamente.

2.2.1.3 Estructuras de conexión y mantenimiento. Son estructuras subterráneas construidas hasta el nivel del suelo o pavimento, donde se les coloca una tapa. Su forma es cilíndrica en la parte inferior y tronco cónico en la parte superior, y son lo suficientemente amplias como para que un hombre baje a ellas y realice maniobras en su interior, ya sea para mantenimiento o inspección de los conductos (Ilustración 2.3).

El piso es una plataforma con canales que encauzan la corriente de una tubería a otra, y una escalera marina que permite el descenso y ascenso en el interior. Un brocal de hierro fundido o de concreto armado protege su desembocadura a la superficie y una tapa perforada, ya sea de hierro fundido o de concreto armado cubre la boca. Se les conoce como pozos de visita o cajas de visita según sus dimensiones. Este tipo de estructuras facilitan la inspección y limpieza de los conductos de una red de alcantarillado, y también permite la ventilación de los mismos. Su existencia en las redes de alcantarillado es vital para el sistema, pues sin ellas, estos se taponarían y su reparación podría ser complicada y costosa. Para dar mantenimiento a la red, los pozos de visita se ubican al inicio de los colectores, en puntos donde la tubería cambia de diámetro, dirección o de pendiente y también donde se requiere la conexión con otras atarjeas, subcolectores o colectores.

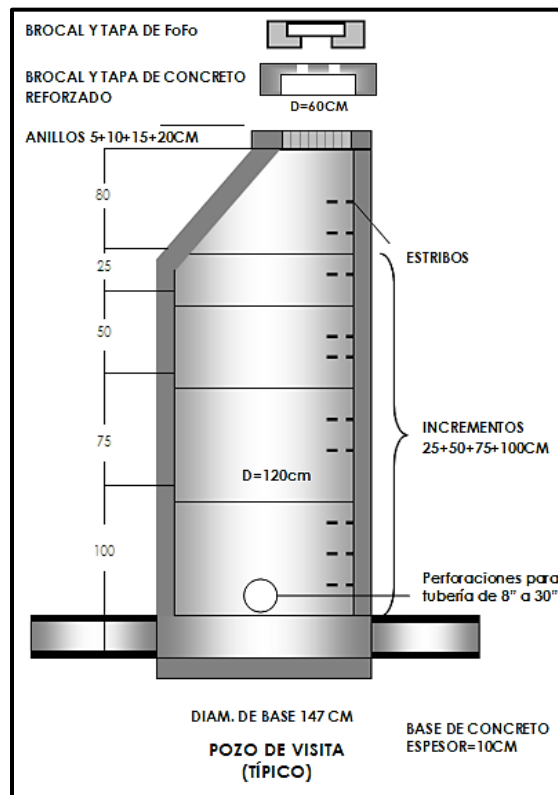
Por regla los pozos de visita en una sola tubería no se colocan a intervalos mayores de 100² m dependiendo de los diámetros de las tuberías a unir. Existen varios tipos de pozos de visita que se clasifican según la función y dimensiones de las tuberías

² Art. 91 Ley de Urbanismo y Construcción: pozos de visita para aguas lluvias. La distancia máxima entre pozos de visita será de 100 metros, con una variación permisible del 15% en casos especiales.

que confluyen en los mismos e incluso del material de que están hechos. Así se tienen: pozos comunes de visita, pozos especiales de visita, pozos para conexiones oblicuas, pozos caja, pozos caja unión, pozos caja de deflexión, pozos con caída (adosada, normal y escalonada).

Los pozos de visita usuales se fabrican con ladrillo y concreto. También existen pozos de visita prefabricados de concreto reforzado, fibrocemento y de polietileno. Los pozos permiten la conexión de tuberías de diferentes diámetros o materiales, siendo los pozos comunes para diámetros pequeños y los pozos caja para diámetros grandes.

Ilustración 2.3 Detalle típico de pozo de visita.



2.2.1.4 Estructuras de vertido. Son estructuras terminales que protegen y mantienen libre de obstáculos la descarga final del sistema de alcantarillado, pues evitan posibles daños al último tramo de tubería que pueden ser causados por la corriente adonde descarga el sistema o por el propio flujo de salida de la tubería.

2.2.1.5 Instalaciones complementarias. Se considera dentro de este grupo a todas aquellas instalaciones que no necesariamente forman parte de todos los sistemas de alcantarillado, pero que en ciertos casos resultan importantes para su correcto funcionamiento. Entre ellas se tiene a las plantas de bombeo, plantas de tratamiento, estructuras de cruce, vasos de regulación y de detención, disipadores de energía, etc.

2.2.1.6 Disposición final. La disposición final de las aguas captadas por un sistema de alcantarillado no es una estructura que forme parte del mismo; sin embargo, representa una parte fundamental del proyecto de alcantarillado. Su importancia radica en que si no se define con anterioridad a la construcción del proyecto el destino de las aguas pluviales, entonces se pueden provocar graves daños al medio ambiente e incluso a la población servida o a aquella que se encuentra cerca de la zona de vertido.

2.3 Diseño de Red de Drenaje Pluvial.

El diseño de sistemas de alcantarillado de aguas lluvias involucra la determinación de los diámetros, las pendientes, las elevaciones de clave y de batea para cada tubo del sistema. La filosofía de diseño de una red de drenaje pluvial es que el caudal originado por la precipitación que cae sobre el área de influencia de la red nunca sobrepase la capacidad de conducción de dicho sistema. Para determinar dicha relación los diseñadores toman herramientas de la Hidrología y la Hidráulica para obtener un diseño eficiente y funcional del sistema de drenaje.

2.3.1 Evaluación del Caudal de Diseño.

Generalmente, puede ser empleado cualquier modelo de lluvia-escorrentía. Para superficies menores a 2.5 Km² se recomienda utilizar el método Racional, dada su simplicidad.

Sin embargo, para áreas mayores a 2.5 Km² se debería utilizar un modelo más apropiado a las características de la cuenca, por ejemplo el método de Hidrograma Unitario, el método del Soil Conservation Service u otro método similar³.

2.3.1.1 Método Racional.

El método racional, el cual empezó a utilizarse alrededor de la mitad del siglo XIX, es probablemente el método más ampliamente utilizado hoy en día para el diseño de alcantarillados de aguas lluvias.

A pesar de que han surgido críticas válidas acerca de lo adecuado de este método, se sigue utilizando para el diseño de alcantarillados debido a su simplicidad. Una vez que se ha seleccionado la distribución y se han determinado los tamaños de las tuberías por el método racional, la bondad del sistema puede verificarse utilizando un tránsito dinámico de los hidrogramas del caudal a través del sistema.

³ Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de sus Municipios aledaños

La idea detrás del método racional es que si una lluvia con intensidad i empieza en forma instantánea y continua en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuara hasta que se llegue al tiempo de concentración t_c , en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo en la salida. El producto de la intensidad de lluvia i y el área de la cuenca A es el caudal de entrada al sistema iA , y la relación entre este caudal y el caudal pico Q (que ocurre en el tiempo t_c) se conoce como el coeficiente de escorrentía C ($0 \leq C \leq 1$). Este se expresa en la fórmula del Método Racional⁴:

$$Q = CIA$$

La duración utilizada para la determinación de la intensidad de precipitación de diseño i en la fórmula es el tiempo de concentración en la cuenca.

En áreas urbanas, el área de drenaje usualmente está compuesta de sub áreas o sub cuencas de diferentes características superficiales. Como resultado se requiere un análisis compuesto que tenga en cuenta las diferentes características superficiales. Las áreas de las sub cuencas se denominan como A_j y los coeficientes de escorrentía para cada una de ellas se denominan como C_j . La escorrentía pico se calcula al utilizar la siguiente forma de la formula racional:

$$Q = i \sum_{j=1}^m C_j A_j$$

Donde m es el número de subcuencas drenadas por un alcantarillado.

Las suposiciones asociadas con el método racional son:

- 1) La tasa de escorrentía pico calculada en el punto de salida de la cuenca es una función de la tasa de lluvia promedio durante el tiempo de concentración, es decir, el caudal pico no resulta de una lluvia más intensa, de menor duración, durante la cual solamente una porción de la cuenca contribuye a la escorrentía a la salida de esta.

⁴ Hidrología Aplicada. Ven te Chow. Pág. 510.

- 2) El tiempo de concentración empleado es el tiempo para que la escorrentía se establezca y fluya desde la parte más remota del área de drenaje hacia el punto de entrada del alcantarillado que se está diseñando.
- 3) La intensidad de lluvia es constante durante toda la tormenta.

2.3.1.1.1 Área de Drenaje.

Debe determinarse el tamaño y la forma de la cuenca o sub cuenca bajo consideración. El área puede determinarse utilizando planímetros en mapas topográficos, o mediante trabajos topográficos de campo cuando los datos topográficos han cambiado o cuando el intervalo entre las líneas de nivel en los mapas es demasiado grande para distinguir la dirección del flujo.

Deben medirse el área de drenaje que contribuye al sistema que se está diseñando y la sub área de drenajes que contribuye a cada uno de los puntos de entrada. El esquema de la divisoria del drenaje debe seguir las fronteras reales de la cuenca, en lugar de las fronteras comerciales de los terrenos, como puede utilizarse en alcantarillados de aguas residuales. Las líneas divisorias del drenaje están influidas por las pendientes de pavimentos, la localización de conductos subterráneos y parques pavimentados o no pavimentados, la calidad de pastos, los céspedes, y muchas otras características introducidas por la urbanización.

2.3.1.1.2 Coeficiente de Escorrentía.

El coeficiente de escorrentía C es la variable menos precisa del método racional. Su uso en la fórmula implica una relación fija entre la tasa de escorrentía pico y la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje, lo cual no es cierto en la realidad. La proporción de la lluvia total que alcanzarán los drenajes de tormenta depende del porcentaje de permeabilidad, de la pendiente y de las características de encharcamiento de la superficie.

Superficies impermeables, tales como los pavimentos de asfalto o los techos de edificios, producirán una escorrentía de casi el ciento por ciento después de que la superficie haya sido completamente mojada, independientemente de la pendiente. Inspecciones de campo y fotografías aéreas son muy útiles en la estimación de la naturaleza de la superficie dentro del área de drenaje.

El coeficiente de escorrentía también depende de las características y las condiciones del suelo. La tasa de infiltración disminuye a medida que la lluvia continúa y también es influida por las condiciones de humedad antecedentes en el suelo.

Otros factores que influyen en el coeficiente de escorrentía son la intensidad de lluvia, la proximidad del nivel freático, el grado de compactación del suelo, la porosidad del subsuelo, la vegetación, la pendiente del suelo y el almacenamiento por depresión. Debe escogerse un coeficiente razonable para representar los efectos integrados de todos estos factores. En la Tabla 2.1 se presentan algunos coeficientes de escorrentía típicos.

Tabla 2.1 Coeficientes de Escorrentía utilizados en el Método Racional

ÁREAS URBANAS	
Uso de Suelo	Coeficientes de Escorrentía
Comercio	0.70 - 0.95
Residencial alta densidad	0.65 - 0.80
Residencial media densidad	0.40 - 0.60
Residencial baja densidad	0.30 - 0.50
Industrial más del 70% impermeable	0.60 - 0.90
Industrial hasta el 70% impermeable	0.50 - 0.80
Parques y Cementerios	0.10 - 0.25
Parqueos Concreto	0.70 - 0.95
Parqueos Asfalto	0.80 - 0.95
Áreas Peatonales	0.75 - 0.85
Techos	0.75 - 0.95

Fuente: Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de sus Municipios aledaños

Cuando se tiene un área de estudio con distintos tipos de impermeabilización, el coeficiente de escorrentía se calcula en una forma ponderada, en la que influyen las sub áreas de impermeabilización y cómo estas afectan en el escurrimiento del área total que conforman. Para ello, se hace uso de Ecuación de Coeficiente de Escorrentía ponderado, la cual se plantea de la siguiente manera:

$$C_{Pon} = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}$$

Donde:

C_{Pon} = Coeficiente de Escorrentía Ponderado.

C_i = Coeficiente de Escorrentía del Área i .

A_i = Superficie del Área i .

2.3.1.1.3 Intensidad de Lluvia.

La intensidad de lluvia i es la tasa promedio de lluvia para una cuenca o sub cuenca de drenaje particular. La intensidad se selecciona con base en la duración de lluvia de diseño y el periodo de retorno. La duración de diseño es igual al tiempo de concentración para el área de drenaje en consideración. El periodo de retorno se establece utilizando estándares de diseño o es escogido por el hidrólogo como un parámetro de diseño.

Se supone que la escorrentía alcanza su pico en el tiempo de concentración t_c cuando toda la cuenca está contribuyendo al flujo en su salida. El tiempo de concentración es el tiempo requerido por una gota de agua para fluir desde el punto más remoto en la cuenca hasta el punto de interés. Puede utilizarse un procedimiento de tanteos para determinar el tiempo crítico de concentración donde existen varias rutas posibles que deben considerarse.

El tiempo de concentración de cualquier punto en un sistema de drenaje de aguas lluvias es la suma del tiempo de entrada t_0 (el tiempo que se toma para fluir desde el punto más remoto hasta la entrada al alcantarillado) y del tiempo de flujo t_f en los alcantarillados localizados aguas arriba conectados al punto de salida:

$$t_c = t_0 + t_f$$

El tiempo de flujo está dado por la ecuación:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$$

Donde L_i es la longitud del i -ésimo tubo a lo largo de la trayectoria del flujo y V_i es la velocidad del flujo en el tubo.

El tiempo de entrada, o tiempo de concentración para el caso de que no exista alcantarillado aguas arriba, puede obtenerse mediante observaciones experimentales o puede estimarse utilizando ecuaciones como las presentadas en la tabla siguiente:

Tabla 2.2 Resumen de las Ecuaciones de Tiempo de Concentración.

Método y fecha	Fórmula para t_c (min)	Observaciones
Kirpich (1940)	$t_c = 0.0078L^{0.77}S^{-0.385}$ L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, pies S = pendiente promedio de la cuenca, pies/pie	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales en Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 60(11.9L^3/H)^{0.385}$ L = longitud del curso de agua más largo, mi H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, pies	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California (U. S. Bureau of Reclamation, 1973, pp. 67-71).
Izzard (1946)	$t_c = \frac{41.025(0.0007i + c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}$ i = intensidad de lluvia, pulg/h c = coeficiente de retardo L = longitud de la trayectoria de flujo, pies S = pendiente de la trayectoria de flujo, pies/pie	Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 500 .
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 1.8(1.1 - C)L^{0.50}/S^{0.333}$ C = coeficiente de escorrentía del método racional L = longitud del flujo superficial, pies S = pendiente de la superficie, %	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers; el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.

Fuente: Hidrología Aplicada, Ven Te Chow

Pueden existir varias rutas posibles de flujo para diferentes cuencas drenadas por un alcantarillado; el mayor tiempo de concentración de todos los tiempos para las diferentes rutas se supone que es el tiempo de concentración crítico del área drenada.

Debido a que las áreas que llegan a la mayor parte de las obras de captación de aguas lluvias son relativamente pequeñas, también es bastante común determinar el tiempo de entrada con base en experiencias bajo condiciones similares.

El tiempo de entrada disminuye a medida que tanto la pendiente como la impermeabilidad de la superficie aumentan, y se incrementa a medida que la distancia sobre la cual tiene que viajar el agua se incrementa y a medida que la retención en las superficies de contacto aumenta. Todos los tiempos de entrada determinados con base en la experiencia deben verificarse mediante cálculos directos de la escorrentía superficial en el terreno.

2.3.2 Normas de Diseño de Drenaje Pluvial

Además de cumplir con los requerimientos presentados en el numeral 2.3.1, deben garantizarse las siguientes normas particulares de los sistemas de drenaje pluvial.

2.3.2.1 Velocidad

Las velocidades del flujo en las tuberías constituyen un parámetro de suma importancia para el desempeño de éstas, ya que valores bajos de velocidad provocarían sedimentación del material de arrastre que lleva consigo el escurrimiento de agua lluvia y por otra parte velocidades muy altas provocarían el deterioro o hasta el colapso total de las tuberías.

2.3.2.1.1 Velocidad Mínima

La velocidad mínima requerida en los sistemas de drenaje pluvial depende de la norma exigida para el proyecto. La normativa utilizada en El Salvador es el Reglamento a la Ley de Urbanismo y Construcción, en lo relativo a parcelaciones y urbanizaciones habitacionales, Capítulo Sexto “de la infraestructura y los servicios”, “Obras de Urbanización para Aguas Lluvias”, del artículo 91 al 93.

La ley no se enfoca en el tema propiamente de Velocidad Mínima, sino en el de Pendiente Mínima, la cual es de $S = 0.50 \%$. Con dicho parámetro se obtiene la velocidad media presente en una tubería que trabaja a presión a través de la ecuación de Manning.

La fórmula de Manning es una evolución de la fórmula de Chézy para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, propuesta por el ingeniero irlandés Robert Manning, en 1889:

$$V = \frac{1}{n} Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

V = Velocidad media del agua en m/s, que es función del tirante hidráulico h .

n = Coeficiente de Rugosidad de Manning, depende de la rugosidad de la pared del conducto.

Rh = Radio Hidráulico en metros, función del tirante hidráulico h .

S = Pendiente de la línea de agua en m/m.

Que en términos de Caudal bajo condiciones de flujo uniforme, la Ecuación de Manning se presenta de la siguiente manera:

$$Q = \frac{0.399}{n} * A * D^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal evacuado por el colector, m³/seg

n = Coeficiente Manning del material de Tubería, adimensional (ver Tabla 2.3).

A = Área interna del tubo, m².

D = Diámetro del colector, m.

S = Pendiente de la línea de Energía, m/m.

Tabla 2.3 Coeficientes de Rugosidad "n" de algunos materiales típicos.

COEFICIENTE MANNING POR MATERIAL	
MATERIAL	n
Plástico (PE, PVC, CPVC)	0.0073
Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio	0.0090
Asbesto-Cemento	0.0120
Concreto Simple	0.0140
Concreto (Cimbra metálica)	0.0110
Concreto (Cimbra madera)	0.0150
Concreto reforzado Prefabricado	0.0130
Acero	0.0105
Hierro Galvanizado	0.0100
Hierro Fundido (nuevo)	0.0120
Conductos construidos en mampostería de ladrillo	0.0160

Fuente: "Diseño de Acueductos y Alcantarillados, 2ª Edición, Ricardo Alfredo López Cualla.

Radio Hidráulico: El radio hidráulico es un parámetro importante en el dimensionado de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas, generalmente es representado por la letra Rh , y expresado en m es la relación entre:

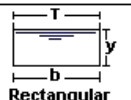


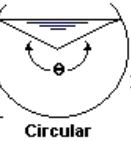
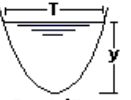
- El Área mojada (A , en m^2).
- El Perímetro mojado (P , en m).

$$Rh = \frac{A}{P}$$

Cálculo según el canal: Las expresiones que permiten su cálculo son función de la forma geométrica de la sección transversal del canal (ver Tabla 2.4).

En la siguiente tabla se resumen las secciones más utilizadas con las unidades del sistema internacional:

Tabla 2.4 Ejemplos de Secciones de canales utilizados comúnmente

Tipo de sección	Área A (m^2)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación

La velocidad mínima recomendada ronda los valores de **0.8 a 1.0 m/seg.**

2.3.2.1.2 Velocidad Máxima

El Reglamento a la Ley de Urbanismo y Construcción de El Salvador no se enfatiza en el tema de Velocidades Máximas, pero sí en el de Pendientes Máximas, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2.5 Pendientes Máximas Correspondientes a los diferentes Diámetros de Tuberías.

Diámetro de Tuberías (pulgadas)	Pendiente Máxima Permisible (%)
12	6.5
15	5.8
18	5.0
24	3.0
30	2.5
36	2.0
42	2.0
48	2.0
60	1.5
72	1.0

Fuente: Reglamento a la Ley de Urbanismo y Construcción, Capítulo Sexto, “de la infraestructura y los servicios”, “Obras de Urbanización para Aguas Lluvias”, Artículo 91.

Al igual que con la Velocidad Mínima, con tal parámetro de Pendiente Máxima se obtiene la Velocidad Media presente en una tubería a través de la ecuación de Manning.

Para aguas con cantidades no significativas de sedimentos suspendidos, la velocidad máxima es función del material de la tubería, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 2.6 Velocidad máxima para tuberías de sistemas de drenaje pluvial, m/s

Material de Tubería	Agua con Sedimentos Coloidales	Agua con fragmentos de arena y grava
Ladrillo Común	3.0	2.0
Ladrillo vitrificado y gres	5.0	3.3
Concreto de:		
140 kg/cm ²	3.0	2.0
210 kg/cm ²	5.0	3.3
250 kg/cm ²	6.0	4.0
280 kg/cm ²	6.5	4.3
315 kg/cm ²	7.5	5.0
Concreto Reforzado mayor de 280 kg/cm² y curado al vapor	10.0	6.6
Cloruro de Polivinilo	10.0	10.0

Fuente: "Diseño de Acueductos y Alcantarillados, 2ª Edición, Ricardo Alfredo López Cualla.

2.3.2.2 Diámetro Mínimo.

El diámetro mínimo de la sección de alcantarillados pluviales es de 10 pulgadas (0.25 m)⁵.

⁵ Diseño de Acueductos y Alcantarillados, 2ª Edición, Ricardo Alfredo López Cualla.

2.3.2.3 Borde libre en los Colectores.

El Colector de alcantarillado pluvial debe trabajar bajo condiciones de flujo por gravedad, por ende debe estar en la capacidad de evacuar un caudal igual que el caudal de diseño a tubo trabajando a un 70% de su capacidad hidráulica total.

$$Q_{LL70\%} = 0.70 * Q_{Tubo Lleno}$$

CAPÍTULO III:

EVALUACIÓN DEL

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

DE SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL.

3.1 Delimitación de Área de Estudio.

El estudio se basa en el análisis hidrológico e hidráulico de un área urbanizada seleccionada para poner a prueba su sistema de drenaje pluvial ante el aumento de zonas impermeabilizadas, por lo que a continuación se detallan los criterios tomados para su selección, así como una pequeña descripción de la misma.

3.1.1 Criterios de selección de Área de estudio.

Los criterios tomados en cuenta para la selección del área de estudio son los siguientes:

3.1.1.1 Zona actualmente urbanizada con un área verde urbanizable aledaña. Es necesario que el área de estudio posea tanto una porción ya urbanizada como una porción de zona verde aledaña con potencial de ser urbanizada. Además es muy importante que dicha zona verde se encuentre a una cota topográfica superior a la de la zona ya urbanizada, puesto que se necesitará que la escorrentía superficial provocada por la precipitación se dirija hacia la porción urbanizada al momento de impermeabilizar dicho sector.

3.1.1.2 Sitio de constante crecimiento habitacional. Se opta por contar con la ayuda del programa computacional “Google Earth” para analizar el comportamiento del crecimiento urbano en dicha zona a lo largo de los años.

3.1.1.3 Cercanía. Un área de estudio cercana minimiza tiempo de movilización y recursos financieros, haciendo que se reduzcan significativamente los costos de la investigación.

3.1.1.4 Seguridad. Se busca además garantizar la seguridad del recurso humano evitando poner en riesgo al equipo investigador en el tema de la violencia, por lo tanto el área deberá ser considerada de bajo riesgo delictivo.

Luego de haber analizado cada parámetro mencionado, se concluyó tomar como Área de Estudio la comprendida por la Urbanización “Jardín del Rocío”, ubicada en la cabecera departamental de Santa Ana.

3.1.2 Descripción del Área de Estudio.

El área seleccionada se encuentra ubicada en municipio de Santa Ana, departamento de Santa Ana y es la correspondiente a la de la Urbanización “Jardín del Rocío”.

A continuación se presenta el esquema de ubicación del Área de Estudio:

Ilustración 3.1 Esquema de Ubicación Urbanización "Jardín del Rocío"



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación.

Dicha urbanización posee sistema de drenaje pluvial. Superficialmente, se divisan canaletas, cajas tragantes y tapaderas de pozos de visita; además, la zona verde aledaña presenta una cota topográfica superior a la de la urbanización, tal y como se especificó en el Numeral 3.1.1. A continuación se muestran algunas fotografías de dicha Zona:

*Ilustración 3.2 Vista al Oeste sobre Calle Virgen del Espino
Urbanización "Jardín del Rocío".*



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación.

*Ilustración 3.3 Vista al Norte sobre 17 Avenida Sur
Urbanización "Jardín del Rocío".*



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación.

*Ilustración 3.4 Vista al Norte sobre 17 Avenida Sur
Urbanización "Jardín del Rocío".*



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación

*Ilustración 3.5 Vista al Este sobre Calle Virgen del Espino
Urbanización "Jardín del Rocío".*



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación.

3.2 Análisis Hidrológico.

3.2.1 Determinación de parámetros físicos en Área de Estudio.

Las características físicas de una cuenca forman un conjunto que influye profundamente en el comportamiento hidrológico de dicha zona tanto a nivel de las excitaciones como de las respuestas de la cuenca tomada como un sistema.

A continuación se detallan las características morfológicas más importantes del área de Estudio:

3.2.1.1 Área de la Cuenca

El área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de esorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

Para la delimitación del área de estudio y las áreas tributarias de cada tramo se trabajó con el programa AutoCAD en base a los planos de la ciudad (obtenidos por medio de catastro de la ciudad de Santa Ana) y la dirección del flujo que el agua precipitada tomaría en las calles y avenidas, obteniendo como área total de la micro cuenca (ver Ilustración 3.6):

$$A_{\text{micro cuenca}} = 25,530.69 \text{ m}^2 = 2.553 \text{ Ha}$$

*Ilustración 3.6 Delimitación de Área de Estudio
Urbanización "Jardín del Rocío", Santa Ana*



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación.

3.2.1.2 Longitud, Perímetro y Ancho

La longitud, L , de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca, tal y como se muestra en la Ilustración 3.7:

Ilustración 3.7 Longitud y Perímetro de micro cuenca en estudio.



Para el área de estudio en cuestión, se tiene una longitud del cauce principal:

$$L = 262.55 \text{ m}$$

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de divorcio de la hoya es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula P. Para el área de estudio se cuenta con un perímetro:

$$P = 767.76 \text{ m}$$

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y se designa por la letra W. De forma que para la micro cuenca en estudio:

$$W = \frac{A}{L}$$

$$W = \frac{25,530.69 \text{ m}^2}{262.55 \text{ m}}$$

$$W = 97.24 \text{ m}$$

3.2.1.3 Desnivel Altitudinal (DA)

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja; para la micro cuenta en cuestión se tiene:

$$DA = HM - Hm$$

$$DA = 681.92 \text{ m} - 675.73 \text{ m}$$

$$DA = 6.18 \text{ m}$$

3.2.2 Curvas de Intensidad - Duración y Frecuencia (Periodo de retorno) / Curvas IDF.

La forma más práctica de obtener el dato de intensidad de la lluvia, el cual es insumo para la formula racional, se realizó de la siguiente manera:

1. Haciendo uso de un GPS de precisión, se toman las coordenadas geográficas del punto de interés del área de influencia del proyecto.
2. Consultando la tabla de Ubicación Geográfica de las estaciones meteorológicas principales de El Salvador (Tabla 3.1), se grafican dichos puntos en Google Earth, así como el punto de interés del área de influencia del proyecto.

Tabla 3.1 Ubicación Geográfica de las principales Estaciones Meteorológicas de El Salvador.

Código	Estaciones	Latitud Norte	Longitud Oeste	Elevación (m.s.n.m.)
ZONA OCCIDENTAL				
A-37	Santa Ana, UNICAES	13° 58.9'	89° 32.9'	685
A-15	Güija	14° 13.7'	89° 28.7'	485
A-18	Los Andes	13° 52.5'	89° 38.7'	1770
A-27	Candelaria La Frontera	14° 07.2'	89° 39.1'	700
A-31	Los Planes de Montecristo	14° 23.9'	89° 21.6'	1971
H-8	Ahuachapán	13° 56.6'	89° 51.6'	725
H-14	La Hachadura	13° 51.6'	90° 05.4'	30
T-6	Acajutla	13° 34.4'	89° 50.0'	15
T-24	Los Naranjos	13° 52.5'	89° 40.5'	1450
ZONA CENTRAL				
G-3	Nueva Concepción	14° 07.5'	89° 17.4'	320
G-4	La Palma	14° 17.5'	89° 09.7'	1000
G-13	Las Pilas	14° 21.9'	89° 05.4'	1960
L-4	San Andrés	13° 48.5'	89° 24.4'	460
L-27	Chilitupán	13° 35.7'	89° 28.9'	680
S-10	Ilopango	13° 41.9'	89° 07.1'	615
ZONA PARACENTRAL				
C-9	Cojutepeque	13° 43.2'	88° 55.6'	880
V-9	Puente Cuscatlán	13° 36.1'	88° 35.6'	20
B-1	Chorrera del Guayabo	13° 59.8'	88° 45.4'	190
B-6	Sensuntepeque	13° 52.2'	88° 39.0'	650
B-10	Cerrón Grande	13° 56.3'	88° 47.1'	200
ZONA ORIENTAL				
M-24	San Miguel UES	13° 26.3'	88° 09.5'	117
U-6	Santiago de María	13° 29.1'	88° 28.3'	920
Z-2	San Francisco de Gotera	13° 41.8'	88° 05.4'	250
Z-3	Perquín	13° 57.5'	88° 09.7'	1225
N-2	La Unión, Corsain	13° 19.9'	87° 52.9'	35

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN.

3. Se elige la estación más cercana a la zona del proyecto (ver Anexo 1).
4. Se adquiere en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales la curva IDF de la estación seleccionada. De Ahí obtendremos el valor de intensidad de la formula racional.

3.2.2.1 Intensidad de lluvia.

La intensidad de lluvia i es la tasa promedio de lluvia para una cuenca o subcuenca de drenaje particular. La intensidad se selecciona en base a la duración de lluvia de diseño y el periodo de retorno.

3.2.2.2 Duración de la lluvia

La duración de diseño es igual al tiempo de concentración para el área de drenaje en consideración. El tiempo de concentración es el tiempo requerido por una gota de agua para fluir desde el punto más remoto en la cuenca hasta el punto de interés (ver Ilustración 3.8). El tiempo de concentración de cualquier punto en un sistema de drenaje de aguas lluvias es la suma del tiempo de entrada t_0 (el tiempo que se toma para fluir desde el punto más remoto hasta la entrada al alcantarillado) y del tiempo de flujo t_f en los alcantarillados localizados aguas arriba conectados al punto de salida:

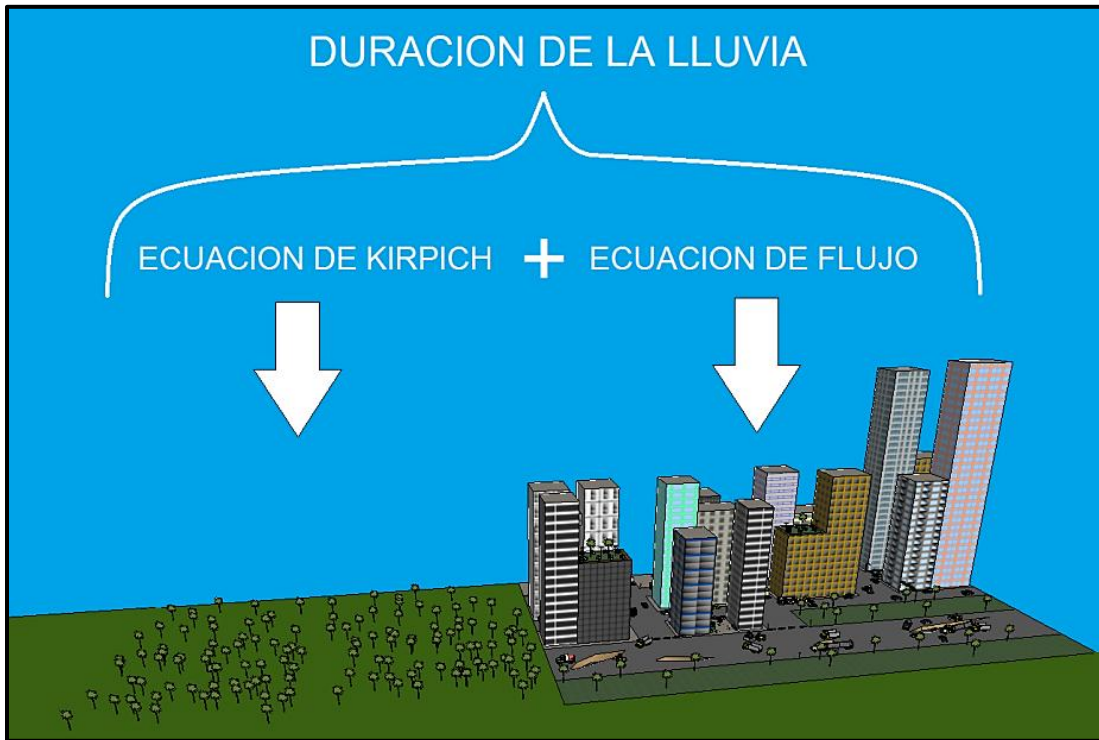
$$t_c = t_0 + t_f$$

El tiempo de flujo está dado por la ecuación:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$$

Donde L_i es la longitud del i-esimo tubo a lo largo de la trayectoria del flujo y V_i es la velocidad del flujo en el tubo.

Ilustración 3.8 Esquema de Tiempo de Duración de la Lluvia



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación

En la Tabla 3.2 se detalla el cálculo del tiempo de flujo para la obtención del tiempo de concentración:

Tabla 3.2 Obtención del Tiempo de Flujo, min.

ID COLECTOR	Longitud m	Velocidad m/s	L_i / V_i
AB	50.038	2.34	21.40
BD	34.477	2.55	13.53
DE	106.098	3.07	34.58
EH	31.349	4.38	7.16
HI	40.590	4.89	8.31
SUMATORIA (seg):			84.97
SUMATORIA (min):			1.42

Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación

El tiempo de entrada, o tiempo de concentración para el caso de que no exista alcantarillado aguas arriba, puede obtenerse mediante observaciones experimentales o puede estimarse utilizando ecuaciones como por ejemplo la **Ecuación de Kirpich**:

$$T_c = 0.0078 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.386}}$$

La duración de la lluvia del área de estudio es de 1.42 min, pero la duración mínima de lluvia graficada en las curvas IDF es de 5 min. Por tanto se tomará una Duración de **5 min**.

3.2.2.3 Período de Retorno *Tr*.

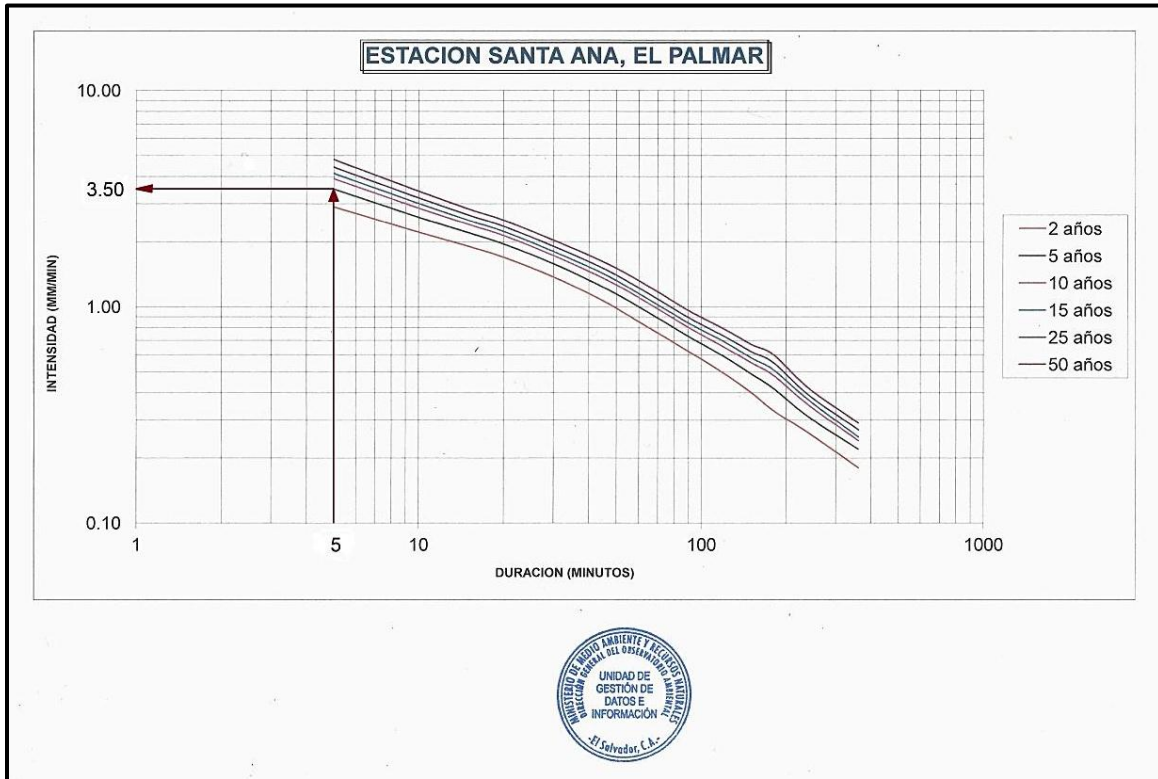
El periodo de retorno se establece utilizando estándares de diseño o es escogido por el hidrólogo como un parámetro de diseño.

Según el Reglamento a la Ley de Urbanismo y Construcción de El Salvador, el sistema de drenaje de aguas lluvias de toda parcelación será calculado por el urbanizador para intensidades de lluvia que ocurran con una frecuencia de una vez cada **cinco años**⁶, por lo que se optó por utilizar tal período de retorno *Tr*.

Con una duración de 5 minutos y un período de retorno de 5 años, se obtiene en la gráfica de las curvas IDF una Intensidad de **3.50 mm/min**, tal y como se muestra en la Ilustración 3.9:

⁶ Reglamento a la Ley de Urbanismo y Construcción, Capítulo Sexto, Obras de Urbanización para aguas lluvias, Artículo 91.

*Ilustración 3.9 Obtención de Intensidad de Lluvia
Tabla de Intensidad, Duración y Frecuencia
Estación Santa Ana, El Palmar.*



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN.

3.2.3 Coeficiente de escorrentía.

Para el siguiente análisis se utilizará un coeficiente de escorrentía ponderado para la urbanización, es decir, el más acertado para el tipo de suelo presente en la misma.

3.2.3.1 Cálculo del Coeficiente de Escorrentía Ponderado.

Luego de analizar la Urbanización, se tomaron proporciones del área tributaria para definir así el área de calzadas, techos y de zona verde. En la Tabla 3.3 se especifican los porcentajes tomados en base al área tributaria:

$$A_{Total} = A_{Techos} + A_{Calzada} + A_{ZonaVerde}$$

Tabla 3.3 Porcentajes de Área Tributaria

TIPO	ÁREA (m ²)	PORCENTAJE
TECHOS	18,466.59	72.33
CALZADA	5,370.85	21.04
ZONA VERDE	1,693.25	6.63
Área Total:	25,530.69	100 %

Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación

Estos porcentajes fueron obtenidos tras el análisis del plano en planta de la Urbanización “Jardín del Rocío” utilizando como herramienta el programa AutoCad.

Del Capítulo II se conoce que la ecuación para el coeficiente de Escorrentía ponderado es:

$$C_{Pon} = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}$$

Donde:

C_{Pon} = Coeficiente de Escorrentía Ponderado

C_i = Coeficiente de Escorrentía del Área i

A_i = Superficie del Área i

Los valores utilizados de C_i para las superficies son los representados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Coeficientes de Escorrentía por superficie.

TIPO	C_i
TECHOS	0.850
CALZADA	0.838
ÁREA VERDE	0.350

Fuente: Art. VI4 del Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños

A continuación se detalla el Cálculo del Coeficiente de Escorrentía ponderado para el Área de Estudio:

Tabla 3.5 Obtención de Coeficiente de Escorrentía Ponderado

TIPO	ÁREA	C_i	$A_i * C_i$
TECHOS	18,466.59	0.850	15,696.602
CALZADA	5,370.85	0.838	4,498.087
ZONA VERDE	1,693.25	0.350	592.638
Σ	25,530.69		20,787.33

Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación.

$$C_{Pon} = \frac{\Sigma C_i A_i}{\Sigma A_i}$$

$$C_{Pon} = \frac{20,787.33}{25,530.69}$$

$$C_{Pon} = 0.81$$

Por lo tanto el Coeficiente de Escorrentía para el Área de Estudio es igual a **0.81**.

3.3 Análisis Hidráulico.

3.3.1 Levantamiento de infraestructura pluvial de Área de Estudio.

Es necesario contar con la distribución en planta del Área de Estudio ya que posteriormente servirá para ubicar los diferentes componentes del sistema de drenaje de la misma.

3.3.1.1 Elaboración de esquemas con planimetría.

Para obtener el esquema Planimétrico del Área de Estudio se efectuó con la ayuda de programas Google Earth y AutoCAD para la ubicación detallada de esta:

1. Se procedió a la obtención de los planos catastrales en AutoCAD de la ciudad de Santa Ana.
2. Considerando la planimetría de la residencial, se procedió en el programa Google Earth a la ubicación del área a partir de imágenes satelitales y corroborar los puntos principales (Ilustración 3.10).

Ilustración 3.10 Distribución en Planta Urbanización "Jardín del Rocío"



Fuente: Programa Computacional "Google Earth".

3. A partir del montaje de los planos catastrales y la corroboración de la imagen determinada, se efectuó una visita de campo para obtener puntos reales con GPS de precisión y determinar así los diferentes componentes de drenaje pluvial que se encuentran ubicados dentro del área de estudio.

3.3.1.2 Ubicación de los elementos de drenaje pluvial.

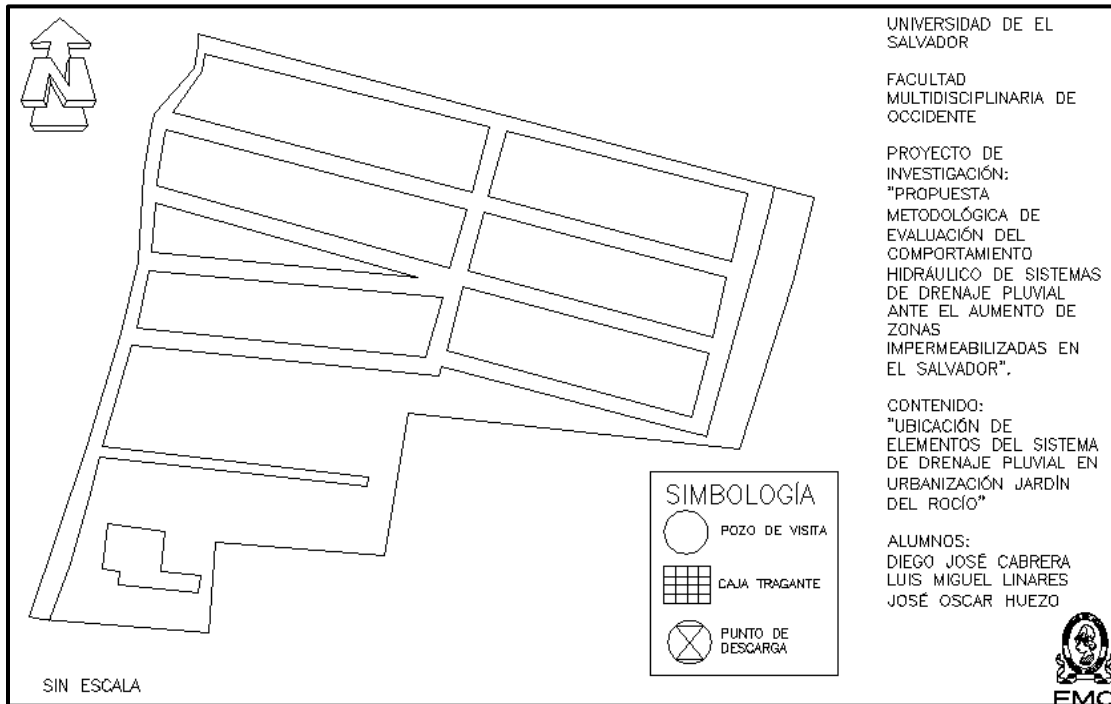
Luego de contar con la distribución en planta de la Urbanización, se procede a realizar la visita de campo:

1. Se efectuó el recorrido por calles y avenidas para conocer que existen principalmente tragantes tanto en calles como avenidas, también pozos de visita en las intercepciones y el punto de descarga hacia una quebrada aledaña a la Urbanización.
2. Luego de efectuada la visita de campo y determinados los componentes de drenaje pluvial existentes, se ubican sobre la planimetría con el fin de tener una clara distribución del sistema de drenaje.

A este punto, es importante que cada componente sea identificado con abreviaturas, números, símbolos y/o iniciales para facilitar su comprensión al momento del trabajo de oficina.

En la Ilustración 3.11 se presenta el esquema Planimétrico utilizado para el levantamiento catastral del sistema de drenaje pluvial de Área de estudio:

Ilustración 3.11 Esquema Planimétrico para Ubicación de Componentes de Drenaje Pluvial



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación

3. Para efectuar el levantamiento de los componentes del drenaje pluvial se auxilió de una estación total, con la que se tomó información planimétrica y altimétrica tanto un tragantes, pozos de visita y punto de descarga del Sistema de Drenaje Pluvial de la residencial.

En las Ilustraciones 3.12 y 3.13 se presenta parte del trabajo realizado por el Equipo de Trabajo de Investigación.

Ilustración 3.12 Levantamiento Topográfico del Sistema de Drenaje Pluvial Urbanización "Jardín del Rocío".



Ilustración 3.13 Ubicación de los Componentes del Sistema de Drenaje Pluvial sobre Planimetría del Área de Estudio y Anotación de Datos de Levantamiento Topográfico.



3.3.1.3 Características físicas del Sistema de Drenaje Pluvial.

Luego de obtener la distribución en planta y los niveles de rasante de cada componente del Sistema, se procede a realizar el levantamiento catastral del mismo, el cual se realizó de la siguiente manera:

Equipo Utilizado:

1 Almádana de 25 lb, 1 cinta métrica, Agua y 1 Barra de Acero $\varnothing = 2$.

Para realizar un buen levantamiento catastral de un sistema de drenaje es esencial destapar los pozos de visita, pues solamente ingresando en los mismos y utilizando el método de la observación pueden tomarse los datos más precisos.

Se encontraron varias tapaderas de pozos selladas con el mismo fino que se introduce a través de las hendiduras de la misma. Para ello fue esencial el uso del agua ya que, al rociarla sobre todo su perímetro, se logran desalojar dichos finos y la tapadera logra una mayor movilidad (ver Ilustración 3.14) para posteriormente introducir la barra de acero en los agarres y levantarla desde un extremo, generando un pivote sobre el pavimento.

Cuando parte del asfalto se ha introducido en las hendiduras de la tapadera, ésta se encuentra totalmente inmovilizada y se utiliza, además de agua, una almádana y con ella se generan golpes sobre la misma para lograr un desequilibrio y poder levantarla con la ayuda de la barra de acero.

Ilustración 3.14 Utilización de Agua para reducir Fricción en la Tapadera.



Al levantar cada tapadera de pozo de visita, se toman los siguientes datos:

1. Pozo desde donde inicia **POZO *i*** y pozo hasta donde finaliza cada colector **POZO *f***.
2. Diferencia de Altura entre nivel de rasante y de tubería. Puede tomarse ya sea el nivel de cota Clave o de cota Batea de cada colector. Esto se hace con la ayuda de la cinta métrica y teniendo el debido cuidado de anotar correctamente las diferencias de altura en el pozo de inicio y el pozo de descarga.
3. Diámetro de Colectores.
4. Material de Colectores.

En las Ilustraciones 3.15 y 3.16 se muestra cómo el Equipo de Trabajo Investigación obtuvo los datos en campo.

Ilustración 3.15 Introducción en Pozos de Visita.



Ilustración 3.16 Verificación de Material, Diámetro y Diferencia de Nivel en Colectores.



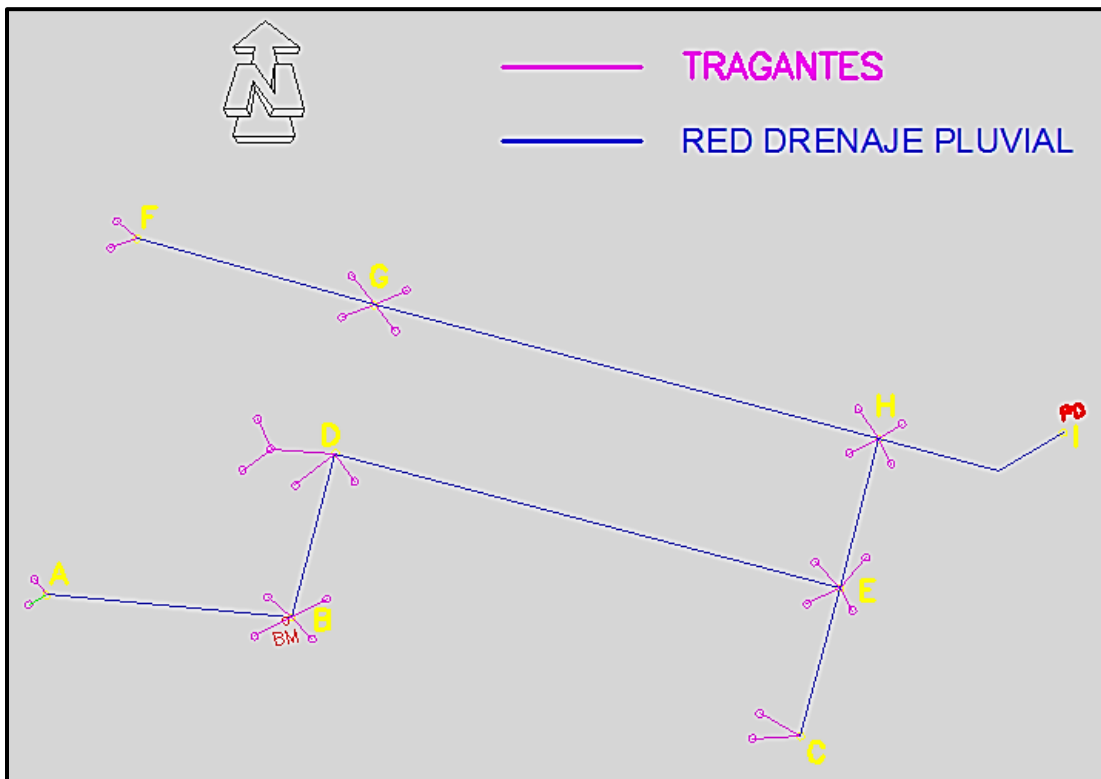
3.3.2 Comportamiento hidráulico Actual del Sistema de Drenaje Pluvial: Análisis Hidráulico.

A continuación se detalla el análisis hidráulico realizado al sistema de drenaje pluvial del Área de Estudio, tomando como base su comportamiento actual para posteriormente generar los parámetros y variables a tomar en cuenta al momento que se quiera expandir dicha residencial sin que su sistema de drenaje pluvial se vea afectado.

3.3.2.1 Datos Generales de Colectores de Sistema de Drenaje Pluvial de Área de Estudio.

Del levantamiento de la Infraestructura Pluvial del Área de Estudio, se obtuvieron los siguientes datos:

Ilustración 3.17 Esquema Planimétrico de Red de Drenaje Pluvial



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación

Tabla 3.7 Levantamiento Catastral de Sistema de Drenaje Pluvial

ID COLECTOR	GENERALES												
	POZO <i>i</i>	POZO <i>f</i>	Diámetro		Área Interna m ²	Longitud m	Material	Cota Rasante <i>i</i> m	Cota Rasante <i>f</i> m	Cota Batea <i>i</i> m	Cota Batea <i>f</i> m	Pendiente Natural %	Pendiente Colector %
			pulg	m									
AB	A	B	16	0.406	0.1297	50.038	PVC	680.770	679.999	678.580	677.959	1.5%	1.2%
BD	B	D	16	0.406	0.1297	34.477	PVC	679.999	679.041	677.839	677.331	2.8%	1.5%
DE	D	E	20	0.508	0.2027	106.098	PVC	679.041	678.008	677.141	675.458	1.0%	1.6%
FG	F	G	16	0.406	0.1297	50.132	PVC	680.019	677.954	677.919	676.174	4.1%	3.5%
GH	G	H	18	0.457	0.1642	106.237	PVC	677.954	677.063	675.964	674.843	0.8%	1.1%
CE	C	E	16	0.406	0.1297	31.153	PVC	678.523	678.008	676.433	676.048	1.7%	1.2%
EH	E	H	24	0.610	0.2919	31.349	PVC	678.008	677.063	675.858	675.063	3.0%	2.5%
HI	H	I	28	0.711	0.3973	40.590	PVC	677.063	675.733	674.743	673.700	3.3%	2.6%

Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación

3.3.2.2 Obtención de la Capacidad Hidráulica en Colectores.

Utilizando la Ecuación de Manning, se obtiene la capacidad Hidráulica que posee cada colector del sistema.

Ecuación de Manning:

$$Q_{LL} = \frac{0.399}{n} * A * D^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal evacuado por el colector, m³/seg

n = Coeficiente Manning del material de Tubería, adimensional.

A = Área interna del tubo, m².

D = Diámetro del colector, m.

S = Pendiente de la línea de Energía, m/m.

Nota: Todas las tuberías son de material PVC, por lo que se utilizará el coeficiente Manning $n = 0.0073$.

Es necesario tener en cuenta que los colectores de drenaje pluvial trabajan por gravedad y deben estar en condiciones de poder desalojar el caudal de diseño cuando éste trabaje hasta un 70% del tubo lleno, es decir, de su máxima capacidad hidráulica. De lo anterior mencionado, se obtiene la Tabla 3.8:

Tabla 3.8 Obtención de la Capacidad Hidráulica de Colectores

ID COLECTOR	CAPACIDAD HIDRÁULICA	
	Q LL (100%) Litros/seg	Q Lleno70% Litros/seg
AB	433.358	303.351
BD	472.191	330.534
DE	888.312	621.818
FG	725.753	508.027
GH	547.044	382.931
CE	432.443	302.710
EH	1826.415	1278.491
HI	2773.221	1941.254

Ejemplo de cálculo de **Capacidad Hidráulica** Colector **AB**:

Utilizando la Ecuación de Manning, se tiene que el caudal a tubo lleno Q_{LL} del colector **AB** es igual a:

$$Q_{LLAB} = \frac{0.399}{n} * A_{AB} * D_{AB}^{\frac{2}{3}} * S_{AB}^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_{LLAB} = \frac{0.399}{0,0073} * (0.1297 \text{ m}^2) * (0.406 \text{ m})^{\frac{2}{3}} * (0.0124)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_{LLAB} = 0.433 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} = 433.36 \frac{\text{Litros}}{\text{seg}}$$

Luego, se multiplica éste dato por el factor de 0.70 y se obtiene el Caudal a un 70% del tubo lleno:

$$Q_{LL70\%AB} = 433.36 \frac{\text{Litros}}{\text{seg}} * 0.70$$

$$Q_{LL70\%AB} = 303.35 \frac{\text{Litros}}{\text{seg}}$$

De igual manera se obtienen los caudales a tubo lleno y a un 70% del tubo lleno para el resto de los colectores del sistema (ver Tabla 3.8).

3.3.2.3 Obtención del Caudal Hidrológico en Colectores

3.3.2.3.1 Método Racional

Al tratarse de un área de estudio de 0.026 km² (menor que 2.5 km²), se optó por utilizar el Método Racional para la obtención de los caudales de diseño⁷.

$$Q = \frac{CIA}{60}$$

Donde:

Q = Caudal evacuado por el colector, Litros/seg.

C = Coeficiente de Escorrentía, adimensional.

I = Intensidad de Lluvia, mm/min

A = Área Tributaria, m².

⁷ Art. V14 del Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños, Obras para el Control del Escurrimiento Pluvial, Estudios Hidrológicos.

3.3.2.3.1.1 Área de Influencia de Colectores

Para la determinación de las Áreas Tributarias o Áreas de Influencia de cada colector se trabajó con el programa AutoCad en base a los planos de la Urbanización “Jardín del Rocío” obtenido a través del catastro de la misma y la dirección del flujo que el agua precipitada tomaría en las calles y avenidas, tal como se muestra en la Ilustración 3.18.

Ilustración 3.18 Detalle de Área de Influencia por Colector



Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación

Del análisis anterior, se generó la siguiente tabla:

Tabla 3.9 Áreas de Influencia por Colector

ID COLECTOR	Área Influencia m ²
AB	2454.511
BD	2082.545
DE	5740.238
FG	2345.324
GH	1947.968
CE	2736.353
EH	4122.356
HI	4101.397

3.3.2.3.1.2 Intensidad de Diseño

Del análisis de la Intensidad de Lluvia para el Área de Estudio (Numeral 3.2.2.3) se obtuvo que la Intensidad de Diseño es igual a **3.50 mm/min**.

3.3.2.3.1.3 Coeficiente de Escorrentía Ponderado.

Del cálculo del Coeficiente de Escorrentía Ponderado C_{pon} del Área de estudio (Numeral 3.2.3.1) se tiene que $C = 0.81$.

3.3.2.3.2 Caudal Parcial en Colectores.

Con los anteriores datos de Área de Influencia A , Intensidad de Lluvia I y Coeficiente de Escorrentía C , se obtiene el Caudal Parcial $Q_{parcial}$ por colector, como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 3.10 Utilización del Método Racional, Análisis Hidrológico.

ID COLECTOR	MÉTODO RACIONAL			
	C	Intensidad mm/min	Área Influencia m ²	Q parcial Litros/seg
AB	0.81	3.50	2454.511	115.976
BD	0.81	3.50	2082.545	98.400
DE	0.81	3.50	5740.238	271.226
FG	0.81	3.50	2345.324	110.817
GH	0.81	3.50	1947.968	92.041
CE	0.81	3.50	2736.353	129.293
EH	0.81	3.50	4122.356	194.781
HI	0.81	3.50	4101.397	193.791

Ejemplo de Cálculo de $Q_{parcial}$ para colector **AB**:

De la Ecuación del Método Racional, se tiene:

$$Q_{Par_{AB}} = \frac{CIA_{AB}}{60}$$

$$Q_{Par_{AB}} = \frac{(0.81)(3.50 \frac{mm}{min})(2,454.51 m^2)}{60}$$

$$Q_{Par_{AB}} = 115.98 \frac{Litros}{seg}$$

3.3.2.3.3 Caudal Acumulado en Colectores.

Ya que se tiene el caudal parcial por colector, se procede a obtener el caudal acumulado en los mismos. Esto es posible al analizar la red de drenaje pluvial, visualizando el comportamiento del flujo del agua y las conexiones entre colectores. Apoyándose en la Ilustración 3.17 se obtiene lo siguiente:

Tabla 3.11 Conexiones entre Colectores

COLECTOR	CONECTADO A
AB	BD
BD	DE
DE	EH
FG	GH
GH	HI
CE	EH
EH	HI
HI	PUNTO DE DESCARGA

Esto es para conocer el caudal total que está evacuando cada colector, es decir, además del caudal que le genera su propia Área de Influencia ($Q_{parcial}$) éste debe desalojar el caudal proveniente de otros colectores que estén conectados a él (ver Tabla 3.12).

Tabla 3.12 Obtención de Caudal Acumulado Total desalojado por Colector

ID COLECTOR	Q parcial Litros/seg	Q Acum Litros/seg
AB	115.976	115.976
BD	98.400	214.376
DE	271.226	485.602
FG	110.817	110.817
GH	92.041	202.858
CE	129.293	129.293
EH	194.781	809.676
HI	193.791	1206.325

Por ejemplo, el colector EH debe desalojar su Caudal Parcial $Q_{\text{parcialEH}} = 194.78$ Litros/seg más el caudal proveniente de los colectores DE y CE que están conectados a él y le están transmitiendo 485.60 Litros/seg y 129.29 Litros/seg respectivamente, obteniendo un Caudal Acumulado $Q_{\text{AcumuladoEH}} = 194.78 + 485.60 + 129.29 = 809.67$ Litros/seg.

3.3.2.3.4 Porcentaje de Carga Hidráulica en Colectores.

Con lo anterior se puede conocer el porcentaje al cual está trabajando cada colector, además de cuánto más caudal puede soportar mediante la relación $Q_{\text{hidr}} / Q_{\text{LL70\%}}$ (ver Tabla 3.13). *Nota:* Al Caudal Acumulado también se le llama “Caudal Hidrológico Q_{hidr} ” puesto que se obtiene a través del Análisis Hidrológico.

Tabla 3.13 Porcentaje de Carga Hidráulica en colectores.

ID COLECTOR	Q Llento70% Litros/seg	Q Acum Litros/seg	Q Restante Litros/seg	Relación Q hidr / Q LL70%	% de Trabajo
AB	303.351	115.976	187.375	0.38	38.23%
BD	330.534	214.376	116.158	0.65	64.86%
DE	621.818	485.602	136.216	0.78	78.09%
FG	508.027	110.817	397.211	0.22	21.81%
GH	382.931	202.858	180.073	0.53	52.98%
CE	302.710	129.293	173.417	0.43	42.71%
EH	1278.491	809.676	468.815	0.63	63.33%
HI	1941.254	1206.325	734.929	0.62	62.14%

De donde:

$$Q_{Restante} = Q_{LL70\%} - Q_{Acumulado}$$

y

$$\text{Porcentaje de Trabajo} = \frac{Q_{Acumulado}}{Q_{LL70\%}} * 100$$

Por ejemplo, el colector **DE** está trabajando actualmente a un **78.09%** y, ya que su relación $Q_{hidr} / Q_{LL70\%} \leq 1$ se concluye que trabaja normalmente. Si dicha relación excediera de 1, significaría que el colector debe evacuar un caudal mayor al de su diseño, por lo que rebalsaría su pozo de inicio y estaría trabajando bajo condiciones desfavorables para el sistema de drenaje.

Para el Sistema de Drenaje del Área de Estudio, no existe algún colector que no cumpla con dicha condición, por lo que se concluye que *el sistema de drenaje pluvial del Área de Estudio trabaja actualmente bajo condiciones normales.*

3.4 Desarrollo del Área de Estudio

Ahora, se presenta el caso que consiste en desarrollar el Área de Estudio, donde se plantean distintos escenarios basados en los diferentes Usos de Suelo que se le pudieran atribuir a la Zona Verde adyacente a dicha Área, con el fin de poder conocer qué tanto más se puede expandir el Área de Estudio mientras el sistema de drenaje pluvial original trabaje normalmente.

3.4.1 Expansión de Área de Estudio y Colectores de Entronque.

Para conocer qué caudal de escorrentía superficial máximo puede soportar el sistema de drenaje actual, es necesario saber qué área genera dicho caudal, o más bien dicho, qué área bajo ciertas condiciones de impermeabilidad generará el caudal máximo que soportará el sistema de drenaje actual en el Área de Estudio. Para ello es importante conocer la dirección que tomará la expansión territorial y, posteriormente determinar el/los colector/es donde dicha área conectaría su sistema de drenaje pluvial. Para el Área de Estudio, la dirección de la expansión sería hacia el sur, tal y como lo muestra la siguiente ilustración:

Ilustración 3.19 Dirección de la Expansión territorial para el Área de Estudio.



Al hacer un acercamiento sobre la imagen, se observa que los colectores propensos a recibir el caudal generado tras impermeabilizar el Área verde aledaña son el **BD** y **CE**, como se muestra en la Ilustración 3.20:

Ilustración 3.20 Expansión Territorial: Colectores de Entronque BD y CE



3.4.2 Caudal máximo soportado por Sistema de Drenaje Pluvial de Área de Estudio.

Ya conociendo los colectores de entronque, se calcula el caudal restante que soporta cada uno al cual trabajan actualmente, es decir, el caudal que les falta para que éstos alcancen su caudal de diseño. Para ello se retoma la Tabla 3.13:

Tabla 3.13 Porcentaje de Carga Hidráulica en colectores.

ID COLECTOR	Q Llento70% Litros/seg	Q Acum Litros/seg	Q Restante Litros/seg	Relación Q hidr / Q LL70%	% de Trabajo
AB	303.351	115.976	187.375	0.38	38.23%
BD	330.534	214.376	116.158	0.65	64.86%
DE	621.818	485.602	136.216	0.78	78.09%
FG	508.027	110.817	397.211	0.22	21.81%
GH	382.931	202.858	180.073	0.53	52.98%
CE	302.710	129.293	173.417	0.43	42.71%
EH	1278.491	809.676	468.815	0.63	63.33%
HI	1941.254	1206.325	734.929	0.62	62.14%

Para el colector **BD**, se tiene que el caudal restante es igual a 116.16 Litros/seg y para el colector **CE** un caudal restante igual a 173.42 Litros/seg, consiguiendo un Caudal Total de **289.58 Litros/seg**, que se convierte en el caudal máximo que el sistema puede soportar a través de sus tuberías de entronque.

3.4.3 Verificación del Comportamiento Hidráulico del Sistema de Drenaje Pluvial de Área de Estudio luego de incrementar su Carga Hidráulica.

Es importante analizar el sistema completo luego de haber incrementado su carga hidráulica ya que, de existir uno o más colectores que sobrepasen la condición $Q_{\text{hidr}} / Q_{LL70\%} \leq 1$, se deberá reconsiderar el Caudal Externo de Aporte a fin de mantener su buen funcionamiento.

3.4.4 Cálculo de Área máxima de expansión de Área de Estudio.

Con el dato de Caudal Máximo que el sistema puede soportar sin dañar su funcionalidad, se retoma la ecuación del Método Racional y se despeja A para conocer qué Área genera ese caudal, así:

$$Q = \frac{CIA}{60} \implies A = \frac{Q * 60}{CI}$$

Donde:

A = Área Tributaria, m². Q = Caudal evacuado por el colector, Litros/seg.

C = Coeficiente de Escorrentía, adimensional. I = Intensidad de Lluvia, mm/min.

3.4.5 Escenarios de Desarrollo

A continuación se presentan los diferentes escenarios de desarrollo para encontrar las áreas máximas que puede expandirse tal Área de Estudio.

3.4.5.1 Escenario 1:

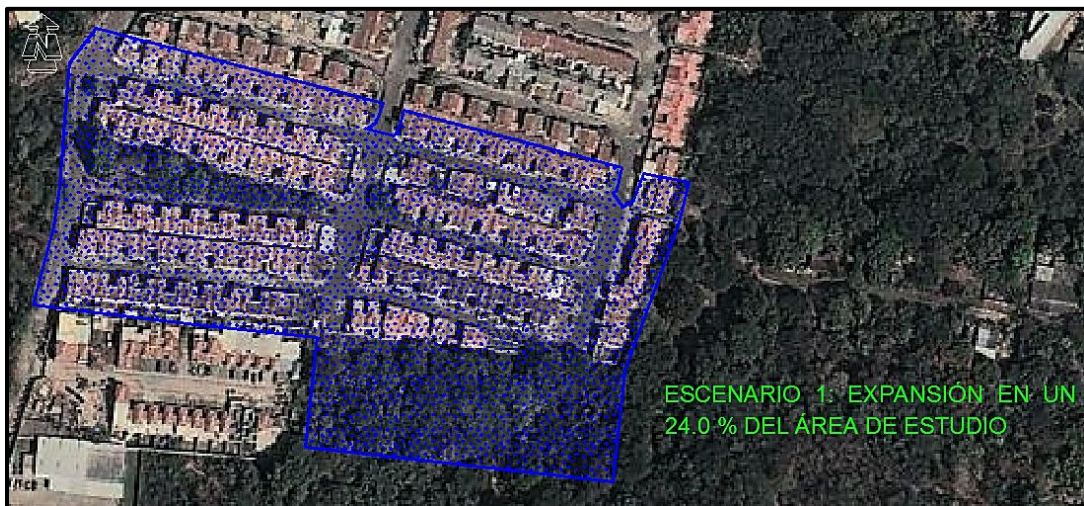
Expansión bajo las mismas condiciones de Impermeabilidad $C = 0.81$ (Igual tipo de Residencial).

Conociendo el Caudal Máximo que puede soportar el sistema, se procede a calcular el Área externa de aporte bajo la condición de impermeabilidad igual que la actual en el área de estudio, o sea con un Coeficiente de Escorrentía $C = 0.81$:

$$A_{E1} = \frac{Q * 60}{C_{E1}I}$$
$$A_{E1} = \frac{(289.58 \frac{\text{Litros}}{\text{seg}}) * 60}{(0.81) * (3.50 \frac{\text{mm}}{\text{min}})}$$
$$A_{E1} = 6,128.58 \text{ m}^2$$

Lo que indica que el Área de Estudio puede expandirse a lo sumo **6,128.58 m²**, es decir, en un **24.0 %** bajo esta condición de impermeabilidad. En la Ilustración 3.21 se detalla dicha Expansión.

Ilustración 3.21 Esquema de Expansión del Área de Estudio bajo el Primer Escenario de Desarrollo.



3.4.5.2 Escenario 2:

Expansión de tipo Residencial de Baja Densidad C = 0.50:

Se procede a calcular el Área externa de aporte bajo la condición de impermeabilidad de una Residencial de Baja Densidad C = 0.50:

$$A_{E2} = \frac{Q * 60}{C_{E2}I}$$
$$A_{E2} = \frac{(289.58 \frac{\text{Litros}}{\text{seg}}) * 60}{(0.50) * (3.50 \frac{\text{mm}}{\text{min}})}$$

$$A_{E2} = 9,928.30 \text{ m}^2$$

Lo que indica que el Área de Estudio puede expandirse a lo sumo **9,928.30 m²**, es decir, en un **38.8 %** bajo ésta condición de impermeabilidad. En la Ilustración 3.22 se detalla dicha Expansión.

Ilustración 3.22 Esquema de Expansión del Área de Estudio bajo el Segundo Escenario de Desarrollo.



3.4.5.3 Escenario 3:

Expansión de tipo Residencial de Media Densidad C = 0.70:

Se procede a calcular el Área externa de aporte bajo la condición de impermeabilidad de una Residencial de Media Densidad C = 0.70:

$$A_{E3} = \frac{Q * 60}{C_{E3}I}$$
$$A_{E3} = \frac{(289.58 \frac{\text{Litros}}{\text{seg}}) * 60}{(0.70) * (3.50 \frac{\text{mm}}{\text{min}})}$$

$$A_{E3} = 7,091.65 \text{ m}^2$$

Lo que indica que el Área de Estudio puede expandirse a lo sumo **7,091.65 m²**, es decir, en un **27.7 %** bajo esta condición de impermeabilidad. En la Ilustración 3.23 se detalla dicha Expansión.

Ilustración 3.23 Esquema de Expansión del Área de Estudio bajo el Tercer Escenario de Desarrollo.



3.4.5.4 Escenario 4:

Expansión de tipo Residencial de Alta Densidad C = 0.90:

Se procede a calcular el Área externa de aporte bajo la condición de impermeabilidad de una Residencial de Alta Densidad C = 0.90:

$$A_{E4} = \frac{Q * 60}{C_{E4}I}$$
$$A_{E4} = \frac{(289.58 \frac{\text{Litros}}{\text{seg}}) * 60}{(0.90) * (3.50 \frac{\text{mm}}{\text{min}})}$$

$$A_{E4} = 5,515.72 \text{ m}^2$$

Lo que indica que el Área de Estudio puede expandirse a lo sumo **5,515.72 m²**, es decir, en un **21.6 %** bajo esta condición de impermeabilidad. En la Ilustración 3.24 se detalla dicha Expansión.

Ilustración 3.24 Esquema de Expansión del Área de Estudio bajo el Cuarto Escenario de Desarrollo.



3.4.6 Resumen de Evaluación de Escenarios de Desarrollo

A continuación se presenta un resumen de los escenarios planteados:

Tabla 3.14 Resumen de Evaluación de Escenarios de Desarrollo.

ID COLECTOR	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO					EVUALUACIÓN BAJO DIFERENTES ESCENARIOS			
	POZO <i>i</i>	POZO <i>f</i>	Q parcial Litros/Seg	Q Acum Litros/Seg	Relación Q hidr / Q dis	MISMA CONDICIÓN: C= 0.81	RESIDENCIAL DENSIDAD BAJA: C=0.50	RESIDENCIAL DENSIDAD MEDIA: C=0.70	RESIDENCIAL DENSIDAD ALTA: C=0.90
AB	A	B	115.976	115.976	0.38	-	-	-	-
BD	B	D	98.400	330.534	1.00	2,458.37	3,982.57	2,844.69	2,212.54
DE	D	E	271.226	601.760	0.97	-	-	-	-
FG	F	G	110.817	110.817	0.22	-	-	-	-
GH	G	H	92.041	202.858	0.53	-	-	-	-
CE	C	E	129.293	302.710	1.00	3,670.21	5,945.74	4,246.96	3,303.19
EH	E	H	194.781	1099.252	0.86	-	-	-	-
HI	H	I	193.791	1495.901	0.77	-	-	-	-
ÁREA EXTERNA DE APORTE (m2):						6,128.58	9,928.30	7,091.65	5,515.72

Fuente: Equipo de Trabajo de Investigación.

Cabe mencionar que luego de incrementar el caudal hasta el máximo admisible en los dos colectores de entronque, los demás colectores siguieron cumpliendo con la relación $Q_{hidr} / Q_{LL70\%} \leq 1$, lo que indica que ninguno presentó condiciones desfavorables de trabajo.

De existir uno o más colectores que sobrepasen dicha condición, se deberá reconsiderar el Caudal Externo de Aporte para ajustar el área de impermeabilización generada o plantear alternativas sobre el Sistema de Drenaje Existente a manera de garantizar que el mismo siga trabajando bajo condiciones favorables.

**CAPÍTULO IV:
PROPUESTA METODOLÓGICA DE
EVALUACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
DE SISTEMAS DE DRENAJE
PLUVIAL ANTE EL AUMENTO DE
ZONAS IMPERMEABILIZADAS EN
EL SALVADOR.**

Para realizar una evaluación del comportamiento hidráulico a un sistema de drenaje pluvial existente, se debe tomar el siguiente procedimiento (véase Esquema General de Metodología en Anexo 2):

4.1 Infraestructura Pluvial de Área de Estudio.

Se recurrirá al ente encargado de la aprobación de los permisos de construcción, ya sea la municipalidad o el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano, en adelante el VMVDU, para obtener la siguiente información:

- a) Planta de distribución general de lotes, zonas verdes y calzadas.
- b) Planta general del sistema de drenaje de aguas lluvias.
- c) Perfiles de todas las calzadas, indicando ubicación de sistemas de drenaje de aguas lluvias, incluyendo diámetro, material y pendiente de los colectores.

En caso esta información no esté disponible, se procede de la siguiente manera:

- a) Obtener la distribución en planta del área de influencia del Sistema de Drenaje Pluvial existente. Se crean esquemas de distribución de lotes, calzada, áreas verdes, etc., con el fin de poder plasmar posteriormente en él la planimetría del sistema de drenaje pluvial con sus diferentes componentes. Esto puede hacerse con la ayuda del programa Google Earth.
- b) Realizar levantamiento topográfico del Sistema de Drenaje Pluvial existente. Es importante realizar esta actividad con la ayuda de una Estación Total para ser más preciso tanto en la planimetría como altimetría del sistema de drenaje. Al efectuar el levantamiento, es recomendable contar con la distribución en planta del área de drenaje ya que en ella se van ubicando los diferentes elementos del sistema, esto con el fin de facilitar su análisis ya en trabajo de escritorio.

- c) Levantamiento catastral de la infraestructura del Sistema de Drenaje Pluvial Existente. Para realizar un buen levantamiento catastral de un sistema de drenaje es esencial destapar los pozos de visita, pues solamente ingresando en los mismos y utilizando el método de la observación pueden tomarse los datos más precisos.

Al levantar cada tapadera de pozo de visita, se toman los siguientes datos:

1. Pozo desde donde inicia (**POZO i**) y pozo hasta donde finaliza cada colector (**POZO f**).
2. Diferencia de Altura entre nivel de rasante y de tubería. Puede tomarse ya sea hasta el nivel de cota Clave o cota Batea de cada colector. Esto se hace con la ayuda de la cinta métrica y teniendo el debido cuidado de anotar correctamente las diferencias de altura en el pozo de inicio y el pozo de descarga.
3. Diámetro de Colectores.
4. Material de Colectores

Al realizar tal actividad, el equipo técnico puede apoyarse en la Tabla 4.1.

4.2 Análisis del comportamiento hidráulico actual del Sistema de Drenaje Pluvial existente.

Ya que se cuenta con la información general del Sistema de Drenaje, se procede a calcular su comportamiento hidráulico.

4.2.1 Análisis Hidrológico

Es necesario conocer primero el tamaño del área de influencia del mismo y así determinar el método a utilizar para obtener los caudales de diseño.

La metodología seleccionada para el cálculo de los caudales de diseño estará en función del tamaño del área analizada, siendo éstas las siguientes⁸:

1. Para áreas de drenaje con una extensión de hasta dos y medio kilómetros cuadrados se podrá utilizar el Método Racional.
2. Para áreas de drenaje mayores de dos y medio kilómetros cuadrados se deberá utilizar Métodos Hidrometeorológicos debidamente justificados.

4.2.1.1 Método Racional

$$Q = CIA$$

Donde:

Q = Caudal evacuado por el colector.

C = Coeficiente de Escorrentía, adimensional.

I = Intensidad de Lluvia.

A = Área Tributaria.

⁸ Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de sus Municipios aledaños.

4.2.1.1.1 Cálculo del Coeficiente de Escorrentía Ponderado

Cuando se utilice el método racional, el valor del coeficiente de escorrentía ponderado deberá determinarse de acuerdo a las características del área de estudio, para lo cual se establecen los siguientes rangos de valores:

Tabla 4.2 Rangos de Valores de Coeficientes de Escorrentía para Uso de Suelo⁹

ÁREAS URBANAS	
Uso de Suelo	Coeficientes de Escorrentía
Comercio	0.70 - 0.95
Residencial alta densidad	0.65 - 0.80
Residencial media densidad	0.40 - 0.60
Residencial baja densidad	0.30 - 0.50
Industrial más del 70% impermeable	0.60 - 0.90
Industrial hasta el 70% impermeable	0.50 - 0.80
Parques y Cementerios	0.10 - 0.25
Parqueos Concreto	0.70 - 0.95
Parqueos Asfalto	0.80 - 0.95
Áreas Peatonales	0.75 - 0.85
Techos	0.75 - 0.95
OTRAS ÁREAS	
Cultivos pendiente hasta el 1%	0.40
Cultivos pendiente entre 1-5%	0.45
Cultivos pendiente entre 5-20%	0.50
Cultivos Pendiente entre 20-50%	0.55
Cultivos Pendiente más del 50%	0.60
Vegetación Ligera pendiente hasta el 1%	0.35
Vegetación Ligera pendiente entre 1-5%	0.40
Vegetación Ligera pendiente entre 5-20%	0.45
Vegetación Ligera pendiente entre 20-50%	0.50
Vegetación Ligera pendiente más de 50%	0.55
Bosque de Sombra pendiente hasta 1%	0.05
Bosque de Sombra pendiente entre 1-5%	0.10
Bosque de Sombra pendiente entre 5-20%	0.15
Bosque de Sombra pendiente entre 20-50%	0.20
Bosque de Sombra pendiente más de 50%	0.25

⁹ Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de sus Municipios aledaños.

Obtenido el coeficiente de escorrentía por uso de suelo, se calcula el Coeficiente de Escorrentía Ponderado a través de la siguiente ecuación:

$$C_{Pon} = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}$$

Donde:

C_{Pon} = Coeficiente de Escorrentía Ponderado

C_i = Coeficiente de Escorrentía del Área i .

A_i = Superficie del Área i .

4.2.1.1.2 Cálculo de la Intensidad de Lluvia.

La forma más práctica de obtener el dato de intensidad de la lluvia, el cual es insumo para la formula racional, es a través del siguiente procedimiento:

1. Haciendo uso de un GPS de precisión, se toman las coordenadas geográficas del punto de interés del área de influencia del proyecto.
2. Consultando la tabla de Ubicación Geográfica de las estaciones meteorológicas principales de El Salvador (Ver Tabla 4.3), se grafican dichos puntos en Google Earth, así como el punto de interés del área de influencia del proyecto.

Tabla 4.3 Ubicación Geográfica de las principales Estaciones Meteorológicas de El Salvador

Código	Estaciones	Latitud Norte	Longitud Oeste	Elevación (m.s.n.m.)
ZONA OCCIDENTAL				
A-37	Santa Ana, UNICAES	13° 58.9'	89° 32.9'	685
A-15	Güija	14° 13.7'	89° 28.7'	485
A-18	Los Andes	13° 52.5'	89° 38.7'	1770
A-27	Candelaria La Frontera	14° 07.2'	89° 39.1'	700
A-31	Los Planes de Montecristo	14° 23.9'	89° 21.6'	1971
H-8	Ahuachapán	13° 56.6'	89° 51.6'	725
H-14	La Hachadura	13° 51.6'	90° 05.4'	30
T-6	Acajutla	13° 34.4'	89° 50.0'	15
T-24	Los Naranjos	13° 52.5'	89° 40.5'	1450
ZONA CENTRAL				
G-3	Nueva Concepción	14° 07.5'	89° 17.4'	320
G-4	La Palma	14° 17.5'	89° 09.7'	1000
G-13	Las Pilas	14° 21.9'	89° 05.4'	1960
L-4	San Andrés	13° 48.5'	89° 24.4'	460
L-27	Chiltiupán	13° 35.7'	89° 28.9'	680
S-10	Ilopango	13° 41.9'	89° 07.1'	615
ZONA PARACENTRAL				
C-9	Cojutepeque	13° 43.2'	88° 55.6'	880
V-9	Puente Cuscatlán	13° 36.1'	88° 35.6'	20
B-1	Chorrera del Guayabo	13° 59.8'	88° 45.4'	190
B-6	Sensuntepeque	13° 52.2'	88° 39.0'	650
B-10	Cerrón Grande	13° 56.3'	88° 47.1'	200
ZONA ORIENTAL				
M-24	San Miguel UES	13° 26.3'	88° 09.5'	117
U-6	Santiago de María	13° 29.1'	88° 28.3'	920
Z-2	San Francisco de Gotera	13° 41.8'	88° 05.4'	250
Z-3	Perquín	13° 57.5'	88° 09.7'	1225
N-2	La Unión, Corsain	13° 19.9'	87° 52.9'	35

Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN.

3. Se elige la estación más cercana a la zona del proyecto.
4. Se adquiere en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales la curva de Intensidad, Duración y Frecuencia la estación seleccionada.

Los valores de frecuencia de lluvia de máxima intensidad a utilizarse serán de cinco años¹⁰ para obtener el caudal de diseño.

Para la obtención de la duración de la lluvia, se supone que la esorrentía alcanza su pico en el tiempo de concentración t_c cuando toda la cuenca está contribuyendo al flujo en su salida. El tiempo de concentración es el tiempo requerido por una gota de agua para fluir desde el punto más remoto en la cuenca hasta el punto de interés.

El tiempo de concentración de cualquier punto en un sistema de drenaje de aguas lluvias es la suma del tiempo de entrada t_0 (el tiempo que se toma para fluir desde el punto más remoto hasta la entrada al alcantarillado) y del tiempo de flujo t_f en los alcantarillados localizados aguas arriba conectados al punto de salida:

$$t_c = t_0 + t_f$$

El tiempo de flujo está dado por la ecuación:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$$

Donde L_i es la longitud del i-esimo tubo a lo largo de la trayectoria del flujo y V_i es la velocidad del flujo en el tubo.

El tiempo de entrada, o tiempo de concentración para el caso de que no exista alcantarillado aguas arriba, puede obtenerse mediante observaciones experimentales o puede estimarse utilizando la ecuación **Kirpich**:

$$T_0 = 0.0078 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.386}}$$

El valor mínimo de T_c será de cinco minutos.

¹⁰ Reglamento a la Ley de Urbanismo y Construcción, Capítulo Sexto, Obras de Urbanización para aguas lluvias, Artículo 91

4.2.1.1.3 Cálculo de Áreas de Influencia

La obtención de áreas de influencia por colector se hará con la ayuda de la Planta de distribución general de lotes, zonas verdes y calles, verificando en campo la dirección que toma el flujo de la escorrentía superficial sobre la calzada.

4.2.2 Análisis Hidráulico

El comportamiento hidráulico de los colectores puede analizarse a través de programas computacionales o tablas de cálculo, con el fin de encontrar el porcentaje de trabajo actual de cada componente del sistema.

Para el análisis del comportamiento hidráulico de sistemas a través de tablas de cálculo, se sigue el procedimiento siguiente:

4.2.2.1 Cálculo del Porcentaje de Trabajo por colector.

Se detalla a continuación el cálculo del porcentaje de trabajo que presenta cada colector del Sistema de Drenaje Pluvial Existente.

4.2.2.1.1 Cálculo de Capacidad Hidráulica de Colectores.

Utilizando la Ecuación de Manning, se obtiene la capacidad Hidráulica que posee cada colector del sistema, o sea su capacidad a tubo lleno. Ecuación de Manning:

$$Q_{LL} = \frac{0.399}{n} * A * D^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal evacuado por el colector, m³/seg.

n = Coeficiente Manning del material de Tubería, adimensional.

A = Área interna del tubo, m².

D = Diámetro del colector, m.

S = Pendiente de la línea de Energía, m/m.

Es necesario tener en cuenta que los colectores de drenaje pluvial trabajan por gravedad y deben estar en condiciones de poder desalojar el caudal de diseño cuando éste trabaje hasta un 70% del tubo lleno, es decir, de su máxima capacidad hidráulica.

$$Q_{LL70\%} = 0.70 * Q_{LL}$$

$$Q_{LL70\%} = \frac{0.279}{n} * A * D^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

4.2.2.1.2 Cálculo del Caudal Hidrológico.

El Caudal que desalojará cada colector del sistema se calcula a través de los métodos propuestos. Si se utiliza el Método Racional, el Caudal se obtiene con la ecuación:

$$Q_{Hidr} = CIA$$

4.2.2.1.3 Carga Hidráulica en Colectores

El dato obtenido de Caudal Hidrológico Q_{Hidr} se compara con el Caudal a un 70% del tubo lleno $Q_{LL70\%}$ por cada colector mediante la relación siguiente:

$$\frac{Q_{Hidr}}{Q_{LL70\%}} \leq 1$$

Esta relación garantiza si el colector está en condiciones de desalojar el caudal hidrológico. Al obtener un número mayor que uno, se concluye que el colector no está en condiciones de trabajar eficientemente.

Es lo mismo plantear el Porcentaje de Trabajo por colector de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de Trabajo} = \frac{Q_{Hidr}}{Q_{LL70\%}} * 100$$

donde se indica el porcentaje actual de carga hidráulica al que se encuentra el colector.

4.2.2.1.4 Tabla de Cálculo del Comportamiento Actual del Sistema de Drenaje Pluvial Existente.

La Tabla 4.4 resume el cálculo del comportamiento actual de sistema de drenaje pluvial:

Tabla 4.4 Cálculo Capacidad Hidráulica de Sistema de Drenaje Pluvial.

ID COLECTOR	GENERALES												
	POZO <i>i</i>	POZO <i>f</i>	Diámetro		Área Interna m ²	Longitud m	Material	Cota Rasante <i>i</i> m	Cota Rasante <i>f</i> m	Cota Batea <i>i</i> m	Cota Batea <i>f</i> m	Pendiente Natural %	Pendiente Colector %
			pulg	m									
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
CAPACIDAD HIDRÁULICA			MÉTODO RACIONAL					EVALUACIÓN COMPORTAMIENTO ACTUAL					
Q LL (100%) Litros/seg		Q LL70% Litros/seg	C	Intensidad mm/min	Área de Influencia m ²	Q parcial Litros/seg	Q Acum Litros/seg	Q Restante Litros/seg	Relación Q hidr / Q LL70%		% de Trabajo		
(15)		(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)		(24)		

4.2.2.1.4.1 Descripción de Tabla de Cálculo:

Columna 1: Identificación de Colector.

Columna 2: Identificación del pozo desde el cual inicia el colector.

Columna 3: Identificación del pozo al cual llega el colector.

Columna 4: Diámetro del Colector en pulgadas.

Columna 5: Diámetro del Colector en metros.

Columna 6: Área interna del Tubo.

Columna 7: Longitud de colector.

Columna 8: Material de la Tubería.

Columna 9: Cota de la rasante del pozo inicial, es decir, la cota de tapadera de pozo inicial.

Columna 10: Cota de la rasante del pozo final, es decir, la cota de tapadera de pozo final.

Columna 11: Cota batea inicial del colector, medida desde el nivel de rasante del pozo inicial hasta el nivel de batea del mismo.

Columna 12: Cota batea final del colector, medida desde el nivel de rasante del pozo final hasta el nivel de batea del mismo. Cabe mencionar que asimismo puede tomarse el nivel hasta la cota clave o hasta el nivel medio de la sección de la tubería.

Columna 13: Pendiente Natural del terreno, la cual se encuentra al dividir la diferencia de nivel entre la cota rasante de pozo inicial y la del pozo final, entre la longitud de la tubería, multiplicada por 100; es decir:

$$Pendiente\ Natural\ \% = \frac{Col9 - Col10}{Col7} * 100$$

Columna 14: Pendiente del colector, la cual se encuentra al dividir la diferencia de nivel entre la cota batea inicial y la final del colector, entre la longitud de la tubería, multiplicada por 100; es decir:

$$Pendiente\ Colector\ \% = \frac{Col11 - Col12}{Col7} * 100$$

Columna 15: Cálculo del Caudal a tubo lleno del colector, o sea, el máximo que puede transportar la tubería obtenido a través de la ecuación de Manning:

$$Q_{LL\frac{\text{Litros}}{\text{seg}}} = \frac{399}{n} * A * D^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

es decir:

$$Q_{LL\frac{\text{Litros}}{\text{seg}}} = \frac{399}{n} * Col6 * Col5^{\frac{2}{3}} * Col14^{\frac{1}{2}}$$

utilizando como coeficiente de Manning “*n*” el correspondiente al material de la tubería.

El valor de “*n*” puede obtenerse a través de la Tabla 4.5:

Tabla 4.5 Coeficiente Manning por Material¹¹

COEFICIENTE MANNING POR MATERIAL	
MATERIAL	<i>n</i>
Plástico (PE, PVC, CPVC)	0.0073
Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio	0.0090
Asbesto-Cemento	0.0120
Concreto Simple	0.0140
Concreto (Cimbra metálica)	0.0110
Concreto (Cimbra madera)	0.0150
Concreto reforzado Prefabricado	0.0130
Acero	0.0105
Hierro Galvanizado	0.0100
Hierro Fundido (nuevo)	0.0120
Conductos construidos en mampostería de ladrillo:	0.0160

¹¹ “Diseño de Acueductos y Alcantarillados, 2ª Edición, Ricardo Alfredo López Cualla.

Columna16: Cálculo de Caudal a un 70% del Tubo Lleno, el cual es igual a:

$$Q_{LL70\%} = 0.70 * Q_{LL}$$
$$Q_{LL70\%} \frac{\text{Litros}}{\text{seg}} = 0.70 * Col15$$

Columna 17: Coeficiente de Escorrentía Ponderado para el área de influencia del colector.

Columna 18: Intensidad de Lluvia calculado para el Área de Estudio.

Columna 19: Área de Influencia o área que drena al colector.

Columna 20: Cálculo del Caudal Parcial en colector, es decir, el obtenido a través del Método, que es igual a:

$$Q_{Hidr} = \frac{CIA}{60}$$

Donde:

Q = Caudal evacuado por el colector, Litros/seg.

C = Coeficiente de Escorrentía, adimensional.

I = Intensidad de Lluvia, mm/min.

A = Área Tributaria, m².

Es decir:

$$Q_{Hidr} = Col17 * Col18 * Col19$$

Columna 21: Caudal Acumulado en colector, el cual se obtiene al analizar el comportamiento del flujo del agua lluvia sobre el área de estudio y las conexiones entre colectores. Un colector puede evacuar tanto su caudal parcial, es decir, el que le genera su área de influencia más el proveniente de otro(s) colector(es), en los casos que éstos concurren a él, debiéndose sumar algebraicamente dichos caudales para obtener el caudal acumulado.

Columna 22: El Caudal restante en el colector se refiere al caudal que le hace falta evacuar para que éste sea igual al caudal a un 70% del tubo lleno, así:

$$Q_{Restante} = Q_{LL70\%} - Q_{Acumulado}$$

$$Q_{Restante} = Col16 - Col21$$

Columna 23: Relación entre Caudal Acumulado y Caudal de Diseño, parámetro que indica qué tanto del caudal máximo permisible del colector se está evacuando.

$$\frac{Q_{Acumulado}}{Q_{LL70\%}} = \frac{Col21}{Col16}$$

Columna 24: El porcentaje de trabajo se refiere al porcentaje del caudal a un 70% del tubo lleno del colector que se está evacuando, así:

$$Porcentaje\ de\ Trabajo = \frac{Q_{Acumulado}}{Q_{LL70\%}} * 100 = \frac{Col21}{Col16} * 100 = Col23 * 100$$

4.2.3 Cálculo del Caudal Máximo soportado por Sistema de Drenaje Pluvial existente.

Luego de analizar el comportamiento actual del Sistema de Drenaje Pluvial existente, se procede a calcular el caudal extra máximo que soporta el mismo. Para ello, es necesario conocer la dirección de expansión del área de estudio, así como el(los) pozo(s) donde entroncará el nuevo sistema de drenaje pluvial y su afectación directa hacia los colectores en cuestión.

Para conocer el caudal máximo que soporta un sistema de drenaje existente, primero hay que establecer el(los) colector(es) que se verá(n) afectado(s) directamente por el mismo, es decir, el(los) colector(es) que tendrá(n) que evacuar ese nuevo caudal que esa zona impermeabilizada le(s) transmitirá.

Esto es posible al utilizar la ecuación de caudal restante:

$$Q_{Restante} = Q_{LL70\%} - Q_{Acumulado}$$

A través de este parámetro se conoce el Caudal Restante ($Q_{LL70\%} - Q_{hidrológico}$) en los mismos. Se suma algebraicamente el dato de caudal restante de cada colector si son dos o más donde se entroncará el nuevo sistema de drenaje pluvial.

4.2.4 Verificación del comportamiento hidráulico del Sistema de Drenaje Pluvial existente luego de incrementar su carga hidráulica.

Se analiza el sistema completo luego de haber incrementado su carga hidráulica ya que, de existir uno o más colectores que sobrepasen la condición $Q_{hidr} / Q_{LL70\%} \leq 1$, se deberá reconsiderar el Caudal Externo de Aporte o se deberán plantear alternativas sobre el Sistema de Drenaje Existente a manera de garantizar que el mismo siga trabajando bajo condiciones favorables.

4.2.5 Cálculo del Área máxima de expansión de Área de Estudio.

Al obtener el Caudal máximo que soportará el Sistema de Drenaje existente, se utiliza la ecuación del Método Racional, despejando A para conocer qué área de influencia lo genera, así:

$$A = \frac{Q}{CI}$$

Dependiendo de la proyección del tipo de construcción a realizar, así será el coeficiente de escorrentía a utilizar. Con esto es posible determinar qué tanto se podrá expandir dicha área de estudio bajo esas condiciones de impermeabilidad.

CONCLUSIONES

- I. La utilización de información oficial en el tema del registro de la precipitación anual y en el proceso de selección de los valores del coeficiente de escorrentía es vital para una verdadera estandarización de criterios de evaluación del comportamiento hidráulico de sistemas de drenaje ante el aumento de zonas impermeabilizadas en El Salvador.
- II. El sistema de drenaje pluvial de la Urbanización “Jardín del Rocío” trabaja actualmente bajo condiciones normales, ya que ningún colector del mismo deja de cumplir la condición:

$$\frac{Q_{Hidrológico}}{Q_{LL70\%}} \leq 1.0$$

- III. El Área de estudio está en condiciones de expandirse en un **24.00%** bajo mismos criterios urbanísticos, en un **38.80%** bajo un tipo de Residencial de Baja Densidad, en un **27.70%** bajo un tipo de Residencial de Media Densidad y en un **21.60%** bajo un tipo de Residencial de Alta Densidad, manteniendo un funcionamiento normal del sistema de drenaje pluvial existente.
- IV. La propuesta metodológica de Evaluación del Comportamiento Hidráulico de Sistemas de Drenaje Pluvial ante el aumento de zonas impermeabilizadas está enfocada a los casos en que no se cuente con otra alternativa de evacuación de las aguas lluvias que un sistema de drenaje existente.

RECOMENDACIONES

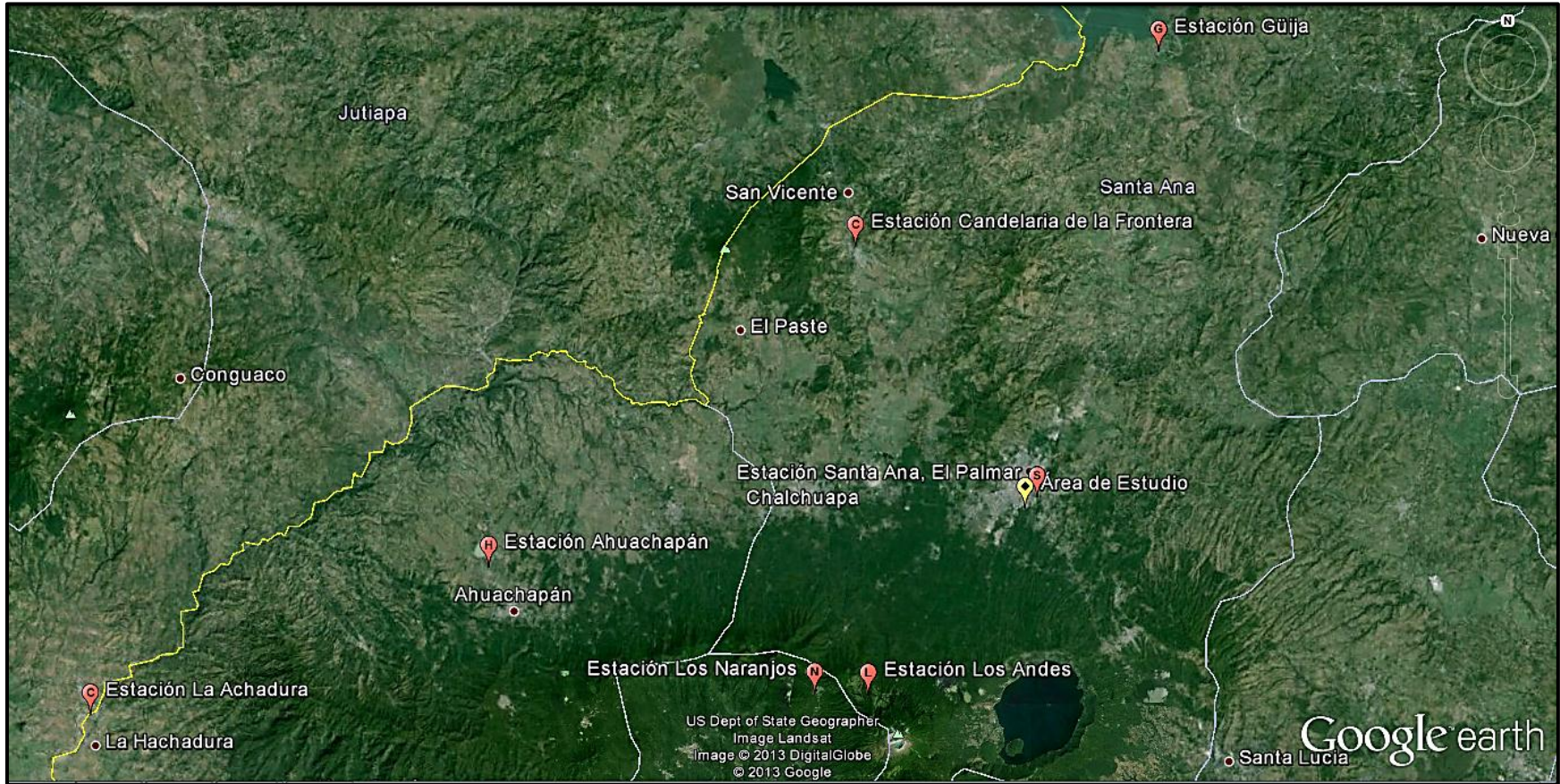
- I. Adoptar datos oficiales de intensidades de lluvia emitidos por el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN, así como datos de coeficientes de escorrentía propuestos por el Reglamento a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento del Área Metropolitana de San Salvador y de los municipios aledaños.
- II. Para un funcionamiento eficiente de la propuesta metodológica planteada se necesita que los entes encargados de otorgar los permisos de construcción faciliten la información respectiva a la Planta de distribución general de lotes, zonas verdes y calles, Planta general del sistema de drenaje de aguas lluvias y Perfiles de todas las calles, indicando ubicación de sistemas de drenaje de aguas lluvias, incluyendo diámetro, material y pendiente de los colectores, por tanto, deben poseer un control sistemático y ordenado en el manejo de dicha información.
- III. Es necesario analizar el Sistema de Drenaje Pluvial completo luego de haber incrementado su carga hidráulica ya que, de existir uno o más colectores que sobrepasen la condición $Q_{\text{hidr}} / Q_{\text{LL70\%}} \leq 1$, se deberá reconsiderar el Caudal Externo de Aporte para ajustar la impermeabilización generada o plantear soluciones a manera de garantizar que el sistema siga trabajando bajo condiciones normales.
- IV. Que los entes emisores de permisos de construcción analicen tal Metodología y la adopten como posible normativa para el aval de nuevos proyectos en los que la impermeabilización de sectores se vea alterada.

BIBLIOGRAFÍA

- Chow, V. T. (1994). Hidrología Aplicada. En V. T. Chow, Hidrología Aplicada. (págs. 507-519). Bogotá: McGRAW-HILL.
- López Cualla, R. A. (1999). Diseño de Acueductos y Alcantarillados. Santa Fe de Bogotá: ALFAOMEGA.
- Chow, Ven Te. (1994), “Hidráulica de Canales Abiertos”, Bogotá, Colombia McGRAW-HILL.
- Reglamento de la Ley de Urbanismo y Construcción en lo relativo a Parcelaciones y Urbanizaciones Habitacionales; República de El Salvador.
- Reglamento de la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y de los Municipios Aledaños, 2009; El Salvador.

ANEXOS

ANEXO 1: Estaciones Meteorológicas de la Zona de Área de Estudio.



ANEXO 2: Esquema General de Metodología Propuesta.

