	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Código F-AC- DBL-007	Fecha 10-04-2012	Revisión A
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO	Pág. i(124)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JUAN SEBASTIAN VARGAS GALLARDO JORBAN ANDREY QUINTERO ANGARITA		
FACULTAD	INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	FRANCISCO ALFONSO DURAN CASTRO		
TÍTULO DE LA TESIS	MODELACIÓN DE ELEMENTOS HIDRÁULICOS PARA EL SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS SOBRE LA AVENIDA FRANCISCO FERNÁNDEZ DE CONTRERAS ENTRE EL PR 50 + 540 Y EL PR 49 +000, SENTIDO SUR-NORTE, EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, MEDIANTE EL EMPLEO DE HERRAMIENTAS TECNOLOGICAS		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p style="text-align: center;">ESTA INSVESTIGACION SE BASA EN LA PROBLEMÁTICA EXISTENTE EN LA AVENIDA FRANCISCO FERNANDES DE CONTRERAS, ENTRE EL PR 50+540 Y 49+ 000, SENTIDO SUR-NORTE, CON RESPECTO AL MANEJO DE LAS AGUAS LLUVIAS, CON EL PROPÓSITO DE INDENTIFICAR EL ESTADO ACTUAL DE LOS ELEMENTOS HIDRAULICOS EXISTENTES EN EL SECTOR DE ESTUDIO, PARA ELABORAR UNA MODELACION DE LOS ELEMENTOS MAS CRITICOS Y DE ESTA MANERA DAR UNA SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA PRESENTADA</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 114	PLANOS: -	ILUSTRACIONES: 34	CD-ROM: 1



MODELACIÓN DE ELEMENTOS HIDRÁULICOS PARA EL SISTEMA DE AGUAS
LLUVIAS SOBRE LA AVENIDA FRANCISCO FERNÁNDEZ DE CONTRERAS ENTRE EL
PR 50 + 540 Y EL PR 49 +000, SENTIDO SUR-NORTE, EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA,
MEDIANTE EL EMPLEO DE HERRAMIENTAS TECNOLOGICAS

AUTORES:

JUAN SEBASTIAN VARGAS GALLARDO

JORBAN ANDREY QUINTERO ANGARITA

Trabajo de grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

ING. CIVIL. FRANCISCO ALFONSO DURAN CASTRO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL

Ocaña, Colombia

Noviembre de 2017

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, quien ha sido mi guía en este proceso, que no me ha dejado caer en las adversidades y dificultades que se me han presentado, pues en el eh encontrado la calma y discernimiento en la toma de decisiones, para así poder alcanzar este logro tan importante en mi vida como lo es ser un profesional.

A mis padres, por motivarme a estudiar y ser alguien en la vida, y en especial a mi Mama, pues sin su empuje, dedicación y sacrificio jamás hubiese llegado hasta donde estoy, pues es mi motor y mayor motivación para poder ser un buen profesional, para poder seguir adelante sin rendirme.

A miabuela, tía y tíos, ya que siempre me apoyaron en los momentos difíciles cuando más los necesitaba, pues han sido mi mayor motivación para poder alcanzar este logro y mi apoyo en cada situación difícil que he enfrentado, sin ellas no sería la persona con valores que soy hoy en día.

A mi familia dedico mi éxito, que a pesar de la distancia siempre han demostrado su interés en mi bienestar y en el alcance de mis logros.

A mi abuelo, quien a pesar de ya no estar con nosotros, siempre me dio su amor y apoyo, me enseñó a ir siempre adelante, a ser correcto y luchar por las cosas que se quieren.

A los profesores de la Universidad, que sin ningún interés particular siempre nos han colaborado y apoyado en cada paso que dimos hasta alcanzar esta meta, y nos impartieron los conocimientos que nos llevaran muy lejos en el largo camino de la vida.

A todas las personas que contribuyeron para alcanzar este logro y a quienes de alguna forma no lo hicieron también, pues de igual manera se alcanzó sin ellos.

JUAN SEBASTIAN VARGAS GALLARDO

DEDICATORIA

Quiero dedicar todo mi logro a Dios porque ha sido el motor de mi vida, por estar siempre iluminándome, guiándome en el cual me ha dado fuerzas para seguir adelante cada día, y así continuar con sacrificio y perseverancia en mi camino para lograr unas de las metas más importantes de mi vida, de ser un gran profesional y poder servir y ayudar a toda la comunidad.

Les agradezco a mis papás por ser una pieza fundamental en el transcurso de mi carrera, por toda la paciencia y apoyo incondicional en cada paso que he tenido en mi vida, en el que ellos siempre han estado, dándome consejos para salir siempre adelante y lograr mi objetivo de ser un profesional eficiente, destacarme siempre haciendo lo que me gusta siendo correcto y de la mejor manera.

A mi hermana por brindarme su amor y comprensión, que siempre ha estado a mi lado en los momentos felices y difíciles en mi camino de vida.

A mis abuelos, que a pesar que no estén aquí entre nosotros, quienes me apoyaron incondicionalmente en este proceso de mi vida, para lograr todas mis metas trazadas.

A todos los profesores de la universidad que me dictaron clases brindándome los conocimientos y un apoyo de hacer siempre las cosas de la mejor manera y eficientemente para salir adelante siendo una persona de calidad.

A mis amigos y familia que siempre han estado a mi lado apoyándome de una u otra manera en mi futuro de ser un gran profesional.

JORBAN ANDREY QUINTERO ANGARITA

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios ante todas las cosas, por darnos la inspiración para creer en nosotros mismos, por no permitirnos desfallecer en cada obstáculo de nuestra vida y brindarnos la fortaleza para seguir adelante y así poder alcanzar nuestras metas.

A nuestros pares, por ser nuestra mayor motivación y por ese apoyo pues jamás nos han dejado solos en nuestros caminos difíciles universitarios y gracias a ellos tuvimos ese impulso que nos motivó a luchar y ser perseverantes en nuestra carrera, para formarnos como profesionales eficientes.

Damos gracia a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por permitirnos formarnos como profesionales, para darnos un futuro y ser cada vez mejores personas que pueden luchar cada día, gracias a eso hoy podemos decir muy orgullosamente que somos INGENIEROS CIVILES.

Damos gracias a los jurados AGUSTIN MAGREGOR Y SANDRA DURAN DURAN por colaborarnos en la revisiones del informe para que de esta manera se garantice una buena realización y acompañamiento durante la ejecución de este proyecto.

Damos gracias a la alcaldía municipal de Ocaña, instituto nacional de vías por ayudarnos en la orientación y habernos facilitado alguna información.

Damos gracias a nuestro Director el Ingeniero FRANCISCO ALFONSO DURAN CASTRO quien nos asesoró durante todo el proceso de la realización de nuestro proyecto, brindándonos apoyo pues sin su ayuda nada de esto fuese realidad, por toda la colaboración que nos han brindado.

Damos gracias al Ingeniero Especialista NAPOLEON GUTIERREZ DE PIÑERES por toda su colaboración, asesorías y dedicarnos tiempo para que nuestra tesis se llevara a cabo.

Damos gracias al Ingeniero SANTANDER RINCON LOZANO por las asesorías brindadas de su tiempo libre.

En general a todas aquellas personas que hicieron parte de todo este proceso y se sintieron orgullosos de nosotros, en especial a nuestro amigo CARLOS DANIEL ECHAVEZ, que a pesar de sus inconvenientes de salud, nunca se apartó del proyecto y siempre estuvo atento a cualquier duda que pudiese surgir.

JUAN SEBASTIAN VARGAS GALLARDO

JORBAN ANDREY QUINTERO ANGARITA

Índice

Capítulo 1. Modelación de elementos hidráulicos para el sistema de aguas lluvias sobre la avenida Francisco Fernández de Contreras entre el PR. 50 + 540 y el PR. 49 +000, sentido sur-norte, en el municipio de Ocaña, mediante el empleo de herramientas tecnológicas	1
1.1 Planteamiento del problema.	1
1.2 Formulación del Problema.	3
1.3 Objetivos.	3
1.3.1 Objetivo General.	3
1.3.2 Objetivos Específicos.	3
1.4 Justificación.	4
1.5 Delimitaciones.	5
1.5.1 Delimitación Operativa.	5
1.5.2 Delimitación Conceptual.	5
1.5.3 Delimitación Geográfica.	5
1.5.4 Delimitación Temporal.	6
Capítulo 2. Marco referencial	7
2.1 Marco histórico.	7
2.1.1 Antecedentes a nivel internacional.	7
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional.	7
2.1.3 Antecedentes a nivel local.	8
2.2 Marco conceptual.	9
2.2.1 Canales.	9
2.2.2 Sumideros.	11
2.2.3 Bermas.	12
2.2.4 Cunetas.	13
2.2.5 Paso canadiense.	13
2.3 Marco teórico.	14
2.3.1 Swmm 5 vE.	15
2.3.2 Epanet 2.0 vE.	16
2.4 Marco Legal.	16

Capítulo 3. Diseño Metodológico	18
3.1 Tipo de investigación.	18
3.2.1 Técnicas de recolección de información.....	18
3.2.2 Instrumentos para la recolección de información.	19
Capítulo 4. Presentación de Resultados	21
4.1 Modelar los elementos hidráulicos para el sistema de aguas lluvias sobre la Avenida Francisco Fernández de Contreras entre el PR 50 + 540 y el PR 49 +000, sentido sur-norte en el municipio de Ocaña, mediante el empleo de softwares libres.	21
4.1.1 Información general.....	21
4.1.2 Trabajo de campo y oficina.....	25
4.2 Realizar un inventario de las obras hidráulicas existentes en el área afectada, así como su funcionalidad actual, verificando las variables que afectan los componentes del sistema existente.	30
4.2.1 Falencias del sistema existente.	31
4.2.2 Evaluación hidráulica del sistema pluvial del tramo de vía en estudio.....	35
4.2.3 Inventario de obras hidráulicas.	55
4.3 Proponer el diseño de elementos hidráulicos aplicando el software libre Epanet 2.0 y Swmm 5.0 vE, para la modelación de los mismos, que contribuyan al mejoramiento de la problemática presentada en el sector.....	58
4.3.1 Modelación hidráulica en SWMM 5.0 vE.	69
4.3.2 Modelación hidráulica en Epanet 2.0 vE.	80
4.3.3 Pasos para la modelación hidráulica.	83
4.3.4 Comparación de resultados.....	93
4.4 Elaborar un presupuesto de los elementos hidráulicos necesarios para la rehabilitación de las obras existentes o la construcción de las mismas.	94
Conclusiones	97
Recomendaciones	99
Referencias	101
Apéndices	102

Apéndice A. Planos topográficos.....	103
Apéndice B. Información recopilada.	104
Apéndice C. Registro fotográfico.	105
Apéndice D. Modelación hidráulica.....	106
Apéndice E. Elementos diseñados.....	107

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Estados de los elementos hidráulicos.....	36
Tabla 2. Áreas de aportes al sistema pluvial del tramo en estudio.....	37
Tabla 3. Coeficientes de impermeabilidad o escorrentía.....	39
Tabla 4. Determinación del coeficiente de escorrentía promedio para las áreas en cada tramo.....	40
Tabla 5. Periodos de retorno.....	41
Tabla 6. Valores máximos mensuales precipitación en 24 horas periodo 1970- 1986.....	43
Tabla 7. Valores máximos mensuales precipitación en 24 horas periodo 1987- 2005.....	44
Tabla 8. Intensidad de aguas lluvias (Lt/seg - ha).....	44
Tabla 9. Aportes pluviales para el tramo en estudio.....	46
Tabla 10. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning.....	47
Tabla 11. Relaciones hidráulicas para conductos circulares.....	48
Tabla 12. Chequeo de diámetros y caudales.....	49
Tabla 13. Variables para comprobar el estado de los tamos de tubería.....	50
Tabla 14. Parámetros obtenidos de las relaciones hidráulicas.....	52
Tabla 15. Comparación de diámetros reales y obtenidos por chequeos.....	54
Tabla 16. Inventario de elementos hidráulicos según su ubicación.....	56
Tabla 17. Asignación de caudales según el tramo al que pertenece.....	60
Tabla 18. Diseño de obras hidráulicas proyectadas.....	61
Tabla 19. Valores obtenidos de relaciones hidráulicas.....	62
Tabla 20. Valores y chequeos obtenidos de relaciones hidráulicas.....	63
Tabla 21. Datos necesarios para el cálculo de sumideros.....	64
Tabla 22. Ancho de inundación admisible según la clasificación de la vía.....	65
Tabla 23. Dimensionamiento de sumideros.....	68
Tabla 24. Dimensiones finales de rejillas de sumideros.....	68
Tabla 25. Ubicación de las estructuras hidráulicas.....	71

Tabla 26. Resumen de líneas.....	76
Tabla 27. Resumen de secciones transversales.....	77
Tabla 28. Resumen de caudales en líneas.....	78
Tabla 29. Resumen del tipo de flujo.....	79
Tabla 30. Resultados de modelación en puntos o conexiones.....	81
Tabla 31. Resultados de la modelación en los tramos de tubería.....	82
Tabla 32. Comparación de velocidades según los métodos empleados.....	93
Tabla 33. Presupuesto general del mejoramiento.....	95

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Sección transversal irregular.....	10
Figura 2. Tipos de secciones artificiales transversales.....	11
Figura 3. Tipos de sumideros.....	12
Figura 4. Paso canadiense convencional.....	13
Figura 5. Ubicación del tramo de estudio Avenida Francisco Fernández de Contreras.....	21
Figura 6. Pendientes predominantes que desembocan en la avenida Francisco Fernández de Contreras.....	27
Figura 7. Estado del tramo de vía en estudio durante precipitaciones de poca magnitud.....	28
Figura 8. Visita realizada a la empresa de servicios públicos ESPO S.A.....	29
Figura 9. Zona crítica de la Avenida Francisco Fernández de Contreras.....	30
Figura 10. Rejilla taponada por sedimentos sólidos.....	33
Figura 11. Tramos de vía y lote sin construir que desembocan en la entrada al barrio Cañaveral.....	33
Figura 12. Tramos afectados por inundaciones.....	35
Figura 13. Plano en planta con la localización del sistema pluvial existente.....	36
Figura 14. Delimitación de áreas de aportes.....	38
Figura 15. Identificación de zonas donde se ubican obras hidráulicas.....	59
Figura 16. Esquema de variables para sumideros de fondo.....	67
Figura 17. Primer paso para abrir un archivo dxf en la interfaz EpaCAD.....	73
Figura 18. Selección del pincel o línea de trazado a convertir.....	74
Figura 19. Último procedimiento para convertir archivo dxf a formato inp.....	75
Figura 20. Entorno de trabajo del software SWMM.....	76
Figura 21. Abrir un archivo inp en el entorno de trabajo de SWMM.....	83
Figura 22. Plano trazado de la red de modelación en el entorno SWMM.....	84
Figura 23. Ventana emergente para abrir fondo de pantalla.....	84
Figura 24. Fondo de pantalla con trazado de red.....	85

Figura 25. Editor de propiedades en nudos o conexiones.....	86
Figura 26. Introducción de aportes en nudos.....	86
Figura 27. Editor de propiedades de líneas o tuberías.....	87
Figura 28. Introducción del diámetro y forma en conductos.....	87
Figura 29. Opciones de cálculo de SWMM.....	88
Figura 30. Simulación hidráulica en SWMM.....	89
Figura 31. Introducción de una red en Epanet.....	90
Figura 32. Entorno de Epanet, trazado de la red y embalses.....	90
Figura 33. Valores introducir en las conexiones.....	91
Figura 34. Editor de propiedades de las tuberías.....	92
Figura 35. Definición de los valores por defecto de Epanet.....	92

Resumen

El siguiente documento es una investigación de campo que consiste en una propuesta de mejoramiento del drenaje urbano para un tramo de vía de la Avenida Francisco Fernández de Contreras localizado en el PR 50 + 540 y el PR 49 +000, sentido sur-norte, del Municipio de Ocaña, Norte de Santander la cual ha presentado una serie de inconvenientes cuando ocurren grandes precipitaciones, ya que no cuenta con la capacidad suficiente para evacuar todo el caudal pluvial sin afectar a la comunidad. Esto se debe a que el sistema actual es muy antiguo y la falta de mantenimiento y descuido por parte de las entidades públicas han ocasionado que en épocas de lluvias el colapso en este tramo de vía, produciendo un malestar tanto en el tráfico vehicular como en el tránsito peatonal. La presente investigación busca dar solución a problemática utilizando software de modelación para evaluar las condiciones futuras y presentes que se puedan generar en las tuberías que recolectan las aguas lluvias. A demás también recopila información de tipo técnica, formalizada en un inventario de diagnóstico en donde se muestra y se especifican todas las falencias que existen en el sistema actual; de igual forma se proyecta un rediseño para los tramos evaluados que no cumplen bien su función y se realiza un presupuesto con todos los costos necesarios para llevar a cabo un mejoramiento del sistema de drenaje actual.

Introducción

Las diferentes obras hidráulicas que se han estado construyendo en los últimos años han beneficiado en un gran porcentaje a las comunidades para el aprovechamiento del agua, además de la adecuada conducción de aguas lluvias y aguas residuales, por lo que cada día se invierte más dinero y se proponen diversos proyectos en dónde los conceptos de hidráulica juegan un papel importante.

Las inundaciones son uno de los problemas más comunes que se presenta en cualquier región del país, y muchos de los fenómenos naturales presentados en Colombia hacen referencia a los terribles desbordamientos de agua que se dan a causa de las fuertes lluvias y no se cuenta con un adecuado sistema hidráulico que ayude a prevenir estos desastres puesto que en la mayoría de los casos se dan grandes pérdidas materiales y en algunos casos de estos, humanas.

Generalmente en las ciudades se trata de dar un adecuado tratamiento a las aguas lluvias que afectan, para lo cual se construyen obras hidráulicas para llevar a cabo su objetivo, pero en muchos de los casos estas obras son obsoletas o pierden su funcionalidad, ya sea porque no se cumplieron ciertos requisitos en su diseño y ejecución o porque no se presta un adecuado mantenimiento, es entonces cuando se presentan casos de inundación.

En el caso específico de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, la cual cuenta con un “Plan Maestro” que se ha estado ejecutando desde hace varios años, muchos sectores presentan inconvenientes con el manejo del agua en las vías, tal el caso de la Avenida Francisco Fernández

de Contreras, la cual es considerada como vía nacional y en el momento de caer alguna precipitación es una vía totalmente intransitable, así como ésta muchas regiones presentan esta problemática sin llegar a ningún tipo de solución.

Capítulo 1. Modelación de elementos hidráulicos para el sistema de aguas lluvias sobre la avenida Francisco Fernández de Contreras entre el PR. 50 + 540 y el PR. 49 +000, sentido sur-norte, en el municipio de Ocaña, mediante el empleo de herramientas tecnológicas

1.1 Planteamiento del problema.

Las diferentes obras hidráulicas, son estructuras esenciales para ayudar a la adecuada conducción y manejo de las aguas sea cual sea su origen, este manejo de aguas se hace con el fin de dirigitas de manera eficiente hacia su lugar de tratamiento o cauce natural, debido al mal manejo de las aguas lluvias o aguas residuales se provocan colapsos en los diferentes sistemas y en muchas ocasiones la inexistencia de estas obras generan mayores problemáticas en las comunidades. En diferentes países se han presentado desastres debido al mal manejo de las aguas y problemas como las crecientes súbitas que se dan en las vías, esto se debe a que los cauces no cuentan con una debida conducción y el único camino que encuentran son las calles de las ciudades, afectando las zonas residenciales y comerciales

En Colombia, es importante resaltar que el país ha venido presentando una serie de sucesos históricos correspondientes a los fenómenos naturales como lo son las inundaciones;que debido a su topografía se ve obligado a darle un manejo adecuado a las aguas pluviales, aunque también se han propuesto muchos proyectos de los cuales muy pocos han dado buenos resultados pues estos se convierten en un prototipo de pequeñas obras hidráulicas para el mejoramiento y la

satisfacción de las necesidades que existen en el territorio nacional. En los últimos años, han aumentado los eventos negativos en diferentes zonas, viéndose afectadas por la gran cantidad de precipitaciones y que los gobiernos locales no han logrado controlar, como es el caso de la famosa calle de la ciudad de Barranquilla llamada el arroyo, la cual ha arrasado con vidas humanas y por mas obras hidráulicas y elementos de protección que se implementen, actualmente sigue siendo un problema cada vez que ocurre una fuerte precipitación.

En el municipio de Ocaña, Norte de Santander, se ha venido presentando una problemática en diversos sectores del municipio, debido al mal manejo de las aguas lluvias en el cual se han propuesto y ejecutado diferentes proyectos tales como el “Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado”, la adecuación de redes de alcantarillados entre otras, con los cuales se ha logrado satisfacer en un mínimo porcentaje la problemática presentada. Por lo tanto, una de las zonas más afectados por las inundaciones se encuentran en el sector de la primavera sobre la Avenida Francisco Fernández de Contreras entre el PR 50 + 540 y el PR 49 +000, sentido sur-norte, en el que ha venido ocurriendo con frecuencia cada vez que se presentan fuertes lluvias, por lo cual, el lugar se hace intransitable para el flujo de vehículos y peatones, sumado a esto se debe tener en cuenta los reparcheos incorrectos que se han realizado en el lugar por manos de contratistas los cuales no cumplen con los requerimientos establecidos en la norma con relación al drenaje de aguas lluvias en las vías, contando también que no se ha respetado el bombeo que posee la vía; ocasionando de esta manera, una parálisis de la arteria vial en mención.

1.2 Formulación del Problema.

¿Modelar los elementos hidráulicos sobre la Avenida Francisco Fernández de Contreras entre El PR 50 + 540 y el PR 49 +000, sentido sur-norte, mejorará la problemática presentada en el sector?

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General. Modelar los elementos hidráulicos para el sistema de aguas lluvias sobre la Avenida Francisco Fernández de Contreras entre el PR 50 + 540 y el PR 49 +000, sentido sur-norte en el municipio de Ocaña, mediante el empleo de software libre.

1.3.2 Objetivos Específicos. Realizar un inventario de las obras hidráulicas existentes en el área afectada, así como su funcionalidad actual, verificando las variables que afectan los componentes del sistema existente.

Proponer el diseño de elementos hidráulicos aplicando el software libre Epanet 2.0 y Swmm 5vE, para la modelación de los mismos, que contribuyan al mejoramiento de la problemática presentada en el sector.

Elaborar un presupuesto de los elementos hidráulicos necesarios para la rehabilitación de las obras existentes o la construcción de las mismas.

1.4 Justificación.

Las inundaciones presentadas en el sector de la primavera sobre la Avenida Francisco Fernández de Contreras entre el PR 50 + 540 y el PR 49 +000, sentido sur-norte, en el municipio de Ocaña, han venido ocurriendo con frecuencia cada vez que las precipitaciones se presentan con mayor intensidad, por lo cual, el lugar se hace intransitable y es notorio observar la incomodidad que causa a los habitantes de esta zona. Para lograr un mejoramiento de esta problemática se hace necesario realizar un estudio en el cual se lleve a cabo un inventario para diagnosticar concretamente las falencias del sistema de recolección de aguas lluvias que han estado afectando durante tanto tiempo a sus habitantes, además modelar el comportamiento hidráulico, aplicando herramientas tecnológicas como el software libre Epanet 2.0 y Swmm 5 vE, que conlleven al adecuado transporte del líquido sin que afecte a sus habitantes considerando las situaciones críticas. También se hace indispensable un adecuado tratamiento ya que esta zona es una de las más transitadas del municipio de Ocaña, considerándose esta como una vía nacional y además el único acceso de los vehículos de emergencia.

El proyecto tiene como finalidad, dar un mejor manejo y tratamiento a las aguas lluvias, con el fin de controlar las inundaciones, las cuales paralizan el tránsito vehicular y peatonal de la zona, además de esta manera se pueden evitar daños a la vía, viviendas cercanas y locales comerciales que ven afectada su economía cuando las precipitaciones se presentan en el sector, de igual forma el flujo vehicular va a mejorar en gran porcentaje.

1.5 Delimitaciones.

1.5.1 Delimitación Operativa. Para el desarrollo de la investigación, además de la inspección visual en campo, se utilizó la información de libros, tesis, artículos, encuestas, bancos de datos de las empresas ESPO SA, Alcaldía Municipal, INVIAS y otras publicaciones referentes al tema de estudio, como también información existente en la Universidad Francisco de Paula Santander. Se empleó el uso de herramientas tecnológicas como el software libre Epanet 2.0 & Swmm 5vE.

1.5.2 Delimitación Conceptual. En el proceso de la investigación, se encuentran involucrados conceptos como: obras hidráulicas (canales, vertederos, rejillas, alcantarillado, cunetas, berma-cunetas, drenajes etc) precipitaciones, caudal, modelos, topografía, software entre otros, los cuales servirán de apoyo en el desarrollo del proyecto. La finalidad del proyecto es dar solución a la falencia en la recolección de aguas pluviales que actualmente genera incomodidad a los habitantes del municipio de Ocaña y a los conductores que transitan por el tramo de vía objeto en esta investigación.

1.5.3 Delimitación Geográfica. La presente investigación se realizó en el casco urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander. Teniendo en cuenta la división política de Ocaña establecida en el plan básico de ordenamiento territorial del municipio, la zona de influencia del proyecto corresponde a la comuna 5 llamadas Francisco Fernández de Contreras, hace parte de las 6 comunas que conforman el casco urbano del municipio de Ocaña. La extensión territorial de la comuna es de 1.14 km^2 .

El casco urbano del municipio de Ocaña limita al Norte por el Corregimiento de Venadillo, al Sur por los Corregimientos Buena Vista y Agua de la Virgen, al Oriente por los Corregimientos Llano de los trigos, El Puente, Portachuelo y Las Liscas; y al Occidente por el Corregimiento Venadillo. La extensión total de Ocaña es de 8.24 km^2 .

1.5.4 Delimitación Temporal. El trabajo de investigación se llevó a cabo durante cuatro (4) meses, a partir de la aprobación del anteproyecto, tiempo en el cual se realizan los análisis y resultados de la información recolectada.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico.

2.1.1 Antecedentes a nivel internacional. La evacuación y manejo de aguas lluvias es un proceso que se ha realizado desde la época prehistórica, pues según F. Rosell Campos (2009), nos dice que:

Los sistemas de alcantarillado de las ciudades se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Aunque su función original era el drenaje, es decir la recogida del agua de lluvia y las corrientes del terreno para reducir el nivel freático; en la antigua Grecia hay catalogados restos de letrinas agrupadas en habitaciones subterráneas, de planta cuadrada o circular, con unos orificios en el techo para conseguir ventilación e iluminación; que desaguaban sobre las cloacas principales, situadas a mayor profundidad. Estas habitaciones se situaban en palacios y otros edificios públicos. La costumbre del resto de ciudadanos de arrojar los desperdicios a las calles, el “¡agua va!” que en algunos lugares se ha mantenido casi hasta nuestros días; causó que por los originales canales de pluviales viajasen grandes cantidades de materia orgánica; lo que a la postre hizo que este sistema fuese abandonado con el tiempo, debido a los malos olores que producía y al foco de infecciones que esta práctica constituía.

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional. Debido al clima tropical de nuestro país es notorio encontrar muchas ciudades con problemas de recolección de aguas lluvias. En el diario el Espectador, Márquez (2011), nos dice que:

Sólo en lo que va del año, la temporada de lluvias originada por el fenómeno meteorológico de 'La Niña' deja 120 muertos, más de 480.000 damnificados de unas 103.000 familias, 86 heridos y cuatro desaparecidos. Pero si se tiene en cuenta que el fenómeno viene afectando al país andino desde mediados del año pasado, las cifras totalizan 448 muertos, 524 heridos y 73 desaparecidos, además de 3.318.574 personas damnificadas, 447.482 viviendas averiadas y unas 13.110 destruidas.

El sábado, en la ciudad portuaria de Barranquilla (985 km al norte de Bogotá), las torrenciales lluvias originaron el desbordamiento de los arroyos que la atraviesan, arrastrando 82 vehículos que quedaron unos sobre otros. Los departamentos de Boyacá y Cundinamarca (centro), este último donde se localiza la capital colombiana, fueron bastante afectados por las lluvias y el gobierno departamental lanzó este domingo un alerta por la posible crecida, en las próximas horas, del río Bogotá que atraviesa la ciudad.

2.1.3 Antecedentes a nivel local. En lo que confiere al ámbito regional, en el municipio de Ocaña se tiene como antecedente la elaboración del plan maestro de acueducto y alcantarillado, el cual fue propuesto en el año 1993. Según el diario el Espectador. Mejía Cantor (2015), nos dice que:

El proyecto supone el fin de años de inundaciones y malos olores que afectaban a los habitantes del municipio. Un alivio han sentido los habitantes de varios sectores del municipio de Ocaña en Norte de Santander con la culminación de las obras de construcción del Plan Maestro de Alcantarillado, que entre otras, comprende un colector pluvial en el sector de las quebradas El Tejar y San Cayetano.

A raíz de los efectos negativos en las comunidades, el alcalde Jesús Antonio Sánchez gestionó ante el Gobierno Nacional una solución definitiva y en abril de 2013 se firmó un millonario contrato por 23.781 millones de pesos para el Plan Maestro de Alcantarillado de Ocaña, por parte del Ministerio de Vivienda, el Consorcio Ocaña 026 y la Fiduciaria Bogotá (Fidubogotá) administradora del Fidecomiso, apostándole a que con estos trabajos a los ocañeros pudieran tener plena cobertura del servicio de alcantarillado.

Así se dio inicio a la construcción de un largo tramo de mil metros de Box Coulvert en dos secciones con estructuras para un colector pluvial y un colector de aguas negras y los colectores aledaños a la estructura para la conducción de agua, sedimentos y residuos en el tramo comprendido entre las quebradas San Cayetano y Tejar que unen sus aguas en el río Chiquito.

No obstante, durante los trabajos a cargo del Consorcio Ocaña 026 se presentaron dificultades. Al tiempo que se avanzaba en las obras se presentaron fuertes precipitaciones que generaban inquietud en la comunidad pues algunos barrios sufrieron inundaciones lo que hizo pensar a la gente que el remedio había sido peor que la enfermedad.

Pero con el paso de los meses se empezó a sentir el cambio tanto en tiempo de lluvia como en el seco. Con los avances de la obra el medio ambiente y calidad de vida de los habitantes de la zona de influencia de las quebradas que atraviesan Ocaña empezaron a respirar otro aire.

Todo fue cosa de tiempo y a finales de este 2015 el Consorcio dio por culminada la mega obra que entre octubre y noviembre pasó la prueba de fuego ante una corta pero fuerte temporada de lluvias en medio del fenómeno del Niño.

2.2 Marco conceptual.

Una obra hidráulica, es una construcción, en el campo de la ingeniería civil, agrícola e hidráulica, que tiene como función controlar volúmenes de agua constantes o intermitentes para ser usados como medio para captar y conducir agua para consumo humano, para riego o evacuación de aguas residuales o aguas pluviales en zonas urbanas donde se acumulan producto de la esorrentía superficial.

2.2.1 Canales. Los canales son conductos abiertos a flujo libre que sirven para el transporte de agua por esorrentía superficial o flujo uniforme, según su origen los canales se clasifican en naturales o artificiales. Rodríguez Ruiz P. (2008), nos dice:

2.2.1.1 Canales naturales: Incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, ríos pequeños y grandes, arroyos, lagos y lagunas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales. La sección transversal de un canal natural es generalmente de forma muy irregular y variable durante su recorrido lo mismo que su alineación y las características y aspereza de los lechos. Algunos tipos de canales naturales se muestran en la siguiente figura.



Figura 1. Sección transversal irregular. Fuente: Rodríguez Ruiz P. (2008).

2.2.1.2 Canales artificiales. son todos aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo de la mano del hombre, tales como: canales de riego, de navegación, control de inundaciones, canales de centrales hidroeléctricas, alcantarillado pluvial, sanitario, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras, cunetas de drenaje agrícola y canales de modelos construidos en el laboratorio. Los canales artificiales usualmente se diseñan con forma geométricas regulares (prismáticos), un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante se conoce como canal prismático. El término sección de canal se refiere a la sección transversal tomado en forma perpendicular a la dirección del flujo. Las secciones transversales más comunes son las siguientes:

Sección trapezoidal: Se usa en canales de tierra debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad, y en canales revestidos.

Sección rectangular: Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos con materiales estables, acueductos de madera, para canales excavados en roca y para canales revestidos.

Sección triangular: Se usa para cunetas revestidas en las carreteras, también en canales de tierra pequeños, fundamentalmente por facilidad de trazo. También se emplean revestidas, como alcantarillas de las carreteras.

Sección parabólica: Se emplea en algunas ocasiones para canales revestidos y es la forma que toman aproximadamente muchos canales naturales y canales viejos de tierra.

Sección circular cerrada: El círculo es la sección más común para alcantarillados y alcantarillas de tamaños pequeño y mediano.

Sección parabólica cerrada: Se usan comúnmente para alcantarillas y estructuras hidráulicas importantes.

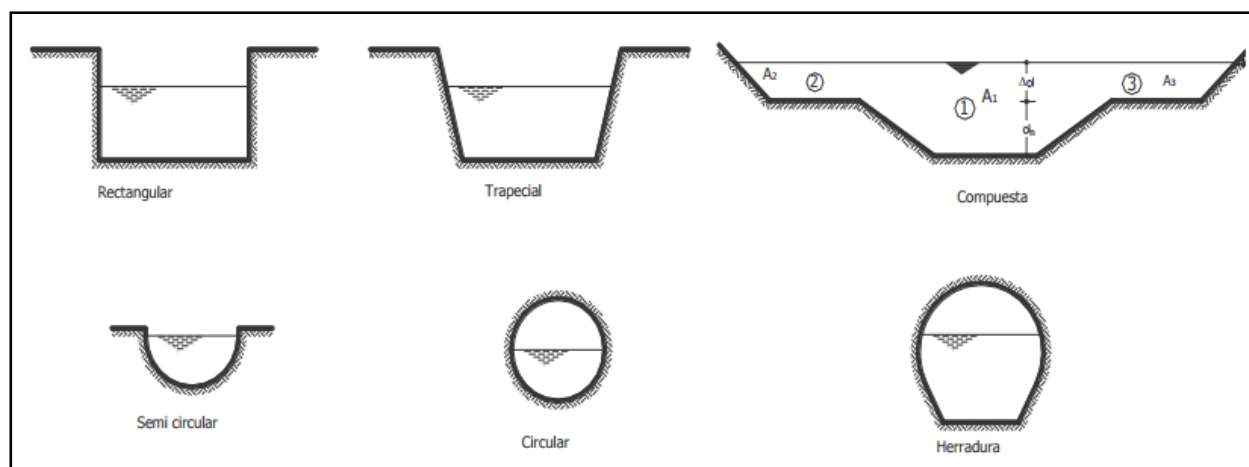


Figura 2. Tipos de secciones artificiales transversales. Fuente: Rodríguez Ruiz P. (2008).

2.2.2 Sumideros. “Los sumideros son las estructuras encargadas de recoger el agua que fluye por las cunetas de las vías con el mínimo de interferencia para el tráfico vehicular y peatonal, evitando se introduzca a los colectores materiales de arrastre”. (Anónimo, 2010).

Según su diseño, los tipos de sumideros más usados son:

2.2.2.1 Sumidero de ventana o acera. Son aquellos que tienen una abertura a manera de ventana o lateral perpendicular a la superficie de la vía, incrustada en el bordillo o andén, generalmente deprimida con respecto a la cuneta. Al contar con la rejilla lateral, capta mucho más sedimentos y basura que pasan al sistema de evacuación de aguas lluvias.

2.2.2.2 Sumidero de calzada o rejilla de fondo. Son aquellos que para captar el agua pluvial cuentan con una rejilla de fondo en la cuneta de la vía o calle, la orientación de las rejillas debe ser paralela a la orientación del flujo en la cuneta. Su eficiencia de captación se puede aumentar deprimiendo la cota de la rejilla con respecto a la rasante de la cuneta.

2.2.2.3 Sumidero mixto o combinado. Es una combinación de los sumideros de ventana o laterales junto con los sumideros de cuneta, los cuales ayudan a una mejor y óptima evacuación de aguas pluviales. Los tipos de sumideros para una mejor comprensión se muestran en la figura 3.

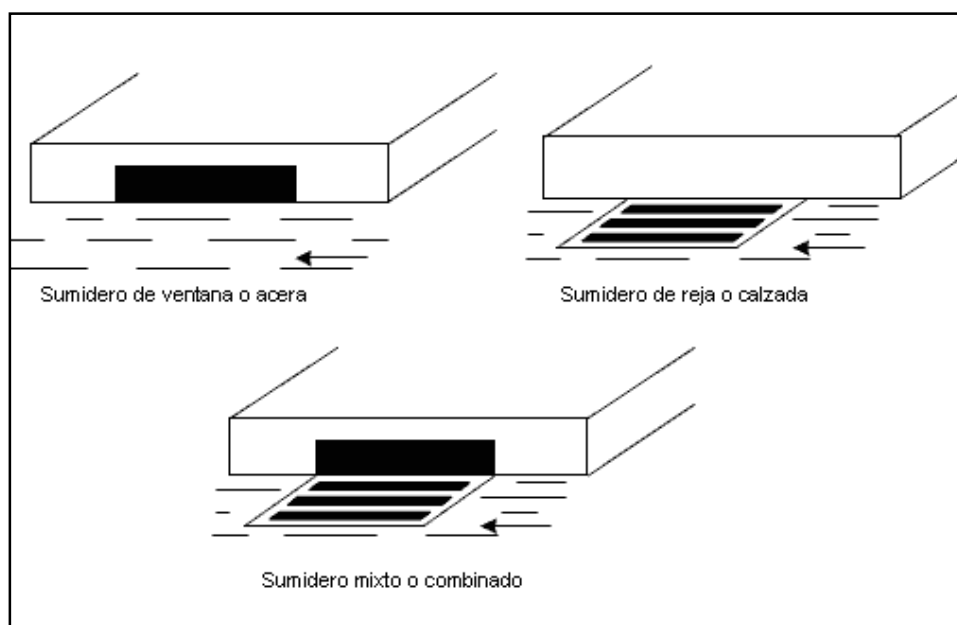


Figura 3. Tipos de sumideros. Fuente: Anónimo (2010).

2.2.3 Bermas. Las bermas son aquella parte de la corona del pavimento que se encuentra adyacente a la superficie de rodadura y que tiene como función principal, proporcionar un espacio adecuado para la detención de vehículos en emergencia.

2.2.4 Cunetas. Las cunetas son zanjas que se hacen a ambos lados del camino o vía con el propósito de recibir y conducir el agua pluvial de la mitad del camino la cual fluye por medio de la escorrentía superficial hasta llegar a su punto de encole o evacuación. Por lo general todas las vías del territorio nacional colombiano cuentan con cunetas que casi siempre son de sección triangular.

2.2.5 Paso canadiense. Un paso canadiense es una rejilla anclada a la calzada perpendicular al sentido de la vía, el cual sirve para la recolección de aguas pluviales siendo el puente para vehículos y peatones entre dos tramos de calzada.

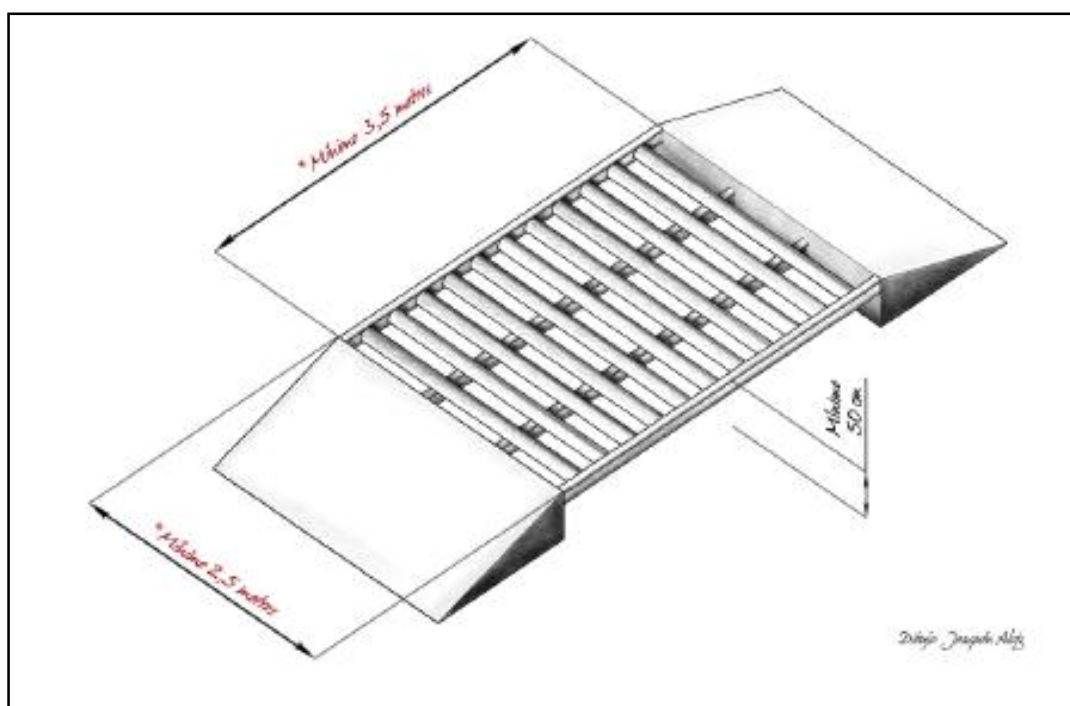


Figura 4. Paso canadiense convencional. Fuente: Extremambiente.gobex.es (2014).

2.3 Marco teórico.

En el territorio colombiano es notorio encontrar que por lo general en la mayoría de regiones de nuestro país sufren a causa de los fenómenos naturales, en especial las inundaciones por las fuertes lluvias que se presentan durante las distintas épocas del año, pues si bien es de resaltar los servicios de saneamiento básico no son los mejores ya que en todo el territorio nacional no hay una cobertura del 100% en acueductos, lo que da a entender que el servicio de alcantarillado y recolección de aguas pluviales tampoco es el mejor.

Destacando la capital de Colombia, según el diario El Espectador, publicado por Redacción Bogotá (2014), nos dice que:

Un aguacero en Bogotá puede provocar entre 40 a 60 emergencias por inundación. La cifra fue expuesta por el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (IDIGER) para demostrar que el empozamiento de aguas lluvias no es un problema menor. Su atención se ha fijado en los diluvios de la ciudad por un decreto que el alcalde Gustavo Petro firmará en los próximos días y que establece, entre otras cosas, que el Instituto será la entidad encargada de implementar un sistema urbano de drenaje pluvial sostenible.

Crear un sistema urbano de drenaje implica resolver unas preguntas alrededor de la lluvia: cómo y en dónde almacenarla, qué usos alternativos puede tener. Actualmente, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) es responsable de prevenir las inundaciones. Cuando llueve, el agua pasa por 82 canales con una longitud de 172 km y 73 quebradas con una longitud de 150 km que son vigiladas y mantenidas por la EAAB. Sin embargo, para Javier Pava, director del IDIGER, este manejo no es suficiente: “El Acueducto ha sido muy eficiente, pero el sistema de alcantarillado fluvial se está saturando y es necesario pensar en un nuevo modelo. No se debe pensar solamente en cómo evacuar las lluvias sino en una política de retención de aguas. Con el cambio climático, los patrones de riesgo serán más complejos y frecuentes, por eso hemos propuesto un modelo en donde las aguas lluvias puedan ser utilizadas”.

En la actualidad se observan obras con serios problemas de obstrucción lo cual es un indicador del poco mantenimiento que se realiza al sistema de recolección de aguas lluvias de

una ciudad. Por lo general cuando se presentan inundaciones por un mal sistema de recolección de aguas lluvias o inexistencia del mismo, se puede decir que la responsabilidad jurídica recae en la empresa prestadora de servicios públicos, encargados de tomar cartas en el asunto para solucionar el inconformismo y los inconvenientes e incomodidades causadas a los transeúntes, como peatones y tránsito vehicular.

En este proyecto se realizó una investigación de campo con el fin de dar solución a un tramo de vía de la avenida Francisco Fernández de contreras de la ciudad de Ocaña, que frecuentemente sufre a causa de inundaciones producto de los fenómenos naturales (aguas pluviales), pues si bien es de resaltar, durante muchos años, se ha mantenido el problema de la falta de una óptima evacuación de aguas lluvias en las que se encuentra el sector, pero que aún la empresa prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado en términos coloquiales se han hecho los de la vista gorda, ya que actualmente no se realizan mantenimientos periódicos ni mucho menos remodelaciones para optimizar el sistema, por lo que la evaluación hidráulica en esta investigación es de carácter primordial para conocer las condiciones en las que se encuentra y poder proponer una solución para el mejoramiento de la evacuación de aguas lluvias del tramo en estudio.

2.3.1 Swmm 5 vE. El Stormwater Management Model (modelo de gestión de aguas), es un software libre, desarrollado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) y sirve para simular hidráulicamente el transporte del agua en conductos abiertos y conductos cerrados, considerando áreas tributarias pluviales.

El software permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada. Teniendo en cuenta tres condiciones de modelación, modelo de flujo uniforme, modelo de onda cinemática y modelo de onda dinámica. Dichos modelos se diferencian por presentar diferentes propiedades de cálculos.

2.3.2 Epanet 2.0 vE. Es un software de modelación hidráulica que sirve para modelar conductos a presión como también redes y mallas de distribución de agua; realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico, además aplica la fórmula de Darcy Weisbach y Hazen Williams. Presenta la desventaja que solo tiene la propiedad de evaluar conductos con secciones transversales circulares.

2.4 Marco Legal.

Dentro de las normas legales que rigen los sistemas de recolección de aguas lluvias, las más destacadas son las siguientes:

Ley 142 de 1994: Artículo 1o. Ámbito de aplicación de la ley. Esta Ley se aplica a los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía fija pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural; a las actividades que realicen las personas prestadoras de servicios públicos de que trata el artículo 15 de la presente Ley, y a las actividades complementarias definidas en el Capítulo II del presente título y a los otros servicios previstos en normas especiales de esta Ley.

Resolución 0330 de 08 de Junio 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, derogando las resoluciones 1096 del 2000, 0424 del 2001, 0668 del 2003, 1459 del 2005, 1447 del 2005 y 2320 de 2009.

Decreto 3930 de 2010. El presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. El presente decreto aplica a las autoridades ambientales competentes definidas en el artículo 3° del presente decreto, a los generadores de vertimientos y a los prestadores del servicio público domiciliario de alcantarillado.

Resolución 543 DE 2011. Que de conformidad con lo establecido en el artículo 73 de la Ley 142 de 1994, las comisiones de regulación tienen la función de regular los monopolios en la prestación de los servicios públicos, cuando la competencia no sea, de hecho, posible; y, en los demás casos, la de promover la competencia entre quienes presten servicios públicos, para que las operaciones de los monopolistas o de los competidores sean económicamente eficientes, no impliquen abuso de la posición dominante y produzcan servicios de calidad

Dentro del marco legal cabe resaltar la normatividad vigente de la entidad pública reguladora INVIAS.

Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2010, modificado por la Resolución 0330 de 08 de Junio de 2017, en donde se derogan las resoluciones 1096 del 2000, 0424 del 2001, 0668 del 2003, 1459 del 2005, 1447 del 2005 y 2320 del 2009.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación.

Se trata de una investigación de tipo descriptivo, cuantitativo y experimental. Descriptivo debido a que se conocerá a fondo la problemática planteada de acuerdo a descripciones exactas del estado actual de las obras hidráulicas en el sector, su funcionalidad entre otros. Experimental, debido a que se realizarán inspecciones y toma de datos en el sector de estudio, lo cual conlleva a hacer cálculos y uso de equipos; así mismo como el uso de softwares libres Epanet 2.0 y Swmm 5 vE. Este estudio se llevará a cabo tomando como población las vías afectadas por las inundaciones en el área urbana del Municipio de Ocaña N.S. Para la obtención de la muestra se trabajará con el tramo de la Avenida Francisco Fernández De Contreras entre el PR 50 + 540 y el PR 49 +000, sentido Sur-Norte. Es cuantitativo porque se manejarán cantidades en el presupuesto y los cálculos a realizar.

3.2 Recolección de información.

3.2.1 Técnicas de recolección de información. Para la recolección de información del proyecto presente fue necesario llevarla a cabo mediante tres fases consecuentes que son:

La primera fase consistió en la revisión de la información existente a nivel Regional, Local, Nacional e Internacional con relación al objeto de estudio de la investigación.

La segunda fase se basó en realizar visitas de campo, en donde mediante la observación y la inspección técnica, se elaboró una descripción detallada acerca de las estructuras hidráulicas existentes en el área de estudio y tomar los datos necesarios para el cálculo de caudal, secciones, perímetro mojado, radio hidráulico etc.

La tercera fase consistió en el trabajo de oficina en la cual se analizan los datos obtenidos en campo para llevar a cabo el respectivo diseño y comprobar su estado actual mediante la modelación hidráulica en software libre.

3.2.2 Instrumentos para la recolección de información. Para la recolección de información se utilizó algunos instrumentos como:

P.B.O.T. (Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Ocaña), con el fin de verificar estudios de suelos y perfil de la población, conocer de forma detallada la zona de estudio y delimitar las áreas de aportes utilizadas en la evaluación hidráulica de los elementos inspeccionados.

Se contó con la colaboración del Ing. Esp. Napoleón Gutiérrez de Piñerez el cual participo en los estudios del Plan Maestro Acueducto y Alcantarillado de Ocaña; El Ing. Santander Rincón Lozano, antiguo director de la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña ESPO S.A.; Miguel Soto, Director actual del Instituto Nacional de Vías de Ocaña INVIAS; y Wilson Jaimes ex Director de Invias de Ocaña Conocedores del tema los cuales nos brindaron información y orientación durante el desarrollo de esta investigación.

Secretaria de planeación de Ocaña, para la obtención de planos digitales utilizados en la elaboración del proyecto, como los planos topográficos del área de estudio con la ubicación de algunas obras hidráulicas y las respectivas curvas de nivel.

Igualmente se indagó con Entidades para la recolección de información como:

INVIAS (Instituto Nacional de Vías).

ESPO S.A. (Empresa de Servicios Públicos de Ocaña).

Capítulo 4. Presentación de Resultados

4.1 Modelar los elementos hidráulicos para el sistema de aguas lluvias sobre la Avenida Francisco Fernández de Contreras entre el PR 50 + 540 y el PR 49 +000, sentido sur-norte en el municipio de Ocaña, mediante el empleo de softwares libres.

4.1.1 Información general.

4.1.1.1 Ubicación geográfica y localización. Ocaña se encuentra sobre la cordillera oriental andina. El área donde se encuentra Ocaña, se denomina Provincia de Ocaña. Según el sistema de georreferencia MAGNA-SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia-Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), se localiza a 8° 15' 25" Latitud Norte y 73° 21' 34" Longitud Oeste, tiene un área de 8.602 km² con una altitud promedio de 1200 msnm.

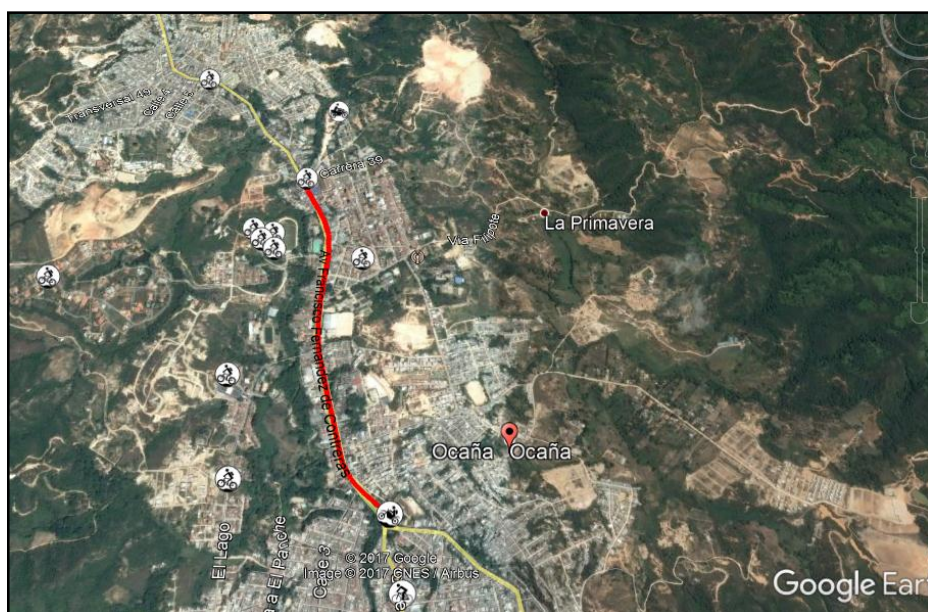


Figura 5. Ubicación del tramo de estudio Avenida Francisco Fernández de Contreras.
Fuente: Google Earth modificada por autores.

En la figura 5 se puede observar el esquema territorial con la identificación de la zona de estudio señalado en rojo. Los límites departamentales y municipales de Ocaña son:

Límites Departamentales

Por el Norte. Limita con el municipio de Gonzáles (Departamento del Cesar).

Por el Occidente. Limita con el municipio de Río de Oro (Departamento del Cesar).|

Por el sur. Limita con el municipio de San Martín (Departamento del Cesar).

Límites Municipales

Por el Oriente. Limita con los municipios de San Calixto, La Playa y Abrego.

Por el Norte. Limita con los municipios de Teorama, Convención y El Carmen.

Por el sur. Limita con el municipio de Ábrego.

4.1.1.2 Reseña histórica. Según la Alcaldía de Ocaña (2014), nos dice que:

Entre el grupo de heroicos guerreros que por orden del gobernador de Santa Marta Don Pedro Fernández del Bustos, partieron de esa ciudad, en los primeros días del mes de abril de 1570 para explorar las cabeceras del Río Magdalena, era conocido el nombre del capitán Francisco Fernández de Contreras. Fue pues, sin duda alguna, el fundador de Ocaña uno de los compañeros de aquel que respondía al nombre de Gonzalo Jiménez de Quesada.

Su reconocido valor bien, pronto lo acreditó entre sus compañeros y, entonces, se le nombra jefe de la expedición que vino a culminar con el glorioso establecimiento de Ocaña. Ocaña fue fundada el 14 de diciembre de 1570. Sucedió pues, que el día 26 de julio de 1570, el capitán Francisco Fernández de Contreras, seguido de sus tenientes y soldados, entre los cuales que se distinguían Juan Lorenzo, Diego Páez de Sotomayor, Gaspar Barbosa de María y otros más que junto a él y bajo las ordenes de Don Pedro de Ursua, habían conquistado y fundado Pamplona. En nombre de la majestad de Don Felipe II tomó posesión de las tierras de Hacaritama, cuyos habitantes avisados de la cercanía de los españoles, presentáronse en paz y no poco sorprendidos del ceremonial y la pompa guerrera con la que el capitán había querido rodear la fundación de la nueva ciudad.

4.1.1.3Clima. Según el PBOT de Ocaña, la temperatura promedio de Ocaña es de 22 °C. Piso térmico templado, con una temperatura no menor a los 8 °C y no mayores a los 30 °C. Precipitaciones entre los 1.000 y 2.000 mm anuales, las lluvias durante el primer semestre son escasas. Los meses de lluvia son, agosto, septiembre, octubre y noviembre, este último es aprovechado para los cultivos semestrales.

4.1.1.4 Relieve. El territorio Norte de Santander está constituido por un terreno muy quebrado, en el cual, si bien predominan las altitudes medias, no faltan al sur y al oeste las grandes alturas con vegetación paramuna. Este relieve contrasta al nordeste con una franja en llanada, dividida desigualmente por una Línea de lomas que se extiende más allá de la frontera internacional.

La Provincia de Ocaña, que por lo general está formado por rocas ígneas encierra zonas metamórficas a manera de caña que se introduce en el occidente desde el sur del municipio hasta Convención. Alrededor de la ciudad encontramos las rocas granitoides gruesas con isleos intercalados de feldespatos, cuyos elementos han sido muy descompuestos por la erosión. Cubren el terreno formando una depresión extendida especialmente de La Floresta a Abrego. La depresión se halla rodeada de formaciones porfídeas (materiales eruptivos paleozóicos, muy cuartozos) más duras que las rocas del fondo. La particularidad de que los estratos cretáceos y metamórficos que cubren el flanco del cordón orográfico de Ocaña por la vertiente del Magdalena se encuentran levantados y adosados a este relieve andino con buceamiento al occidente, prueban claramente que se elevó un núcleo ígneo con la consiguiente reapertura y resquebrajamiento de la cubierta cretácea, con lo cual los estratos superiores pudieron ser barridos fácilmente por la acción de los agentes atmosféricos y de las aguas corrientes. (Duran Roso P., 2013).

4.1.1.5 Hidrografía. El suelo ocañero está regado por el Río Catatumbo: por el Río Tejo y por varias quebradas.

El Catatumbo: nace con el nombre de Oroque, en la serranía de Jurisdicciones, en una rama de la Cordillera Oriental del municipio de Ábrego en una finca llamada antiguamente "Muela de Perro", hoy denominada "La María" donde está la laguna "Pan de Azúcar" de la que parte. dos corrientes, la oriental llamada de "Las Doradillas" que se convierte en el Río Oroque y la occidental o de "Las Chorreras", que da vida al Río Frío.

Ambas descienden por vertientes abruptas con rumbo sur-norte. Antes de Ábrego, en las veredas del "Otro Lado" y Soltadero" se unen las dos vertientes tomando el nombre de río de "Los Carates" que al recibir las aguas de la quebrada de "Los Pozos" recibe el nombre de Algodonal para atravesar la Llanada de Abrión, pasa por el boquerón de Angostura, precipita en la depresión de Ocaña donde recibe al río Tejo; cambia su rumbo hacia el noroeste y sigue bordeando las faldas de la sierra de Teorama, el nombre de algodonal lo conserva hasta el puente del carretable que une los municipios de Teorama y San Calixto. Continúa para recibir más adelante la quebrada del Banco unida a la Búrbura; sigue su curso nordeste hasta recibir la quebrada Tiradera o Cartagena, y allí describe un arco en cuyo fin recoge las aguas del Tarra: después de esta afluencia el Catatumbo toma dirección Norte y describe otra gran curva hasta recibir las aguas del río San Miguelito y traza otro arco nuándrico hasta la desembocadura del Río de Oro, luego de lo cual penetra en territorio venezolano y vierte finalmente sus aguas al lago de Maracaibo.

Tiene una longitud de 45 km desde su nacimiento hasta su desembocadura. Como Algodonal tiene una longitud de 40 kilómetros.

El Río Tejo. De seis y media leguas de largo, 20 km, recoge todas las aguas de la depresión ocañera e irriga el municipio. Durante varios siglos fue la principal fuente de agua potable de los ocañeros.

Las quebradas son numerosas pero por lo general se secan en determinadas épocas del año. Son de relativa importancia: La Cagona que también se denomina del Mal Nombre o del Enol, porque recibe las aguas negras de Ocaña, desemboca en el Río Chiquito, con extensión de 4 Km; también de aguas negras, que rinde su caudal al río Tejo. (Actualmente varias de ellas canalizadas). La quebrada del Estanco que forma en su recorrido una serie de cañones angostos que no permite que sus aguas sean utilizadas para la agricultura. La Quebrada de Venadillo con extensión de 5 km, La de La Vaca con 3 km y La Quebrada Seca con 2 km.

4.1.2 Trabajo de campo y oficina. Debido a que la avenida Francisco Fernández de Contreras de la ciudad de Ocaña, ha venido presentando problemas con el manejo de aguas lluvias y más aún en el carril del sentido sur-norte, al cual llegan aguas de escorrentía de las zonas más altas aledañas al tramo de estudio. Ya que esta es una vía nacional y una arteria principal para la ciudad, fue necesario hallar una solución para la problemática que afecta la movilidad y el comercio del sector.

El proyecto se enmarcó prioritariamente, en una investigación de campo, en donde se verificó, se inspeccionó y recopiló información de tipo técnico sobre la infraestructura existente de los elementos hidráulicos que conforman el sistema de recolección de aguas lluvias de la

avenida Francisco Fernández de Contreras, ubicada en la ciudad de Ocaña, Departamento Norte de Santander.

Posteriormente se realizaron mediante visitas de campo, inspecciones de cada uno de los componentes y obras hidráulicas que conforman la avenida Francisco Fernández de Contreras como: sumideros, cajas de inspección, tuberías, canales, paso canadiense, rejillas de fondo y ventana, y cunetas halladas en el sector de estudio.

Luego para seguir con el desarrollo del proyecto, se organizó la topografía en formato dwg y pdf, la cual nos fue otorgada por la alcaldía municipal, además con ayuda de los planos se obtuvo las cotas de cada elemento hidráulico existente y las curvas de nivel de las zonas de aporte, de esta manera se generó la cartera de campo y los diferentes planos digitales que componen al sistema. El desarrollo de la topografía facilitada por la oficina de planeación de Ocaña, se puede observar en el **Apéndice B**.

4.1.2.1 Evaluación obras hidráulicas existentes. El proyecto se inició con el desplazamiento a la zona de influencia en donde se ubican los componentes del acueducto que hacen parte del sistema de captación, transporte, almacenamiento y distribución de aguas de esorrentía sobre la avenida Francisco Fernández de Contreras, sentido Sur-Norte, en el municipio de Ocaña. La realización del trabajo en campo se dividió en las siguientes visitas:

Primer visita, julio 31, hora 8:00 am, se realizó el reconocimiento de la zona de estudio en el sector de la avenida, en donde se identificaron cada uno de sus elementos hidráulicos. Como es de destacar el casco urbano del municipio de Ocaña, presenta una topografía con grandes

pendientes, las cuales comunican con el tramo de estudio, como se puede apreciar según las curvas de nivel dadas en los planos de zonas de aporte, en donde se identifican las pendientes promedio predominantes de cada zona, en donde se debe controlar las aguas lluvia en las zonas inferiores. Se puede observar en la siguiente figura.



Figura 6. Pendientes predominantes que desembocan en la avenida Francisco Fernández de Contreras. Fuente: Autores del proyecto.

Segunda visita., agosto 1, hora 2:00 pm, se realizó la inspección del tramo de vía de la avenida Francisco Fernández de Contreras durante una precipitación causada por el clima del día, para poder identificar la problemática que se genera con el sistema de recolección de aguas lluvias y así verificar el comportamiento de cada una de las estructuras hidráulicas existentes. Se recopiló información fotográfica anexada en el **Apéndice C**. El estado de la vía se puede observar en la figura 7.



Figura 7. Estado del tramo de vía en estudio durante precipitaciones de poca magnitud.
Fuente: Autores del proyecto.

Tercer visita, agosto 8, hora 10:00am, se realizó la recolección de información existente en la alcaldía municipal de Ocaña, referente al Plan Básico de Ordenamiento Territorial (P.B.O.T.) y al Plan Maestro de Acueductos y Alcantarillados de Ocaña. La información recopilada se encuentra anexada en el **Apéndice B**.

Cuarta visita, agosto 15, hora 10:30am, en donde se realizó la visita al Instituto Nacional de Vías (INVIAS), con el fin de recolectar información, aunque solamente se obtuvo información relevante debido a la falta de material referente al tema.

Quinta visita, Agosto 21, hora 9:30am, se hizo una visita a la oficina del ingeniero especialista Napoleón Gutiérrez de Piñerez, con el fin de solicitar asesorías acerca del tema ya que es uno de los pioneros del plan maestro de acueducto y alcantarillado de Ocaña, y gracias a su colaboración se pudieron verificar los cálculos y análisis realizados durante la investigación.

Sexta visita, Agosto 24, hora 5:00pm, se visitó las oficinas de la Entidad de Servicios Públicos de Ocaña (ESPO S.A), para asistir a una cita acordada con el ingeniero Pablo Emilio Quintero Montagut, en la cual se nos dio una guía acerca del estado de las estructuras hidráulicas y la ubicación de algunos puntos en los cuales había una mayor problemática. Ver figura 8.



Figura 8. Visita realizada a la empresa de servicios públicos ESPO S.A. Fuente: Autores del proyecto.

Séptima visita, Agosto 28, hora 9:30am, se concretó una cita con el ingeniero Santander Rincón Lozano, puesto que él fue el director de ESPO S.A y contaba con información de aporte al tema.

Octava visita, Septiembre 4, hora 8:00am – 6:00pm, asistimos a la zona de estudio, con el fin de realizar el inventario de las estructuras hidráulicas existen actualmente, para así corroborar las medidas y la dirección de los flujos.

Novena visita, septiembre 15, hora 3:30pm, se aprovechó el clima ya que se presentó una torrencial precipitación para tomar un registro fotográfico del comportamiento de las estructuras hidráulicas y de los sectores críticos durante lluvia, como se puede observar en la siguiente figura, de igual forma en el **Apéndice C** se encuentra el registro fotográfico realizado.



Figura 9. Zona crítica de la Avenida Francisco Fernández de Contreras. Fuente: Autores del proyecto.

4.2 Realizar un inventario de las obras hidráulicas existentes en el área afectada, así como su funcionalidad actual, verificando las variables que afectan los componentes del sistema existente.

Para la realización del inventario de las obras hidráulicas, una vez recopilada la información de campo se organizó dicha información que consta de dimensiones, identificación, tipo de estructura y su ubicación partiendo del Abcizado correspondiente tomando como referencia el PR 50 + 540 hasta el PR 49 + 000 señalado en la vía Avenida Francisco Fernández de Contreras con una longitud total 1054 metros.

El tramo de estudio corresponde a una arteria vial que comunica la ciudad de Ocaña con el departamento del Cesar al norte y con la ciudad de Cúcuta al sur. Teniendo en cuenta que es una vía nacional, también es una vía comercial debido al gran número de establecimientos abiertos al público colindantes a la vía. Resaltando la importancia del tramo de vía en estudio cabe resaltar que es la única vía que da acceso al hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña, como también entidades públicas en las que se destacan la estación de policía de la ciudad de Ocaña y la unidad del cuerpo de bomberos. Debido a la gran importancia de esta vía es notorio observar el alto tráfico que circula por esta arteria vial.

4.2.1 Falencias del sistema existente. Durante las visitas de campo y la inspección realizada en épocas de invierno, se pudo observar que las condiciones en las que se encuentra actualmente el sistema de recolección de aguas lluvias no está funcionando óptimamente ya que se presentan inundaciones en ciertos sectores del tramo de vía en estudio, lo cual afecta la movilidad en especial el tránsito de motos, como también el comercio y las zonas residenciales ya que la comunidad muestra inconformismo. También se presenta un deterioro en la estructura del pavimento a causa de la infiltración cuando el agua queda empozada.

En el proceso de inspección visual, luego de presentarse fuertes lluvias, en la zona de las entradas al barrio Cañavera por medio de la Avenida Francisco Fernández de Contreras, según el plan de ordenamiento territorial cuenta con dos accesos al barrio que son la Calle 7A y la Carrera 29, ambos con doble sentido de tránsito vehicular. Dichas entradas tienen en común la cota de terreno más baja de toda la zona del barrio y barrios aledaños que se ubican a mayor altura, es decir; la zona de intersección de las calzadas del barrio Cañaverál con la Avenida Francisco Fernández de Contreras tiene un nivel de la superficie de terreno menor que todas las calles y casas localizadas en este barrio y barrios aledaños hasta llegar al punto más alto de la colina donde el sentido de la escorrentía superficial fluye hacia todas las vertientes y donde se inicia el caudal pluvial debido a la geomorfología de la montaña donde se encuentran cimentados estos barrios.

Los barrios más representativos de la Carrera 29 y la Calle 27 A, que aportan caudales a los pasos canadienses y al sistema de recolección de aguas lluvias del tramo de vía en estudio de la Avenida Francisco Fernández de Contreras son el barrio Cañaverál, Jardines de la Rosa y parte del barrio El Carmen y el barrio Las Vicentinas. En la siguiente figura 10, se representa mediante el trabajo de campo el registro de las dos entradas al barrio Cañaverál, en donde ambas entradas cuentan con un paso canadiense junto con su respectiva caja y un sumidero de ventana sin rejilla; los pasos canadienses como se aprecia en la figura se encuentran totalmente obstruidos durante un lapso de lluvias, esto se debe al material de arrastre del caudal pluvial.

Aunque el paso canadiense del inicio a la Carrera 29 tuvo algunas remodelaciones, es importante destacar que los sedimentos sólidos que son arrastrados por el agua se debe a calles

sin pavimentar y lotes sin construir, como se aprecia en la figura 11, los cuales tienen como desembocadura los pasos canadienses que se encuentra a la entrada del barrio cañaveral.



Figura 10. Rejilla taponada por sedimentos sólidos. Fuente: Autores del proyecto.

Sumado a la falta de inversión para poder lograr tener todas las vías pavimentadas, también se agrega la falta de mantenimiento que se realiza cuando esta situación se presenta, ya que la responsabilidad al estar estos sedimentos obstruyendo la vía recae tanto en la empresa de servicios públicos, como en el Instituto Nacional de Vías INVIAS y la administración municipal.



Figura 11. Tramos de vía y lote sin construir que desembocan en la entrada al barrio Cañaveral. Fuente: Autores del proyecto.

El tramo de vía en estudio de la Avenida Francisco Fernández de Contreras, cuenta con dos pasos canadienses que comunican el barrio cañaveral y ambos sufren de taponamientos cuando las lluvias son muy fuertes y socaban los sectores sin pavimentos y lotes de la parte alta del barrio, que transportan por medio de la escorrentía superficial un caudal con sedimentos, produciendo que el sistema solo evacue las aguas pluviales con los sumideros de ventana dejando de cumplir su función los pasos canadienses. Según la información recopilada por la empresa de servicios públicos, es notorio ver como evaden la responsabilidad culpando de abandono la administración municipal y el Instituto Nacional de Invias, puesto que al obstruirse la calzada con muchos sedimentos genera una deficiencia en movilidad de tránsito y peatonal, pero indagando en INVIAS, también se libran de la culpa sugiriendo a la administración municipal una mayor inversión para remodelar las condiciones de recolección de aguas lluvias pues la entidad local, es la encargada de velar por los derechos de los ciudadanos como el prevenir con planes contingencia los desastres que puedan ocasionar a causa de fenómenos naturales como las inundaciones de gran magnitud que ponen en riesgo la preservación de la vida humana.

No obstante a la problemática debido a los sedimentos, en el tramo de estudio de la presente investigación, también se presentan inundaciones por falta de estructuras hidráulicas para su recolección y porque la capacidad de algunas estructuras actuales no funcionan óptimamente.

El tramo más afectado por inundaciones, corresponde a las intersecciones de la Avenida Francisco Fernández de Contreras con las Carrera 33, Carrera 34 y Carrera 35. En estas carreras

se puede observar en la figura 9 y la figura 12, que son las intersecciones y entradas a la Estación de Policía, Cuerpo de Bomberos de Ocaña y el barrio La Primavera.



Figura 12. Tramos afectados por inundaciones. Fuente: Autores del proyecto.

4.2.2 Evaluación hidráulica del sistema pluvial del tramo de vía en estudio. Los elementos que conforman el sistema pluvial del tramo de vía en estudio de la Avenida Francisco Fernández de Contreras, son en total 25 sumideros, 31 rejillas y 7 cajas de inspección.

Según la información facilitada en la oficina de planeación, los colectores del sistema de recolección pluvial en el tramo de estudio varían sus diámetros entre 18 y 36 pulgadas. En la siguiente tabla, se clasifica según su estado la evaluación visual descriptiva realizada durante el trabajo de campo, en donde arroja como resultado que el 20 % de los sumideros y el 29 % de las rejillas se encuentran en mal estado. De igual forma tan solo el 4 % de los sumideros y el 3 % de las rejillas se encuentran en excelente estado, como también el 100 % de las cajas en buen estado. Con estos porcentajes se da a entender que las condiciones hidráulicas en las que operan cada uno de los elementos no es la mejor.

Tabla 1*Estados de los elementos hidráulicos*

Calificación	N° de sumideros	% Sumideros	N° de rejillas	% Rejillas	N° de cajas	% Cajas
Excelente estado	1	4%	1	3%	0	0%
Buen estado	12	48%	8	26%	7	100%
Regular estado	7	28%	13	42%	0	0%
Mal estado	5	20%	9	29%	0	0%
TOTAL	25	100%	31	100%	7	100%

Nota. La tabla muestra la cantidad de sumideros, cajas y rejillas, según su estado y su valor porcentual. Fuente: Autores del proyecto.

Para conocer las condiciones y localización de los elementos y colectores, en la siguiente figura se esboza el plano con las ubicaciones correspondientes a los colectores del tramo a evaluar.

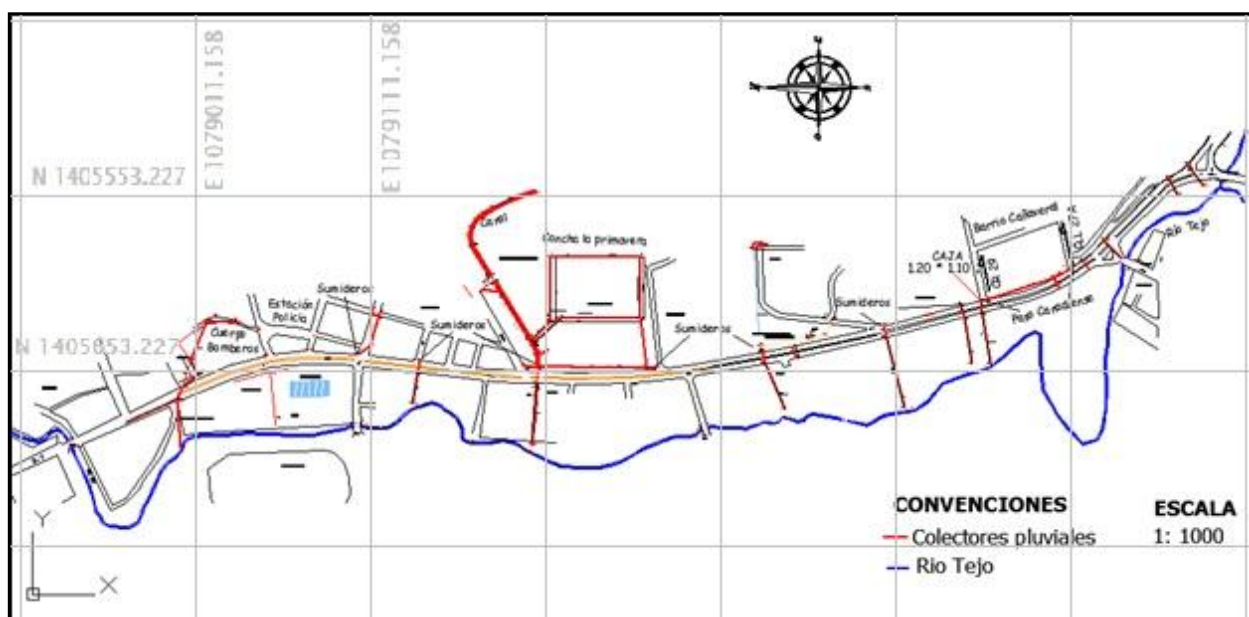


Figura 13. Plano en planta con la localización del sistema pluvial existente. Fuente: Autores del Proyecto.

Para realizar la evaluación hidráulica del tramo en estudio primero se identificaron las áreas de aportes que generan caudales al tramo de vía en estudio, los cuales se cuantificaron para 8 tramos, como se puede apreciar en la tabla 2. En donde según la nueva clasificación de áreas de aportes siguiendo los lineamientos de la nueva resolución 0330 del 8 de junio del 2017 se destacan las cubiertas, vías, zonas protegida, zonas no protegidas y parques.

Tabla 2

Áreas de aportes al sistema pluvial del tramo en estudio

No TRAMO	A1 (cubiertas)	A2 (vías)	A3 (zonas no protegidas)	A4 (zonas protegidas)	A5 (parques)	AREA TOTAL (Ha)
I	2.25	0.47	0.81	0.0370		3.563
II	7.91	3.63	0.45	2.1200	0.0206	14.131
III	1.43	1.04	2.09	0.23		4.790
IV	3.48	1.42		1.31		6.210
V	2.37	1.05	4.18	8.85		16.453
VI	4.66	1.56	0.11		0.08	6.412
VII	4.71	2.71		0.62		8.040
VIII	2.28	0.36		0.17		2.812

Nota. La tabla muestra las áreas de aporte dependiendo según su clasificación. Fuente: Autores del proyecto.

Las áreas utilizadas para los aportes como también las cotas y longitudes, fueron obtenidas por medio del plano topográfico facilitado por la oficina de planeación de la Alcaldía Municipal de Ocañay se puede detallar el plano en el **Apéndice A**. La identificación de área correspondiente a cada tramo se aprecia en la figura 14.

Para calcular los aportes que se reducen a los caudales en cada uno de los tramos, se utiliza el método racional. Siguiendo los lineamientos de la norma RAS 2010, y teniendo en cuenta su última actualización en la Resolución 0330 de junio de 2017, el método racional es el

recomendado por la norma para utilizarse en sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias siempre y cuando tengan áreas relativamente pequeñas. Este método solo es válido para áreas menores a 80 hectáreas, según el Artículo 135 de la Resolución 0330 de 2017.

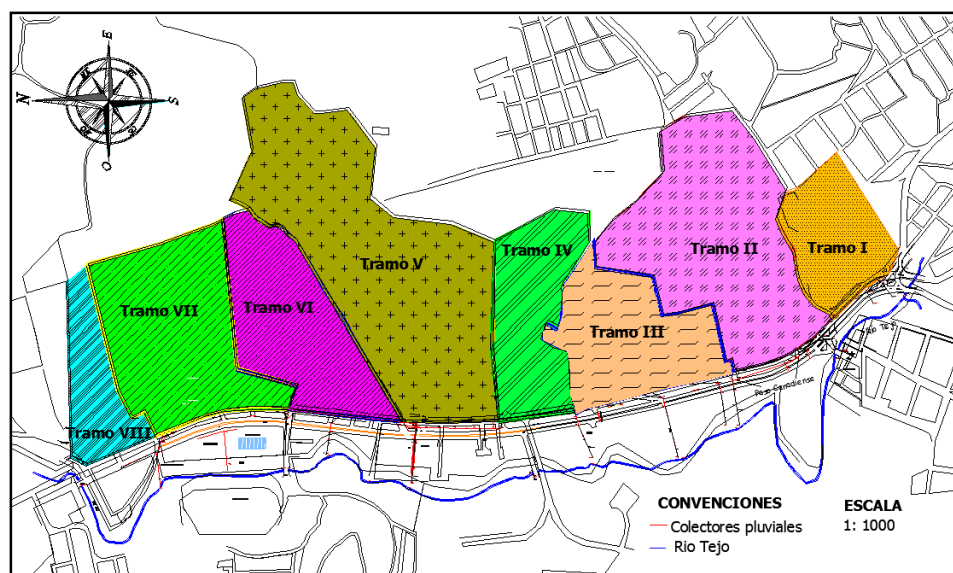


Figura 14. Delimitación de áreas de aportes. Fuente: Autores del proyecto.

El método racional calcula el caudal pico de aguas lluvias utilizando la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de impermeabilidad. La fórmula para el método es:

$$Q = C * I * A$$

En donde

C = Coeficiente de escorrentía (Adimensional)

I = Intensidad de precipitación (L/s.ha).

A = Área tributaria de drenaje (ha)

Los coeficientes de escorrentía para diferentes tipos de superficie se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 3

Coeficientes de impermeabilidad o escorrentía

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,90
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,90
Vías adoquinadas	0,85
Zonas comerciales o industriales	0,90
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos	0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,30

Nota. La tabla muestra los coeficientes de escorrentía para los distintos tipos de superficies. Fuente RAS 2010, Título D. Literal 4.4.3.1.

Debido a que las distintas áreas consideradas en los 8 tramos incluyen distintos coeficientes de escorrentía, para determinar el valor de C, siguiendo los lineamientos de la norma RAS, se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$C = \frac{(\sum C * A)}{\sum A}$$

Por medio de la tabla 2 y la tabla 3 a continuación en la tabla 4 se realiza el debido procedimiento para conocer los coeficientes de escorrentía finales para el cálculo de la intensidad de lluvias en cada tramo.

Tabla 4

Determinación del coeficiente de escorrentía promedio para las áreas en cada tramo

No TRAMO	$A1 * C$ Cubiertas	$A2 * C$ Vías	$A3 * C$ Área NP	$A4 * C$ Área P.	$A5 * C$ Parques	$\sum C * A$	$\sum A$	$C = \frac{\sum C * A}{\sum A}$
I	1.819	0.328	1.122	0.051	0	3.32	4.58	0.72489083
II	6.7235	2.9766	0.27	0.636	0.00536	10.6115	14.1306	0.7509558
III	1.2155	0.8528	1.254	0.069	0	3.3913	4.79	0.70799582
IV	2.958	1.1644	0	0.393	0	4.5154	6.21	0.72711755
V	2.0145	0.861	2.5098	2.655	0	8.0403	16.453	0.48868291
VI	3.6125	1.1644	0.156	0.03	0.052	5.0149	6.23	0.80495987
VII	4.0035	2.2222	0	0.186	0	6.4117	8.04	0.79747512
VIII	1.9397	0.2952	0	0.051	0	2.2859	2.812	0.81290896

Nota. La tabla muestra el producto de los coeficientes de escorrentía y las áreas en cada tramo, con las que se obtiene el coeficiente promedio. Fuente: Autores del proyecto.

Como se pudo observar en la tabla 4, algunos tramos no contaban con áreas de aportes en parques y áreas no protegidas, es decir áreas sin vegetación, por lo que en estas zonas el valor correspondiente al coeficiente de escorrentía es igual a cero. Con relación a las áreas protegidas con vegetación, son valores pequeños a diferencia de los valores más altos que corresponden a las cubiertas y a las vías.

Luego de obtener el valor del coeficiente de escorrentía es utilizado para calcular la intensidad de precipitación dentro del método racional en donde se deben utilizar las curvas IDF (Intensidad Duración Frecuencia), teniendo en cuenta además el periodo de retorno para el diseño; dicho periodo de retorno debe cumplir con los parámetros de la norma, por lo que en la siguiente tabla se esbozan el periodo de retorno a utilizar según las características de drenaje.

Tabla 5*Periodos de retorno*

Características del área de drenaje	Periodo de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Nota. La tabla muestra los periodos de retorno para las distintas características del área de drenaje. Fuente: Artículo 135 de la Resolución 0330 de 08 de junio del 2017.

Para calcular la intensidad, se puede definir como la relación que existe entre la profundidad (P) de la lluvia en mm y la duración de la lluvia (T) en min o en horas, es decir:

$$i = P/T$$

También se puede definir como el caudal de agua que pasa una determinada superficie, es decir, el volumen de agua caído por unidad de tiempo y superficie. Como la intensidad de la lluvia depende de la duración de la misma, es necesario definir un tiempo de concentración. (García-Loygorri, 2012).

El tiempo de concentración es el tiempo que demora una partícula de agua para trasladarse desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de llegada o salida. Cuando ha transcurrido un tiempo igual al tiempo de concentración desde el instante en que se inicia una

lluvia, toda la cuenca estará contribuyendo simultáneamente a formar el caudal de escorrentía y por lo tanto este tendrá un valor máximo, esto significa que la avenida máxima se produce para la lluvia de intensidad máxima y duración T_c . El tiempo de concentración se expresa en la siguiente ecuación.

$$T_c = 0.30 * \left[\frac{L}{J^{1/4}} \right]^{0.76}$$

En donde:

T = tiempo de concentración en horas

L = Longitud de la cuenca en kilómetros

J = Pendiente media de la cuenca (m/m)

Para el cálculo de la intensidad, se utilizaron los valores conocidos de las curvas IDF de Ocaña, obtenidas de las memorias de cálculo del Plan Maestro de acueducto y alcantarillado para el mejoramiento de ciertos tramos en el casco urbano de Ocaña, propuesto por la empresa de servicios públicos ESPO S.A. para el año 2010.

Cabe resaltar que la información pluviográfica de donde se obtuvo la información para la intensidad de las lluvias, corresponde a la estación del Centro Administrativo del Municipio de Abrego, como base para el cálculo, dado que el buen registro de información pluviográfica que viene desde el año 1970 y la cercanía relativa con la ciudad de Ocaña (20 kms) altura sobre el nivel del mar y régimen de lluvias similares, permiten asumirla como una estación regional viable, ya que las estaciones locales cuentan con información algo dispersa e insuficiente para un análisis confiable de probabilidades de ocurrencia.

Tomando la información pluviométrica del Centro Administrativo del Municipio de Abrego sobre los valores máximos - mensuales de precipitación en veinticuatro horas, para los registros del periodo comprendido entre los años 1970 – 1986 y los registros de los años 1987 a 2005, se observa que el comportamiento de lluvias ha sido similar en estos dos periodos, donde las precipitaciones máximas - medias corresponden a valores similares y las precipitaciones máximas - máximas para los distintos meses comparando los dos periodos están muy cercanos, pues las mayores se repiten o se acercan unas de otras a si sea en distintos meses. Estos valores se pueden apreciar en la tabla 6 y en la tabla 7.

Las tablas siguientes corresponden a información oficial del IDEAM que permiten aceptar las curvas de intensidad duración frecuencia. La información completa de donde se obtuvieron los valores utilizados se puede encontrar en el **Apéndice B**, en el documento pdf titulado Memorias de cálculo Plan Maestro de Ocaña.

Tabla 6

Valores máximos mensuales precipitación en 24 horas periodo 1970- 1986

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN 24 HORAS (mm)												
FECHA DE PROCESO16/02/2007												
ESTACION		1605504	ABREGO CENTRO AD									
LATITUD		0805 N	TIPO DE ESTACION				CP	DPTO		NORTE DE SANTANDER		
LONGITUD		7314W	ENTIDAD01 IDEAM				MUNICIPIO		ABREGO			
ELEVACION		1430 msnm	REGIONAL08 SANTANDER				CORRIENTE		ALGODONAL			
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Medios	7,7	15,2	18,4	31,0	38,2	29,6	27,9	41	27	35,4	19,5	13,4
Máximos	57,4	66,2	58,7	59,2	55,6	77	72	80	56,3	76,5	35,4	44,4
Mínimos	0	0	3	15	8,8	8,7	1,2	28,6	4,9	13,4	6,9	0,2

Nota. La tabla muestra los periodos máximos mensuales de precipitación obtenidos de la estación pluviométrica.

Fuente: Memorias de cálculo Plan Maestro Ocaña. ESPO S.A. (2010).

Tabla 7

Valores máximos mensuales precipitación en 24 horas periodo 1987- 2005

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION EN 24 HORAS (mm)												
FECHA DE PROCESO 16/02/2007												
ESTACION		1605504		ABREGO CENTRO AD								
LATITUD		0805 N		TIPO DE ESTACION			CP		DPTO		NORTE DE SANTANDER	
LONGITUD		7314W		ENTIDAD 01 IDEAM					MUNICIPIO		ABREGO	
ELEVACION		1430 msnm		REGIONAL 08 SANTANDER				CORRIENTE		ALGODONAL		
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Medios	8	9,9	12,5	26,1	35,8	32,8	24,5	26,9	38,1	33,3	22,6	9,9
Máximos	25,1	81	40	45,5	57	98,5	80,5	90	60,5	64	51,6	23,3
Mínimos	0	0	0,1	12	15	12	2,4	2,3	17,8	7,6	5,8	0

Nota. La tabla muestra los periodos máximos mensuales de precipitación obtenidos de la estación pluviométrica.

Fuente: Memorias de cálculo Plan Maestro Ocaña. ESPO S.A. (2010).

En la siguiente tabla 8, se puede apreciar el cuadro en donde se resume la intensidad para distintos periodos de retorno establecido para un tiempo de concentración hasta de cien minutos, donde se utilizó el periodo de retorno para 25 años según lo establecido por la norma, con una duración de 5 min, ya que es el valor más representativo de la máxima precipitación en ese lapso.

Tabla 8

Intensidad de aguas lluvias (Lt/seg - ha)

Duración en minutos	Tiempo de retorno en años				
	3	5	10	25	50
5	268	329.5	384.5	448.9	496.7
10	241.2	297	347.8	408.9	453.9
15	218.2	268.6	315.6	373.6	416.1
20	198.3	244.5	288.1	342.2	382.3
25	180.7	223.1	263.6	314.2	351.7
30	165.7	204.5	242	289.2	324.2
35	152.2	188.1	222.5	266.7	299.5
40	140.5	173.6	205.6	246.7	277

Tabla 8 Continuación

Duración en minutos	Tiempo de retorno en años				
	3	5	10	25	50
45	130.2	160.6	190.3	228.4	257
50	120.8	149.2	176.4	212	238.4
55	112.4	138.6	164.2	197.2	221.7
60	104.8	129.5	152.8	183.6	206.4
65	98.1	120.8	142.8	171.4	192.5
70	91.8	113.3	133.6	160	179.7
75	86.3	106.4	125	149.7	168.1
80	81	100	117.5	140.3	157.5
85	76.5	94.2	110.6	131.7	147.5
90	72.2	88.9	103.9	123.9	138.6
95	68.3	83.9	98.1	116.4	130
100	64.5	79.5	92.8	109.7	122.5

Nota. La tabla muestra el valor de la intensidad en función de los periodos de retorno para cada duración en minutos. Fuente: Memorias de cálculo Plan Maestro Ocaña. ESPO S.A. (2010)

A continuación se esboza en la tabla 9 el cálculo de caudales para los tramos especificados en la figura 13, teniendo en cuenta el tiempo de concentración como también la longitud considerada la mayor medida entre la cota más alta y la cota más baja en cada tramo para hallar la pendiente. Cada tramo corresponde al área de aporte pluvial que desemboca en la Avenida.

Dichos aportes son el resultado del producto entre la escorrentía superficial, el área total de aporte pluvial por cada zona y la intensidad de precipitación que en este caso corresponde a la de 5 minutos teniendo en cuenta que es la mayor eventualidad de aguas lluvias que se puede generar. Se debe tener en cuenta que el número de tramos que se muestra en la tabla 9, corresponden a las áreas de aportes pluviales especificadas en la figura 14.

Tabla 9*Aportes pluviales para el tramo en estudio*

No TRAMO	Longitud	Pendiente (%)	C	Área	$I_{(25)}$	$Q (m^3/s)$
I	217.13	18.42	0.72	4.58	448.9	1.48
II	466.00	8.58	0.75	14.1306	448.9	4.76
III	293.00	10.24	0.71	4.79	448.9	1.53
IV	422.00	9.48	0.73	6.21	448.9	2.03
V	701.00	5.71	0.49	16.453	448.9	3.62
VI	337.00	5.93	0.8	6.23	448.9	2.24
VII	416.00	4.81	0.8	8.04	448.9	2.89
VIII	330.00	6.06	0.81	2.812	448.9	1.02

Nota. La tabla muestra los valores empleados para el cálculo de la intensidad y el caudal de aportes pluviales en el tramo de estudio. Fuente: Autores del proyecto.

Con los valores de caudal, obtenido en la tabla 9, se procede a la comprobación de los tramos de tubería y obras hidráulicas que captan el caudal pluvial. Para realizar el chequeo de los diámetros y caudales que conforman el sistema de recolección de aguas lluvias en el tramo de estudio de la Avenida Francisco Fernández de Contreras, se utiliza la fórmula de Manning, aplicada para el transporte de caudales a flujo libre. La fórmula es:

$$Q = 0.312 * \left(\frac{D^{8/3} * S^{1/2}}{n} \right)$$

En donde:

Q = Caudal (m³/s)

D = Diámetro de Tubería (m)

S = Pendiente (m/m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

Los valores para el coeficiente de rugosidad se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Valores del coeficiente de rugosidad de Manning

CONDUCTOS CERRADOS	n
Asbesto – cemento	0.011 - 0.015
Concreto prefabricado interior liso	0.011 - 0.015
Concreto prefabricado interior rugoso	0.015 - 0.017
Concreto fundido en sitio, formas lisas	0,012 - 0,015
Concreto fundido en sitio, formas rugosas	0,015 - 0,017
Gres vitrificado	0.011 - 0.015
Hierro dúctil revestido interiormente con cemento	0.011 - 0.015
PVC, polietileno y fibra de vidrio con interior liso	0.010 - 0.015
Metal corrugado	0.022 - 0.026
Colectores de ladrillo	0.013 - 0.017
CONDUCTOS ABIERTOS	
Canal revestido en ladrillo	0.012 - 0.018
Canal revestido en concreto	0.011 - 0.020
Canal excavado	0.018 - 0.050
Canal revestido rip-rap	0.020 - 0.035

Nota. La tabla muestra los coeficientes de rugosidad dependiendo del tipo de material. Fuente: RAS 2010.

Para encontrar los valores reales de velocidad, radio hidráulica, altura de lámina de agua y profundidad hidráulica, es necesario la utilización de las relaciones hidráulicas para tubos circulares, en donde para su uso se debe calcular empleando la fórmula de Manning los diámetros teniendo en cuenta caudales conocidos, en donde luego se aproximan a diámetros comerciales y se calcula el caudal a tubo lleno. Posterior a esto se realiza la relación entre el caudal conocido y el caudal a tubo lleno para conocer las condiciones reales del flujo. En la tabla 11 se encuentra el cuadro de las relaciones hidráulicas y en las tablas 12 y 13 el respectivo cálculo del caudal a tubo lleno y los valores reales del flujo en la tubería.

Tabla 11*Relaciones hidráulicas para conductos circulares*

Q/Q	Rel.	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	V/ \bar{V}	0.000	0.292	0.362	0.400	0.427	0.453	0.473	0.492	0.505	0.520
	d/D	0.000	0.092	0.124	0.148	0.165	0.182	0.196	0.210	0.220	0.232
	R/ \bar{R}	0.000	0.239	0.315	0.370	0.410	0.449	0.481	0.510	0.530	0.554
	H/D	0.000	0.041	0.067	0.086	0.102	0.116	0.128	0.140	0.151	0.161
0.1	V/ \bar{V}	0.540	0.553	0.570	0.580	0.590	0.600	0.613	0.624	0.634	0.645
	d/D	2.480	0.258	0.270	0.280	0.289	0.298	0.308	0.315	0.323	0.334
	R/ \bar{R}	0.586	0.606	0.630	0.650	0.668	0.686	0.704	0.716	0.729	0.748
	H/D	0.170	0.179	0.188	0.197	0.205	0.213	0.221	0.229	0.236	0.244
0.2	V/ \bar{V}	0.656	0.664	0.672	0.680	0.687	0.695	0.700	0.706	0.713	0.720
	d/D	0.346	0.353	0.362	0.370	0.379	0.386	0.393	0.400	0.409	0.417
	R/ \bar{R}	0.768	0.780	0.795	0.809	0.824	0.836	0.848	0.860	0.874	0.886
	H/D	0.251	0.258	0.265	0.273	0.280	0.287	0.294	0.300	0.307	0.314
0.3	V/ \bar{V}	0.729	0.732	0.740	0.750	0.755	0.760	0.768	0.776	0.781	0.767
	d/D	0.424	0.431	0.439	0.447	0.452	0.460	0.468	0.476	0.482	0.488
	R/ \bar{R}	0.896	0.907	0.919	0.931	0.938	0.950	0.962	0.974	0.983	0.992
	H/D	0.321	0.328	0.334	0.341	0.348	0.354	0.361	0.368	0.374	0.381
0.4	V/ \bar{V}	0.796	0.802	0.806	0.810	0.816	0.822	0.830	0.834	0.840	0.845
	d/D	0.498	0.504	0.510	0.516	0.523	0.530	0.536	0.542	0.550	0.557
	R/ \bar{R}	1.007	1.014	1.021	1.028	1.035	1.043	1.050	1.056	1.065	1.073
	H/D	0.388	0.395	0.402	0.409	0.415	0.422	0.429	0.436	0.443	0.415
0.5	V/ \bar{V}	0.850	0.855	0.860	0.865	0.870	0.875	0.860	0.885	0.890	0.895
	d/D	0.563	0.570	0.576	0.582	0.588	0.594	0.601	0.608	0.615	0.620
	R/ \bar{R}	1.079	1.087	1.094	1.100	1.107	1.113	1.121	1.125	1.290	1.132
	H/D	0.458	0.465	0.472	0.479	0.487	0.494	0.505	0.510	0.518	0.526
0.6	V/ \bar{V}	0.900	0.903	0.905	0.913	0.918	0.922	0.927	0.931	0.936	0.941
	d/D	0.626	0.632	0.639	0.645	0.651	0.658	0.666	0.672	0.676	0.586
	R/ \bar{R}	0.136	1.139	1.143	1.147	1.151	1.155	1.150	1.163	1.167	1.172
	H/D	0.534	0.542	0.550	0.559	0.563	0.576	0.585	0.595	0.604	0.614
0.7	V/ \bar{V}	0.945	0.951	0.955	0.958	0.961	0.965	0.969	0.972	0.975	0.980
	d/D	0.692	0.699	0.705	0.710	0.719	0.724	0.732	0.738	0.743	0.750
	R/ \bar{R}	1.175	1.179	1.182	1.184	1.188	1.190	1.192	1.195	1.197	1.200
	H/D	0.623	0.633	0.644	0.654	0.665	0.677	0.688	0.700	0.713	0.725
0.8	V/ \bar{V}	0.984	0.987	0.990	0.993	0.997	1.001	1.005	1.007	1.011	1.015
	d/D	0.756	0.763	0.770	0.773	0.785	0.791	0.798	0.804	0.813	0.820
	R/ \bar{R}	1.202	1.205	1.208	1.211	1.214	1.216	1.219	1.219	1.215	1.140
	H/D	0.739	0.753	0.767	0.783	0.798	0.815	0.833	0.852	0.871	0.892
0.9	V/ \bar{V}	1.018	1.021	1.024	1.027	1.030	1.033	1.036	1.038	1.039	1.040
	d/D	0.826	0.835	0.843	0.852	0.860	0.868	0.876	0.884	0.892	0.900
	R/ \bar{R}	1.212	1.210	1.207	1.204	1.202	1.200	1.197	1.195	1.192	1.190
	H/D	0.915	0.940	0.966	0.995	1.027	1.063	1.103	1.149	1.202	1.265
1.0	V/ \bar{V}	1.041	1.042	1.042							
	d/D	0.914	0.920	0.931	Siendo:	Q=caudal de diseño	Q=caudal a tubo lleno				
	R/ \bar{R}	1.172	1.164	1.150		V=velocidad de diseño	\bar{V} =velocidad a tubo lleno				
	H/D	1.344	1.445	1.184		d=lámina de agua	D=diámetro de la tubería				
						R=radio hidráulico al caudal de diseño					

Nota. La tabla muestra las relaciones hidráulicas para conductos circulares. Fuente López Cualla, R. (2003).

Tabla 12*Chequeo de diámetros y caudales*

No TRAMOS	Tuberías	Q (m ³ /S)	Cota Inicial	Cota Final	Long. tramo	Pendiente (%)	Diámetro (m)	Diámetro (Pulgada)	Diámetro Comercial	Chequeo diámetro tubería	Chequeo diámetro	Diámetro nuevo en metros	Qo (m ³ /S)
I	1	0.52	1158.67	1157.31	34.8	3.91	0.38	15.0	18	83%	CUMPLE	0.46	0.59
	2	0.962	1158.89	1157.98	24.3	3.74	0.48	19.010	24	79%	CUMPLE	0.61	1.24
II	1	0.951	1157.83	1154.63	32.87	9.74	0.40	15.826	20	79%	CUMPLE	0.51	1.23
	2	1.903	1157.03	1155.60	114.14	1.25	0.77	30.145	40	75%	CUMPLE	1.02	2.80
	3	2.854	1155.60	1155.55	9.45	0.53	1.05	41.251	52	79%	CUMPLE	1.32	3.67
	4	3.806	1155.55	1155.03	14.96	3.48	0.82	32.285	42	77%	CUMPLE	1.07	5.32
	5	3.806	1155.03	1151.60	67.73	5.06	0.76	30.085	40	75%	CUMPLE	1.02	5.63
III	1	0.305	1154.92	1151.21	76.3	4.86	0.30	11.770	16	74%	CUMPLE	0.41	0.48
	2	0.763	1155.07	1150.10	110.9	4.48	0.43	16.852	24	70%	CUMPLE	0.61	1.36
	3	0.59	1152.55	1149.42	87.27	3.59	0.41	15.953	20	80%	CUMPLE	0.51	0.75
IV	1	2.035	1151.36	1149.24	152.49	1.39	0.77	30.315	40	76%	CUMPLE	1.02	2.95
V	1	5.654	1148.24	1147.02	96.39	1.27	1.15	45.261	54	84%	CUMPLE	1.37	6.27
	2	0.270	1149.80	1149.05	25	3.00	0.31	12.305	14	88%	CUMPLE	0.36	0.26
VI	1	1.166	1147.75	1146.18	55.58	2.82	0.55	21.539	28	77%	CUMPLE	0.71	1.63
VII	1	2.887	1143.98	1143.35	20.23	3.11	0.75	29.714	40	74%	CUMPLE	1.02	4.42
	2	2.887	1143.35	1141.72	57.35	2.84	0.77	30.228	40	76%	CUMPLE	1.02	4.22

Nota. La tabla muestra las tuberías que hacen parte de cada uno de los tramos de aportes tributarios con su respectivo cálculo de diámetros. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 13

Variables para comprobar el estado de los tramos de tubería

No TRAMO	Tuberías	Q/Qo	Vo (m/s)	coef	Vreal (m/s)	Requisito	Ro (m)	coef	R (m)	τ (N/m ²)	Requisito
I	1	0.88	3.59	1.015	3.64	CUMPLE	0.11	1.140	0.13	49.96	CUMPLE
	2	0.78	4.25	0.975	4.15	CUMPLE	0.15	1.197	0.18	67.02	CUMPLE
II	1	0.77	6.07	0.975	5.92	CUMPLE	0.13	1.197	0.15	145.18	CUMPLE
	2	0.68	3.46	0.941	3.25	CUMPLE	0.25	1.172	0.30	36.59	CUMPLE
	3	0.78	2.68	0.980	2.62	CUMPLE	0.33	1.200	0.40	20.57	CUMPLE
	4	0.72	5.95	0.955	5.68	CUMPLE	0.27	1.182	0.32	107.49	CUMPLE
	5	0.68	6.95	0.936	6.51	CUMPLE	0.25	1.167	0.30	147.26	CUMPLE
III	1	0.64	3.70	0.918	3.39	CUMPLE	0.10	1.151	0.12	55.78	CUMPLE
	2	0.56	4.65	0.885	4.12	CUMPLE	0.15	1.125	0.17	75.38	CUMPLE
	3	0.79	3.68	0.980	3.61	CUMPLE	0.13	1.200	0.15	53.62	CUMPLE
IV	1	0.69	3.64	0.945	3.44	CUMPLE	0.25	1.175	0.30	40.70	CUMPLE
V	1	0.90	4.24	1.021	4.33	CUMPLE	0.34	1.210	0.41	51.52	CUMPLE
	2	1.02	2.66	1.042	2.77	CUMPLE	0.09	1.150	0.10	30.09	CUMPLE
VI	1	0.72	4.09	0.955	3.91	CUMPLE	0.18	1.182	0.21	58.24	CUMPLE
VII	1	0.65	5.45	0.927	5.05	CUMPLE	0.25	1.150	0.29	89.24	CUMPLE
	2	0.68	5.21	0.941	4.90	CUMPLE	0.25	1.172	0.30	83.00	CUMPLE

Nota. La tabla muestra los valores reales de los tramos de tubería. Fuente: Autores del proyecto.

Como se pudo apreciar en las tabla 12 y la tabla 13, se utilizó la topografía para chequear los caudales obtenidos de los aportes pluviales arrojando los diámetros para los cuales estos caudales cumplen sin inconvenientes, pues según los parámetros evaluados se puede decir que:

De acuerdo a lo que confiere el Artículo 149 de la Resolución 0330 de 2017, la velocidad mínima real permitida en un colector de aguas lluvias es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería de mínimo 2 Pa. En la tabla 10 se puede apreciar que el esfuerzo cortante corresponde a “TAO”, el cual es el resultado de la siguiente operación matemática:

$$\tau = \gamma_{agua} * R * S$$

En donde:

τ = Esfuerzo cortante medio.

γ_{agua} = Densidad del agua (9810).

R = Radio hidráulico real.

S = Pendiente del colector.

Con relación a la velocidad real máxima presente en las tuberías chequeadas, según el Artículo 150 la velocidad máxima para un colector a gravedad no debe sobrepasar los 5 m/s, pero siguiendo el Parágrafo del mismo artículo en casos especiales como grandes diámetros o pendientes el valor de la velocidad máxima no debe sobrepasar los 10 m/s.

En resumen los tramos de tuberías chequeados cumplen con los parámetros de velocidad, ya que la velocidad mínima encontrada fue de 2.74 m/s, la cual corresponde al menor esfuerzo cortante en la tubería que es de 20.63 Pa. De igual forma la velocidad máxima fue de 6.8 m/s.

Tabla 14*Parámetros obtenidos de las relaciones hidráulicas*

No TRAMO	Tuberías	D (m)	Coef	d (m)	No. Froude	Requisito	H (m)	Coef	d (m)
I	1	0.4572	0.82	0.3749	7.3104	CUMPLE	0.334	0.892	0.375
	2	0.6096	0.743	0.4529	9.65312	CUMPLE	0.323	0.713	0.453
II	1	0.508	0.743	0.3774	21.5572	CUMPLE	0.269	0.713	0.377
	2	1.016	0.686	0.697	5.16396	CUMPLE	0.428	0.614	0.697
	3	1.3208	0.75	0.9906	2.59061	CUMPLE	0.718	0.725	0.991
	4	1.0668	0.705	0.7521	14.8031	CUMPLE	0.484	0.644	0.752
	5	1.016	0.676	0.676	21.1432	CUMPLE	0.408	0.604	0.676
III	1	0.4064	0.651	0.2646	9.52792	CUMPLE	0.149	0.563	0.265
	2	0.6096	0.608	0.3706	12.4405	CUMPLE	0.189	0.510	0.371
	3	0.508	0.75	0.381	7.91963	CUMPLE	0.276	0.725	0.381
IV	1	1.016	0.692	0.7031	5.71232	CUMPLE	0.438	0.623	0.703
V	1	1.3716	0.835	1.1453	5.77755	CUMPLE	1.077	0.940	1.145
	2	0.3556	0.931	0.3311	3.90736	CUMPLE	0.392	1.184	0.331
VI	1	0.7112	0.705	0.5014	8.58038	CUMPLE	0.323	0.644	0.501
VII	1	1.016	0.666	0.6767	12.9521	CUMPLE	0.396	0.585	0.677
	2	1.016	0.686	0.697	11.7149	CUMPLE	0.428	0.614	0.697

Nota. La tabla muestra los valores obtenidos de las relaciones hidráulicas. Fuente: Autores del proyecto.

En la anterior tabla 14, se terminan de evaluar los parámetros para los tramos de tuberías calculados a partir de los caudales obtenidos según las áreas de aportes pluviales utilizadas, en donde se muestra el valor del diámetro comercial para tubería “D” y el respectivo coeficiente de relación hidráulica que fue sacado de la tabla 8, para posteriormente obtener la lámina de agua real “d”, como también el valor de la profundidad hidráulica H.

Con respecto al número de Froude, hace referencia al régimen del flujo que puede ser crítico, subcrítico o supercrítico, el cual para su escogencia está regido por el valor que se obtiene de la ecuación de Froude:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g * D}}$$

En donde:

Fr = Número de Froude (adimensional).

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2).

D = Profundidad hidráulica (m).

v = Velocidad de flujo (m/s).

Los valores del número de Froude para determinar el régimen del flujo se realiza mediante los siguientes intervalos:

$Fr = 1.0 \gg$ Régimen Crítico

$Fr < 1.0 \gg$ Régimen Subcrítico

$Fr > 1.0 \gg$ Régimen Supercrítico

Cuando el flujo es crítico y cuasi crítico, es decir cuando el número de Froude se encuentra entre 0.7 y 1.5 aproximadamente, se caracteriza por su inestabilidad y variabilidad de la profundidad de flujo alrededor de la profundidad crítica de flujo. Por consiguiente, es recomendable evitar aquellas velocidades de flujo que impliquen un número de Froude en este intervalo. Para nuestro caso todos los valores del número de Froude para cada uno de los tramos de tubería dan como resultado un régimen de flujo supercrítico, ya que el menor número obtenido es de 2.27.

Una vez terminado el chequeo de los tramos de tubería utilizando los caudales de aportes pluviales calculados; en la tabla 15 se resume el diagnóstico del sistema de recolección de aguas pluviales en el tramo de estudio de la Avenida Francisco Fernández de Contreras, en donde se realiza la comparación de los diámetros reales que actualmente están en funcionamiento con relación a los diámetros comerciales obtenidos del cálculo anterior arrojando como resultado que siete tramos de tuberías en distintos sectores, no están en capacidad de cumplir su función, por lo que se requiere del rediseño para mejorar las condiciones del flujo en estos tramos.

Tabla 15

Comparación de diámetros reales y obtenidos por chequeos

No TRAMO	TUBERIAS	DIAMETRO COMERCIAL	DIAMETROS REALES	DIAMETROS DISEÑADOS
I	1	18	36	CUMPLE
	2	24	36	CUMPLE
II	1	20	32	CUMPLE
	2	40	32	NO CUMPLE
	3	52	36	NO CUMPLE
	4	42	32	NO CUMPLE
	5	40	24	NO CUMPLE
III	1	16	24	CUMPLE
	2	24	28	CUMPLE
	3	20	36	CUMPLE
IV	1	40	24	NO CUMPLE
V	1	54	72	CUMPLE
	2	14	14	CUMPLE
VI	1	28	28	CUMPLE
VII	1	40	36	NO CUMPLE
	2	40	36	NO CUMPLE

Nota. La tabla muestra la comparación de los diámetros obtenidos de los chequeos y los diámetros reales que actualmente están en funcionalidad. Fuente: Autores del proyecto.

4.2.3 Inventario de obras hidráulicas. El inventario de las obras hidráulicas del tramo en estudio de la Avenida Francisco Fernández de Contreras, es el resumen de la evaluación y el diagnóstico realizado en donde se verificó la capacidad de cada una de las obras hidráulicas, dando un comentario y una descripción visual. Debido a la magnitud de la tabla que se obtuvo de resultado en el inventario de las obras hidráulicas, se anexa en el **Apéndice B**, en un archivo Excel de extensión dxf, en donde se describe la ubicación, descripción y dimensiones junto con la representación gráfica de cada obra hidráulica.

Debido al trabajo de campo realizado para la elaboración de este proyecto, en el **Apéndice C**, se aprecia el registro fotográfico realizado durante distintas visitas tanto en épocas de lluvia como en tiempo seco. Además del registro fotográfico, se anexa también en el mismo apéndice una serie de videos que fueron grabados durante una visita de campo en donde se presentó un torrencial aguacero.

En la siguiente tabla 16, se especifica el inventario realizado teniendo en cuenta la ubicación de los elementos partiendo del punto de referencia que se encuentra localizado y señalado en el tramo de vía, impuesto por el Instituto Nacional de Vías INVIAS. Cabe resaltar que el inventario presentado no cuenta con una referencia gráfica para su mayor entendimiento, pues debido a su extensión, dicho inventario completo se encuentra en el **Apéndice B**, mencionado anteriormente.

Según el inventario realizado es de resaltar que en muchas obras hidráulicas la falta de mantenimiento ha ocasionado el mal funcionamiento de dichas obras que conforman el sistema de recolección pluvial del tramo en estudio de la Avenida Francisco Fernández de Contreras.

Tabla 16*Inventario de elementos hidráulicos según su ubicación*

Ubicación	Descripción	Medidas	Comentarios	Capacidad hidráulica actual
PR 50+550	Sumidero con rejilla de ventana sin reja metálica	R. Ventana (0,85x0,15) Sumidero(0,8x1,6x1,8)	No cuenta con rejilla metálica y se observan sedimentos.	Cumple
PR 50+526	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,8 0,15) Sumidero (0,8x1,2x1,7)	No cuenta con rejilla metálica y se observan sedimentos.	Cumple
PR 50+412	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,7x0,15) Sumidero(0,8x1,1x1,65)	No cuenta con rejilla metálica y se observan sedimentos.	Cumple
PR 50+322	Rejilla de Ventana	Rejilla Ventana (1,2x0,09)	Totalmente obstruida por sedimentos y falta de mantenimiento.	No está en funcionamiento
PR 50+320	Rejilla en calzada	(8,25x0,6x0,8)	Parcialmente obstruida por sedimentos y falta de mantenimiento.	Cumple
PR 50+313	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana(0,8x0,15) Sumidero(0,7x0,70x1,4)	No cuenta con rejilla metálica y la tubería sanitaria descarga en el sistema pluvial existente.	Cumple
PR 50+285	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,6x0,15) Sumidero (0,8x0,8x1,7)	No cuenta con rejilla metálica y presenta poca sedimentación.	Cumple
PR 50+285	Caja de inspección	R. Ventana (0,6x0,20) Sumidero (0,7x1,9x1,5)	No cuenta con rejilla metálica y presenta poca sedimentación.	Cumple
PR 50+232	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (1,4x0,15) Sumidero (1,8x0,8x1,1)	No cuenta con rejilla metálica y debido a las dimensiones no permite una captación óptima.	Se amplió debido al diseño
PR 50+220	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (3,0x0,30) Sumidero(1,2x1,10x1,6)	No cuenta con rejilla metálica y debido a las dimensiones no permite una captación óptima.	Se amplió debido al diseño
PR 50+220	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,6x0,20) Sumidero (1x1,9x1,8)	No cuenta con rejilla metálica y presenta poca sedimentación.	Cumple
PR 50+205	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana(0,75x0,25) Sumidero(1,2x1,0x1,68)	No cuenta con rejilla metálica y presenta poca sedimentación.	Cumple
PR 50+205	Caja de inspección con rejilla de ventana	R. Ventana (0,6x0,20) Caja (0,7x1,9x1,8)	No cuenta con rejilla metálica y presenta poca sedimentación.	Cumple
PR 50+172	Rejilla de calzada	Rejilla (19,5x0,2x0,4)	Parcialmente obstruida por sedimentos y falta de mantenimiento.	Cumple
PR 50+087	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,8x0,3) Sumidero (0,7x0,7x1,1)	No cuenta con rejilla metálica y presenta poca sedimentación.	Se amplió Por diseño
PR 50+087	Rejilla de fondo	(0,7x0,3x1,2)	Parcialmente obstruida por sedimentos a falta de mantenimiento.	Cumple

Tabla 16 Continuación

Ubicación	Descripción	Medidas	Comentarios	Capacidad hidráulica actual
PR 49+934	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (1,3x0,2) Sumidero (1,2x1,5x1,6)	No cuenta con rejilla metálica. No presenta sedimentación.	Cumple
PR 49+934	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,95x0,3) Sumidero (0,9x1,9x1,8)	No cuenta con rejilla metálica y presenta gran cantidad de sedimento y residuos.	Cumple
PR 49+794	Rejilla de calzada	Rejilla (2,6x0,45x0,8)	Parcialmente obstruida por sedimentos a falta de mantenimiento.	Se modifica la sección de la rejilla
PR 49+635	Sumidero con rejilla de ventana a ambos lados	R. Avenida (0,8x0,3) R. Coliseo (0,6x0,25) Sumidero (3,3x0,7x0,3)	No cuenta con rejilla de ventana metálica y las tapas en concreto se encuentran deterioradas.	Cumple
PR 49+635	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,6x0,2) Sumidero (1,0x1,9x0,8)	No cuenta con rejilla metálica y presenta poca sedimentación.	Cumple
PR 49+620	Sumidero con rejilla de ventana x 2	R. Ventana(1,30x0,25) Sumidero (0,6x1,9x0,5)	No cuenta con rejilla metálica y presenta poca sedimentación.	Cumple
PR 49+635	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,4x0,25) Sumidero(0,95x0,4x0,3)	No cuenta con rejilla metálica y su estructura está deteriorada.	Cumple
PR 49+630	Canal	Lado corto (0,7 m) Lado largo (4,8 m) Altura (1,9 m)	Se observa gran de vegetación debido a la cantidad de sedimentos depositados en el sitio, todo esto por un mal mantenimiento.	Cumple y requiere un mantenimiento
PR 49+480	Sumidero con rejilla de ventana y de fondo	R. Ventana (0,5x0,25) R. de fondo (0,3x0,3) Sumidero(0,8x0,8x1,35)	La rejilla de ventana no tiene reja metálica y la rejilla de fondo está cubierta por sedimentos.	Cumple
PR 49+480	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,6x0,2) Sumidero (0,7x1,9x1,0)	No cuenta con rejilla metálica y presenta poca sedimentación.	Cumple
PR 49+397	Rejilla de fondo	Rejilla (1,1x0,55x0,7)	Presenta alta sedimentación. No cuenta con tubería de aguas lluvias.	No está en funcionamiento
PR 49+167	Sumidero con rejilla de ventana y de fondo	R. Ventana (1,0x0,22) R. de fondo (1,0x1,1) Sumidero(1,0x1,1x2,25)	Debido al diseño, la estructura, no capta una gran cantidad del caudal.	Cumple, pero se requiere ampliación
PR 49+157	Sumidero con rejilla de ventana	R. Ventana (0,6x0,20) Sumidero(1,2x1,9x2,40)	No cuenta con rejilla metálica y presenta gran cantidad de sedimento.	Cumple, pero se requiere ampliación

Nota. La tabla muestra la ubicación y descripción de los elementos hidráulicos identificados en el tramo de estudio.

Fuente Autores del proyecto.

4.3 Proponer el diseño de elementos hidráulicos aplicando el software libre Epanet 2.0 y Swmm 5.0 vE, para la modelación de los mismos, que contribuyan al mejoramiento de la problemática presentada en el sector.

Con el inventario anterior previamente diagnosticado mediante el diseño de los diámetros necesarios para suplir la necesidad de evacuación de caudales, se logró determinar que algunos tramos no estaban en capacidad para operar con las nuevas condiciones de aportes pluviales, dando como resultado que siete tramos de tubería deben ser ampliados.

Para realizar el respectivo diseño que contribuya con el mejoramiento del sistema de alcantarillado pluvial en el tramo de estudio se debe proponer primero el cálculo de los diámetros de tubería que cumplan con los caudales de aportes pluviales, posteriormente se realiza el cálculo para dimensionar los sumideros y rejillas que captan el caudal pluvial, como también el dimensionamiento de algunas cunetas en aquellos lugares donde la pendiente de la vía no logra una buena inclinación para que el agua que fluye por escorrentía superficial sea captada por las rejillas y transportadas por los colectoras hasta su destino final que corresponde al cauce natural El Río Tejo.

Con el fin de tener una mayor comprensión de los elementos y tramos a diseñar, a continuación en la figura 15, se identifican con círculos rojos, cada una de las zonas en donde fue diseñado uno o varios elementos hidráulicos, en algunos casos se proponen tramos nuevos como en otros solo se propone la ampliación de las obras hidráulicas existentes que no cumplen correctamente su función.

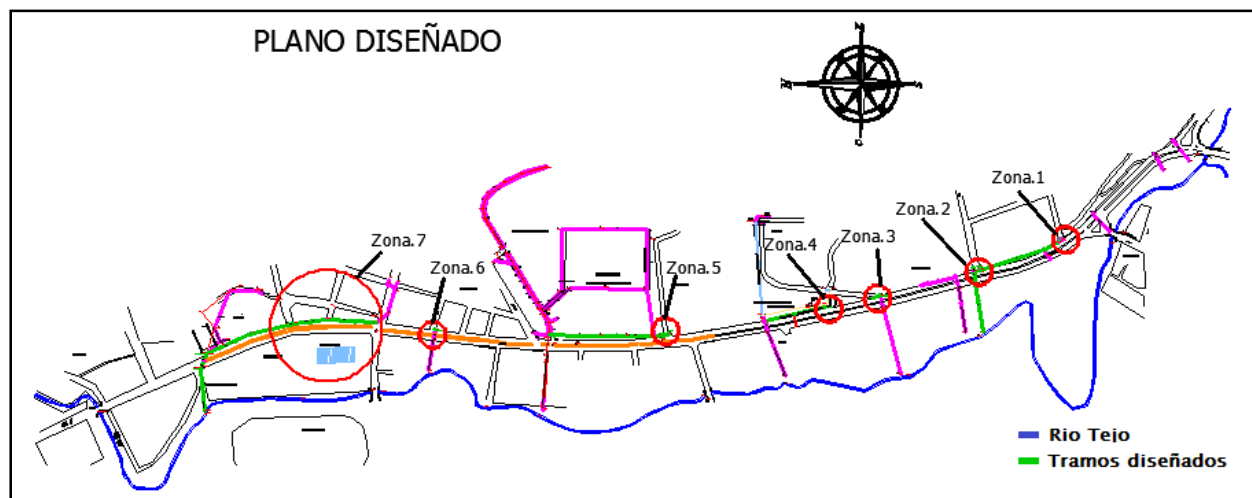


Figura 15. Identificación de zonas donde se ubican obras hidráulicas. Fuente: Autores del proyecto.

Luego de identificar las zonas de referencia para tener una apreciación más clara del diseño realizado, en la tabla 18, tabla 19 y tabla 20, se realiza el cálculo del diámetro de la tubería empleando la fórmula de Manning junto con las respectivas relaciones hidráulicas, teniendo en cuenta que para utilizar los caudales pluviales obtenidos del cálculo descrito en el literal anterior los cuales se dividieron en ocho tramos, fue necesario asignar porcentajes de aportes de cada tramo dependiendo de las zonas en donde caudal de entrada correspondía al mismo aporte pluvial.

En las tablas que corresponden al cálculo de los diámetros reales para un nuevo diseño, se puede observar que los parámetros de velocidad y esfuerzo cortante cumplen a cabalidad, ya que no se presentan velocidades mayores a 10 m/s y mucho menos se presentan esfuerzos cortantes menores a 2 Pa.

Para tener una mejor comprensión del cálculo de los diámetros, y sus respectivos chequeos, se plantea en la tabla 17 la aclaración del caudal manejado para cada elemento hidráulico y posteriormente su colector, en donde los caudales utilizados en el diseño, corresponden a porcentajes de los tramos considerados en la figura 13 que son los aportes pluviales que se tuvieron en cuenta a la hora de diagnosticar y realizar el inventario, como también en el nuevo diseño.

Tabla 17

Asignación de caudales según el tramo al que pertenece

Descripción de elemento	Tramo al que pertenece	Q Tramo	% Q Tramo	Q (m3/s)
Rejilla unirroyal cll 27 a	II	5.66	10%	0.570
Rejillas cañaverl central	II	5.66	13%	0.750
Rejillas cañaverl derecha	II	5.66	16%	0.880
Rejillas cañaverl izquierda	II	5.66	16%	0.880
Rejilla entrada hospital de fondo derecha	III	1.93	25%	0.482
Rejilla entrada hospital de fondo izquierda	III	1.93	25%	0.482
Rejilla parada de buses	III	1.93	25%	0.480
Coliseo y entrada jardines izquierda	IV	2.44	100%	2.44
Entrada jardines derecha	IV	2.44	50%	1.22
Esquina carrera 32 derecha "Ilantas"	VI	2.83	21%	0.583
Tubería policía bajada 1	VII	3.46	45%	1.55
Tubería policía bajada 2, rejilla a la izquierda	VII	3.46	58%	2.00
Tubería bomberos y rejilla derecho	VII	3.46	90%	3.20
Tubería bomberos y rejilla izquierda	VII	3.46	100%+40% Tramo VI	4.50
Tramo cejes y entrada bomberos	VII	3.46	100%+40% Tramo VI	4.50
Cruce calle defensa civil	VII	3.46	100%+40% Tramo VI	4.50
Defensa civil	VII	3.46	100%+40% Tramo VI	4.50

Nota. La tabla muestra la asignación del caudal para cada elemento hidráulico dependiendo del tramo al que pertenece. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 18*Diseño de obras hidráulicas proyectadas*

Identificación de zona	Descripción	Q (m ³ /s)	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Long. tramo (m)	Pend. (%)	Diámetros (m)	Diámetros (pulg)	Diámetro comercial (pulg)	Chequeo diámetro tubería	Chequeo diámetro Ok	Diámetro nuevo (m)	Qo
Zona 1	Rejilla unirroyal cll 27a	0.57	1158.05	1157.83	3	7.3333	0.3498	13.7717	16	0.8607	Cumple	0.4064	0.5889
Zona 2	Rejillas cañaveral central	0.75	1158.89	1157.98	24.3	3.7449	0.43979	17.3144	24	0.7214	Cumple	0.6096	1.2408
Zona 2	Rejillas cañaveral derecha	0.88	1156.1	1155.9	4	5	0.44232	17.4142	20	0.8707	Cumple	0.508	0.8817
Zona 2	Rejillas cañaveral izquierda	0.88	1156.38	1156.1	4	7	0.41528	16.3495	20	0.8175	Cumple	0.508	1.0432
Zona 3	Rejilla entrada hospital de fondo derecha	0.482	1155.6	1155.55	9.45	0.5291	0.53776	21.1718	30	0.7057	Cumple	0.762	0.8456
Zona 3	Rejilla entrada hospital de fondo izquierda	0.482	1155.89	1155.2	12	5.75	0.34381	13.5358	16	0.846	Cumple	0.4064	0.5214
Zona 4	Rejilla parada de buses	0.48	1154.5	1152.48	67.73	2.9824	0.38824	15.2849	18	0.8492	Cumple	0.4572	0.5141
Zona 5	Coliseo y entrada jardines izquierda	2.444	1150.91	1148.76	153	1.4052	0.82309	32.4051	40	0.8101	Cumple	1.016	2.9680
Zona 5	Entrada jardines derecha	1.22	1151.45	1151.13	7.7	4.1558	0.5176	20.3781	24	0.8491	Cumple	0.6096	1.3071
Zona 6	Esquina carrera 32 derecha "llantas"	0.583	1148.42	1148.33	3	3	0.41714	16.4227	20	0.8211	Cumple	0.508	0.6829
Zona 7	Tubería policía bajada 1	1.55	1147.29	1146.15	66.6	1.7117	0.66868	26.326	30	0.8775	Cumple	0.762	1.5210
Zona 7	Tubería policía bajada 2, rejilla a la izquierda	2	1146.15	1145.25	44.7	2.0134	0.71369	28.0981	32	0.8781	Cumple	0.8128	1.9594
Zona 7	Tubería bomberos y rejilla derecho	3.2	1145.25	1145.05	7	2.8571	0.79718	31.385	36	0.8718	Cumple	0.9144	3.1955
Zona 7	Tubería bomberos y rejilla izquierda	4.5	1145.05	1144.42	20.23	3.1142	0.89138	35.0938	40	0.8773	Cumple	1.016	4.4184
Zona 7	Tramo cejes y entrada bomberos	4.5	1144.42	1142.65	57.35	3.0863	0.89289	35.153	40	0.8788	Cumple	1.016	4.3986
Zona 7	cruce calle defensa civil	4.5	1142.65	1142.41	20.6	1.165	1.07183	42.1981	48	0.8791	Cumple	1.2192	4.3946
Zona 7	Defensa civil	4.5	1142.41	1141.72	57.3	1.2042	1.06521	41.9375	48	0.8737	Cumple	1.2192	4.4678

Nota. La tabla muestra los diámetros de colectores diseñados para el nuevo diseño de obras hidráulicas. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 19*Valores obtenidos de relaciones hidráulicas*

Identificación de zona	Tuberías	Q/Qo	Vo (m/s)	coef	Vr (m/s)	Requisito	Ro (m)	coef	R (m)	$\tau(N/m^2)$	Requisito
Zona 1	Rejilla unirroyal cll 27 a	0.9678679	4.540048	1.038	4.7126	Cumple	0.1016	1.195	0.12	87.344	Cumple
Zona 2	Rejillas cañaveral central	0.6044398	4.251355	1.001	4.2556	Cumple	0.1524	1.216	0.19	68.08	Cumple
Zona 2	Rejillas cañaveral derecha	0.9980669	4.350155	1.041	4.5285	Cumple	0.127	1.172	0.15	73.008	Cumple
Zona 2	Rejillas cañaveral izquierda	0.8435205	5.147172	0.997	5.1317	Cumple	0.127	1.214	0.15	105.87	Cumple
Zona 3	Rejilla entrada hospital de fondo derecha	0.5699771	1.854338	1.027	1.9044	Cumple	0.1905	1.204	0.23	11.905	Cumple
Zona 3	Rejilla entrada hospital de fondo izquierda	0.9242832	4.020163	1.024	4.1166	Cumple	0.1016	1.207	0.12	69.173	Cumple
Zona 4	Rejilla parada de buses	0.9335543	3.131831	1.027	3.2164	Cumple	0.1143	1.204	0.14	40.264	Cumple
Zona 5	Coliseo y entrada jardines izquierda	0.823442	3.660917	0.99	3.6243	Cumple	0.254	1.208	0.31	42.298	Cumple
Zona 5	Entrada jardines derecha	0.9333393	4.478571	1.027	4.5995	Cumple	0.1524	1.204	0.18	74.807	Cumple
Zona 6	Esquina carrera 32 derecha "Iltantas"	0.8536305	3.369615	1.001	3.373	Cumple	0.127	1.216	0.15	45.449	Cumple
Zona 7	Tubería policía bajada 1	1.0190508	3.335301	1.042	3.4754	Cumple	0.1905	1.15	0.22	36.787	Cumple
Zona 7	Tubería policía bajada 2, rejilla a la izquierda	1.0206991	3.776365	1.042	3.935	Cumple	0.2032	1.15	0.23	46.156	Cumple
Zona 7	Tubería bomberos y rejilla derecho	1.0014074	4.866042	1.041	5.0655	Cumple	0.2286	1.172	0.27	75.094	Cumple
Zona 7	Tubería bomberos y rejilla izquierda	1.0184635	5.449902	1.042	5.6788	Cumple	0.254	1.15	0.29	89.237	Cumple
Zona 7	Tramo cejes y entrada bomberos	1.0230524	5.425457	1.042	5.6533	Cumple	0.254	1.15	0.29	88.438	Cumple
Zona 7	Cruce calle defensa civil	1.023984	3.764251	1.042	3.9223	Cumple	0.3048	1.15	0.35	40.061	Cumple
Zona 7	Defensa civil	1.0072052	3.826958	1.042	3.9877	Cumple	0.3048	1.164	0.35	41.911	Cumple

Nota. La tabla muestra los valores obtenidos de las relaciones hidráulicas. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 20*Valores y chequeos obtenidos de relaciones hidráulicas*

Identificación de zona	Tuberías	D (m)	Coef	d (m)	Coef	H (m)	No. Froude	Requisito
Zona 1	Rejilla unirroyal cll 27 a	0.4064	0.884	0.359258	1.149	0.4128	11.0362	Cumple
Zona 2	Rejillas cañaveral central	0.6096	0.791	0.482194	0.815	0.393	9.22357	Cumple
Zona 2	Rejillas cañaveral derecha	0.508	0.914	0.464312	1.344	0.624	8.28842	Cumple
Zona 2	Rejillas cañaveral izquierda	0.508	0.785	0.39878	0.798	0.3182	14.9048	Cumple
Zona 3	Rejilla entrada hospital de fondo derecha	0.762	0.852	0.649224	0.995	0.646	1.44071	Cumple
Zona 3	Rejilla entrada hospital de fondo izquierda	0.4064	0.843	0.342595	0.966	0.3309	9.40532	Cumple
Zona 4	Rejilla parada de buses	0.4572	0.852	0.389534	0.995	0.3876	5.30541	Cumple
Zona 5	Coliseo y entrada jardines izquierda	1.016	0.77	0.78232	0.767	0.6	5.41409	Cumple
Zona 5	Entrada jardines derecha	0.6096	0.852	0.519379	0.995	0.5168	9.39575	Cumple
Zona 6	Esquina carrera 32 derecha "llantas"	0.508	0.791	0.401828	0.815	0.3275	6.34739	Cumple
Zona 7	Tubería policía bajada 1	0.762	0.931	0.709422	1.584	1.1237	3.63782	Cumple
Zona 7	Tubería policía bajada 2, rejilla a la izquierda	0.8128	0.931	0.756717	1.584	1.1986	4.51549	Cumple
Zona 7	Tubería bomberos y rejilla derecho	0.9144	0.914	0.835762	1.344	1.1233	7.72997	Cumple
Zona 7	Tubería bomberos y rejilla izquierda	1.016	0.931	0.945896	1.584	1.4983	8.41161	Cumple
Zona 7	Tramo cejes y entrada bomberos	1.016	0.931	0.945896	1.584	1.4983	8.33632	Cumple
Zona 7	Cruce calle defensa civil	1.2192	0.931	1.135075	1.584	1.798	3.66326	Cumple
Zona 7	Defensa civil	1.2192	0.92	1.121664	1.445	1.6208	3.98789	Cumple

Nota. La tabla muestra los valores obtenidos de las relaciones hidráulicas y el respectivo chequeo. Fuente: Autores del proyecto.

Una vez definido el diámetro de la tubería, se procede al diseño de los sumideros, rejillas y cuneta necesarias para captar el caudal pluvial; es de resaltar que para el diseño de sumideros se debe realizar con anterioridad el diseño del colector que evacuará el agua pluvial, con el fin de no incurrir en un sobre dimensionamiento del sumidero, como también un sumidero con la sección transversal menor que la sección transversal de la tubería.

Para el cálculo de sumideros se tuvieron en cuenta las condiciones topográficas de la zona aguas arriba como se describe en la tabla 21, en donde se muestran las cotas de la vía aguas arriba y a la llegada el sumidero, su longitud y pendiente, además el caudal correspondiente.

Tabla 21

Datos necesarios para el cálculo de sumideros

Descripción	Q Diseño (m ³ /s)	Cota vía arriba	Cota vía abajo	Long. (m)	Pendiente	Cota Vía Rejilla	Cota Tubo
Rejilla unirroyal cll 27 a	0.57	1172.5	1158.43	59	0.2385	1158.6	1158.05
Rejillas cañaveral central	0.75	1160	1156.7	58.5	0.0564	1158.89	1157.83
Rejillas cañaveral derecha	0.88	1160	1156.7	58.5	0.0564	1156.9	1156.2
Rejillas cañaveral izquierda	0.88	1168	1156.68	114	0.0993	1156.98	1156.38
Rejilla entrada hospital de fondo derecha	0.482	1158.46	1156.17	67	0.0342	1156.17	1155.07
Rejilla entrada hospital de fondo izquierda	0.482	1156.41	1156.17	12	0.02	1156.41	1155.89
Rejilla parada de buses	0.48	1155.1	1154.04	70	0.0151	1155.1	1154.5
Coliseo y entrada jardines izquierda	2.444	1152.16	1150.06	153	0.0137	1152.16	1150.91
Entrada jardines derecha	1.22	1152.25	1152.16	7.7	0.0117	1152.25	1151.45
Esquina carrera 32 derecha "llantas"	0.583	1149.85	1149.12	38	0.0192	1149.12	1148.42
Tubería policía bajada 1	1.55	1148.94	1148.29	54	0.012	1148.29	1147.29
Tubería policía bajada 2, rejilla a la izquierda	0.35	1148.89	1147.74	18	0.0639	1147.74	1146.15
Tubería bomberos y rejilla derecho	1.3	1147.42	1147.31	35	0.0031	1147.31	1145.25
Tubería bomberos y rejilla izquierda	1.3	1147.42	1147.25	35	0.0049	1147.25	1145.05
Tramo cejes y entrada bomberos	4.5	1147.25	1146.55	51	0.0137	1146.55	1144.42
Cruce calle defensa civil	4.5	1146.55	1146.18	68	0.0054	1146.18	1142.65
Defensa civil	4.5	1146.68	1146.01	68	0.0099	1146.01	1142.41

Nota. La tabla muestra los datos necesarios para el cálculo de sumideros. Fuente: Autores del proyecto.

Por consiguiente para el cálculo de sumideros debe tenerse en cuenta el artículo 156 de la resolución 0330 del 8 de junio de 2017, nos dice que los sumideros deben ser ubicados en el mismo sentido de la escorrentía superficial, en los puntos bajos antes de los cruces de vías y antes de las zonas de tránsito de peatones. La resolución no especifica un método en especial para el cálculo de los sumideros, pero si da a conocer el ancho de inundación a utilizar dependiendo del ancho de la vía, aplicable a cualquier método empírico para calcular las dimensiones de la rejilla. A continuación en la tabla 22 se especifican los parámetros de inundación admisible en función del ancho de la vía.

Tabla 22

Ancho de inundación admisible según la clasificación de la vía

Ancho de la vía(m)	Ancho de inundación admisible (m)
<6	2,00
≥ 6 y < 7	3,00
≥ 7 y >9	3,50
≥ 9	4,00

Nota. La tabla muestra el ancho admisible de inundación dependiendo del ancho de la vía. Fuente: Resolución 0330 del 8 de junio de 2017.

Debido a las grandes pendientes de la escorrentía superficial que son captadas por los sumideros, siguiendo la recomendación del Msc Ing Amilkar Ernesto Ilaya Ayza, nos dice que cuando las pendientes son menores del 5% es preferible usar sumideros de ventana, pero cuando se presentan pendientes mayores de 5%, debe utilizarse sumideros con rejilla de fondo para que capturen un mejor caudal aunque presentan la desventaja de que pueden captar desperdicios que reducen el área útil de la rejilla.

En nuestro caso el diseño de los elementos hidráulicos para el mejoramiento del drenaje de aguas lluvias en el tramo de estudio de la Avenida Francisco Fernández de Contreras se utilizaron sumideros de rejilla de fondo y para su diseño se utilizó la ecuación propuesta por el Ingeniero Izzard presentada en 1946 en la publicación *Proceedings Highway Research Board*. Dicha ecuación, solo determina la longitud de la rejilla, ya que el ancho y la profundidad deben asumirse dependiendo del ancho de inundación y del diámetro de la tubería que transporta el agua desde el sumidero hasta su disposición final.

La ecuación se determina mediante la siguiente expresión:

$$L = 0.326 * \left(\frac{Z}{n} * i^{1/2} \right)^{3/4} * \left[\frac{Q_o^{1/2} * (W_o - W)}{Z} \right]^{1/2}$$

En donde:

L = Longitud de rejilla.

Z = Pendiente transversal de la vía.

n = Rugosidad.

W_o = Ancho de inundación.

W = Ancho de rejilla.

Q_o = Caudal de diseño.

En la siguiente figura se muestra la representación gráfica de las variables manejadas para el cálculo de sumideros.

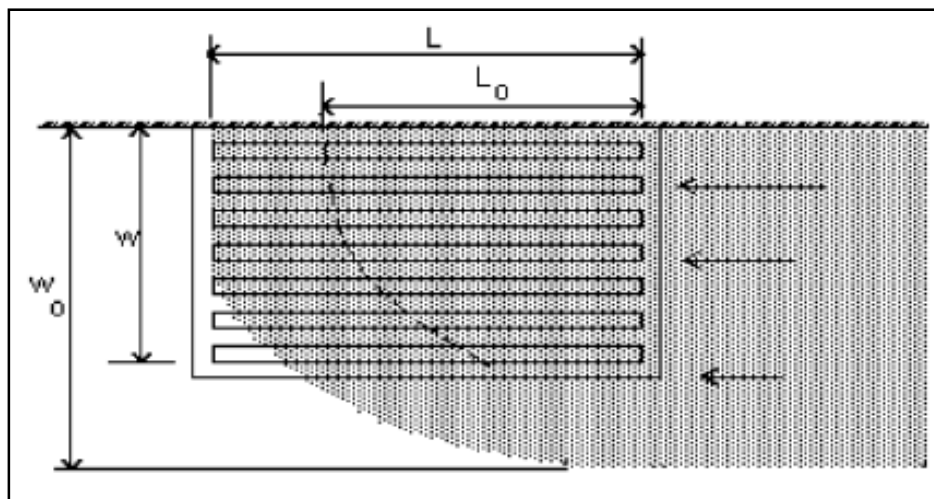


Figura 16. Esquema de variables para sumideros de fondo. Fuente: MSc. Ing. Amilkar Ernesto Ilaya Ayza.

En la tabla 23, se resume el cálculo de los sumideros en donde se muestra el ancho de la vía, el cual para todos los tramos que fueron objeto de estudio poseen un tipo de bombeo de orden 2, es decir, bombeo en ambos costados de la calzada. Para la definición del ancho de inundación se emplearon los valores de la tabla 22, pero teniendo en cuenta la aclaración de la norma, nos dice que cuando la vía tiene más de un bombeo, el ancho de inundación se debe dividir en dos, por lo que en la columna 5 de la tabla 22, se especifica la corrección del ancho de inundación.

Con relación a la longitud menor de la rejilla y a la altura H del sumidero, se asumen teniendo en cuenta el diámetro de la tubería y las cotas de los colectores, para posteriormente llevar a cabo el procedimiento para el cálculo de la longitud mayor del sumidero aplicando la ecuación anteriormente mencionada.

Tabla 23*Dimensionamiento de sumideros*

Descripción de elementos	Ancho Vía	Tipo de bombeo	Ancho inundación	C. Ancho Inundación	L menor Rejilla	H	L mayor Rejilla
Rejilla unirroyal cll 27 a	6.4	2	3	1.5	0.55	0.55	1.73
Rejillas cañaveral central	9.5	2	4	2	0.7	1.06	1.04772
Rejillas cañaveral derecha	9.5	2	4	2	0.7	0.7	1.10358
Rejillas cañaveral izquierda	9.5	2	4	2	0.6	0.6	1.35991
Rejilla entrada hospital de fondo derecha	5.95	2	2	1	0.7	1.1	0.90256
Rejilla entrada hospital de fondo izquierda	5.95	2	2	1	0.5	0.52	0.7118
Rejilla parada de buses	9.8	1	4	4	0.6	0.6	0.37646
Coliseo y entrada jardines izquierda	7.7	2	3.5	1.75	1.5	1.25	0.71601
Entrada jardines derecha	7.7	2	3.5	1.75	0.5	0.8	0.6784
Esquina carrera 32 derecha "Ilantas"	8.5	2	3.5	1.75	0.7	0.7	0.66666
Tubería policía bajada 1	13	1	4	4	0.7	1	0.92535
Tubería policía bajada 2, rejilla a la izquierda	6.3	1	3	3	1	1.59	0.71311
Tubería bomberos y rejilla derecho	7.2	2	3.5	1.75	0.9	2.06	0.41191
Tubería bomberos y rejilla izquierda	7.2	2	3.5	1.75	1	2.2	0.48178
Tramo cejes y entrada bomberos	8.1	1	3.5	3.5	1.2	2.13	1.6079
Cruce calle defensa civil	6.2	1	3	3	1.3	3.53	0.90696
Defensa civil	14.5	2	4	2	1.4	3.6	0.7493

Nota. La tabla muestra las dimensiones de los sumideros según los parámetros. Fuente: Autores del proyecto.

Las dimensiones finales para las rejillas de los sumideros se aprecian mejor en la siguiente

tabla:

Tabla 24*Dimensiones finales de rejillas de sumideros*

REJILLAS	Ancho (m)	Largo (m)	Espaciamiento entre barras (m)	N° Varillas (und)
Rejilla unirroyal cll 27 a	0.55	2.00	0.0254	54
Rejillas cañaveral central	1.10	9.50	0.0254	9
Rejillas cañaveral derecha	0.70	1.10	0.0254	30
Rejillas cañaveral izquierda	0.60	1.00	0.0254	37
Rejilla entrada hospital de fondo derecha	0.70	1.35	0.0254	25
Rejilla entrada hospital de fondo izquierda	0.50	0.90	0.0254	20

Tabla 24 Continuación

REJILLAS	Ancho (m)	Largo (m)	Espaciamiento entre barras (m)	N° Varillas (und)
Rejilla parada de buses	0.40	0.60	0.0254	11
Coliseo y entrada jardines izquierda	0.75	1.50	0.0254	20
Entrada jardines derecha	0.50	0.70	0.0254	19
Esquina carrera 32 derecha "llantas"	0.67	0.70	0.0254	19
Tubería policía bajada 1	0.70	0.95	0.0254	26
Tubería policía bajada 2, rejilla a la izquierda	0.71	1.00	0.0254	20
Tubería bomberos y rejilla derecho	0.41	0.90	0.0254	12
Tubería bomberos y rejilla izquierda	0.50	1.00	0.0254	14
Tramo cejes y entrada bomberos	1.20	1.60	0.0254	44
Cruce calle defensa civil	0.90	1.30	0.0254	25

Nota. La tabla muestra las dimensiones finales y el número de varillas para las rejillas de los sumideros diseñados.

Fuente: Autores del proyecto.

4.3.1 Modelación hidráulica en SWMM 5.0 vE. El software SWMM 5.0 vE, es un modelo de simulación para el transporte de agua por el interior de cualquiera de los conductos representados en el software y está gobernado por las ecuaciones de la conservación de la masa, de la energía y de la cantidad de movimiento tanto para el flujo gradualmente variado como para el flujo transitorio es decir, empleando las ecuaciones de Saint Venant. El software cuenta con tres modelos hidráulicos de transporte para la evaluación de conductos que son:

Modelo de flujo uniforme. El modelo de flujo uniforme es la forma más simple de representar el comportamiento del agua al interior de los conductos. Para ello se asume que cada uno de los incrementos de tiempo de cálculo considerados en el flujo es uniforme.

Modelo de onda cinemática. Este modelo hidráulico de transporte resuelve la ecuación de continuidad junto con una forma simplificada de la ecuación de cantidad de movimiento en cada una de las conducciones. El caudal máximo que puede fluir por el interior de un conducto

es el caudal a tubo lleno determinado por la ecuación de Manning. El modelo de onda cinemática permite que tanto el caudal como el área varíen tanto espacial como temporalmente en el interior del conducto.

Modelo de onda dinámica. El modelo de transporte de onda dinámica, resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y por lo tanto teóricamente genera los resultados más precisos. Estas ecuaciones suponen la aplicación de la ecuación de continuidad y la cantidad de movimiento en las conducciones y la continuidad de los volúmenes en nudos. El caudal a tubo lleno está contemplado por la fórmula de Manning.

Para el caso particular de los elementos hidráulicos propuestos anteriormente el modelo hidráulico a utilizar corresponde al modelo de onda dinámica, pues según el artículo 137 de la resolución 0330 del 8 de Junio de 2017, nos dice que para modelaciones hidráulicas de alcantarillado, el programa de análisis hidráulico debe tener la capacidad de simular condiciones de flujo uniforme, así como condiciones de flujo no permanente mediante la solución de las ecuaciones de Saint – Veant.

La información preliminar para introducir al software, corresponde a la cartera de campo de los puntos considerados en donde se ubican las rejillas y los colectores, los cuales se pueden observar en la tabla 25. También se introducen los aportes pluviales en cada punto específico que representa a los sumideros, así como los diámetros y distancias correspondientes a cada conducto o línea (denominación del software).

Para hacer uso de la topografía en la modelación para ambos software, es necesario convertir el archivo al mismo formato de reconocimiento del software. Debido a que los dos software utilizados en la modelación pertenecen a la misma empresa de fabricación, ambos tienen el mismo formato de archivos de extensión *inp* para el reconocimiento de redes.

Para convertir la información en el formato requerido de los dos software se utilizaron otras herramientas tecnológicas como el programa AutoCAD, para esquematizar la red, utilizando un solo tipo de línea o pincel y posteriormente guardar la topografía esquematizada en un archivo de tipo *dxf*.

Tabla 25

Ubicación de las estructuras hidráulicas

N° de Estructura	ESTE	NORTE	Cota de la vía	Cota de fondo
1	1086467.3439	1405712.7880	1160.47	1158.67
2	1086487.2901	1405684.3101	----	1157.31
3	1086442.4246	1405694.3614	1160.59	1158.89
4	1086454.6382	1405672.6366	----	1157.98
5	1086359.3222	1406513.4222	1159.48	1157.83
6	1086381.8167	1405587.2335	----	1154.63
7	1086318.7637	1405579.0057	1158.50	1157.70
8	1086312.3250	1405578.4061	1158.60	1158.05
9	1086312.9616	1405574.9536	1158.43	1157.03
10	1086205.7956	1405541.0401	1156.90	1156.20
11	1086206.9877	1405536.7824	1156.70	1155.60
12	1086197.1084	1405539.0645	1157.10	1156.38
13	1086197.8624	1405534.4576	1157.54	1155.94
14	1086202.6075	1405452.7107	----	1151.60
15	1086173.1851	1405528.2524	1157.30	1155.62
16	1086186.4367	1405452.8740	----	1151.21
17	1086060.7300	1405498.9612	1156.46	1155.89
18	1086071.3682	1405502.9000	1156.17	1155.07
19	1086099.0576	1405395.1186	----	1150.10
20	1085996.1487	1405485.6373	1155.10	1154.50
21	1085914.9827	1405467.6204	1154.04	1152.44
22	1085943.3949	1405393.8318	----	1149.42
23	1085785.7489	1405449.9158	1152.25	1151.45

Tabla 25 Continuación

N° de Estructura	ESTE	NORTE	Cota de la vía	Cota de fondo
24	1085776.7323	1405447.3903	1152.16	1150.91
25	1085624.0191	1405448.1674	1150.06	1148.76
26	1085603.9186	1405450.9163	1150.90	1150.60
27	1085620.3293	1405447.3293	1150.10	1149.05
28	1085614.7154	1405351.0701	----	1147.02
29	1085463.8542	1405456.1062	1149.1	1147.75
30	1085459.3568	1405400.9207	----	1146.18
31	1085389.1339	1405465.3593	1148.29	1147.29
32	1085321.4186	1405469.4403	1147.74	1146.15
33	1085277.3027	1405464.2408	1147.31	1145.25
34	1085269.9816	1405462.7728	1147.25	1145.05
35	1085220.6125	1405450.1607	1146.55	1144.42
36	1085158.4369	1405421.7702	1146.18	1142.65
37	1085152.4388	1405402.4607	1146.01	1142.41
38	1085157.0188	1405345.6719	----	1141.72

Nota. La tabla muestra las coordenadas que conforman la cartera de campo de los tramos diseñados. Fuente:

Autores del proyecto.

Es importante aclarar que la topografía esbozada en la tabla anterior solo conforma los puntos necesarios para representar los tramos de tubería y sumideros que fueron evaluados hidráulicamente, puesto que en ella no se localizan puntos aguas arriba que delimitan las áreas de aportes pluviales.

Luego de tener el archivo en formato dxf, generado por AutoCAD, se utiliza el software EpaCAD que sirve para convertir el archivo dxf en un archivo inp, compatible con los software utilizados para las modelaciones hidráulicas.

Interfaz del software EpaCAD. Para convertir el tipo de archivo dxf en EpaCAD, se debe dar clic en el recuadro señalado en rojo de la figura 17, posteriormente se genera una ventana emergente en donde se busca y se abre el archivo dxf Anteriormente guardado.

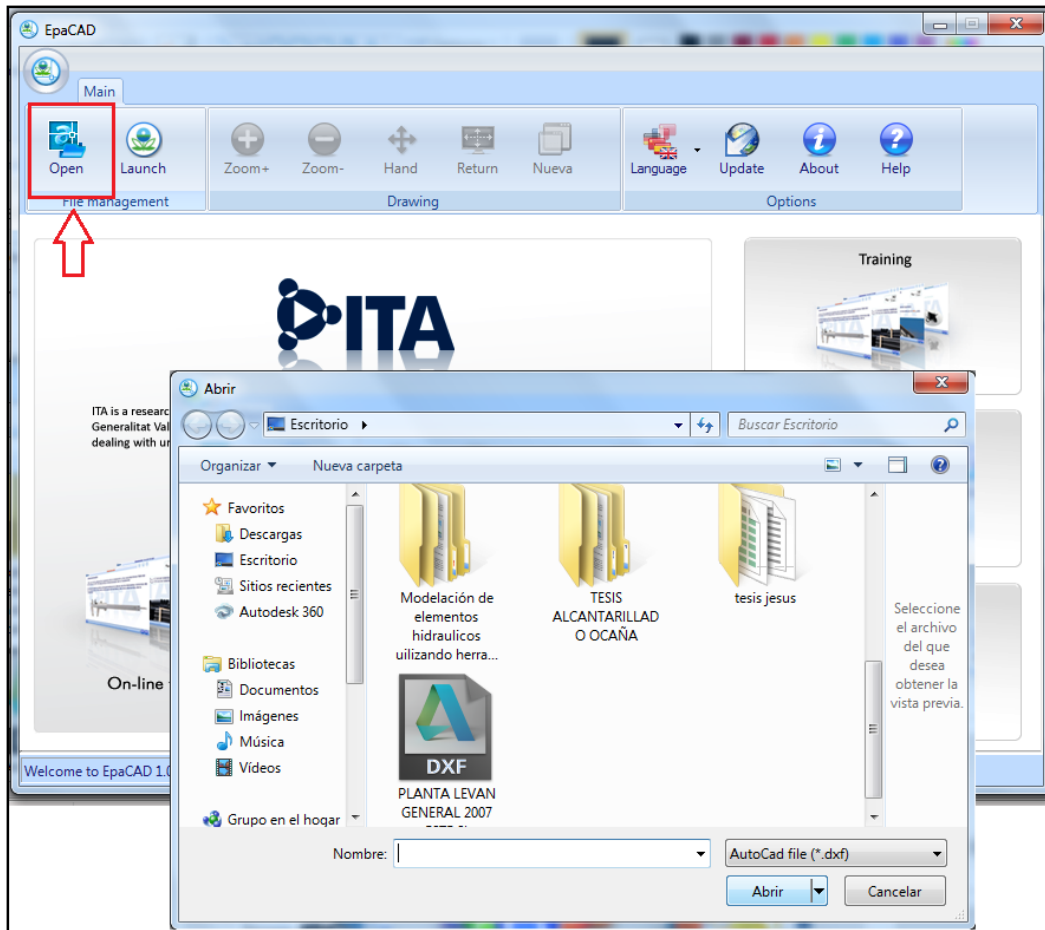


Figura 17. Primer paso para abrir un archivo dxf en la interfaz EpaCAD. Fuente: Autores del proyecto.

Una vez abierto el archivo dxf, en la figura 18, se aprecia el paso a seguir. Consiste en la elección del pincel o línea con la que se esquematizo o dibujo la red en AutoCAD, en la figura se muestra señalado a manera de ejemplo una red en un rectángulo rojo, que corresponde al pincel utilizado para su trazado en EpaCAD, se muestran todos los pinceles utilizados en dicho plano, pero solo sirve para trazar un solo pincel, no se puede trazar más de uno al mismo tiempo. Las demás variables a elegir del software, se manejan los valores predeterminados y posteriormente se selecciona el comando Next como se muestra señalado en la figura 18 con una flecha en rojo.

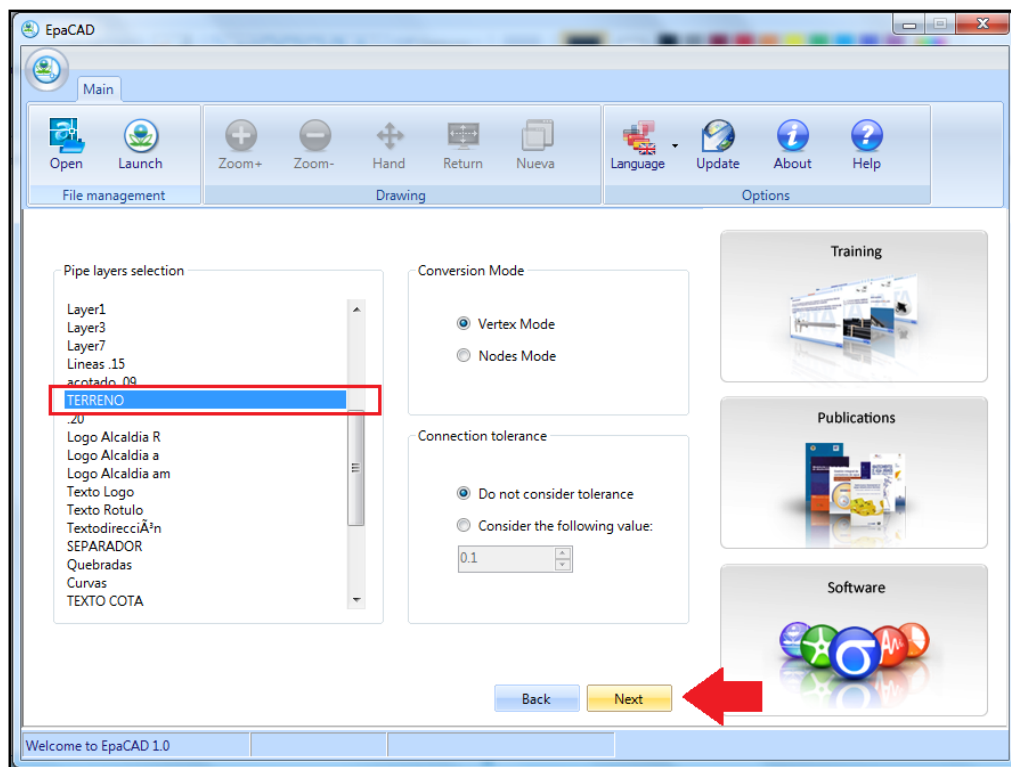


Figura 18. Selección del pincel o línea de trazado a convertir. Fuente: Autores del proyecto.

Como último procedimiento para convertir el archivo dxf en formato inp, en la figura 19, se observa el paso a seguir, en donde se debe dar clic en el comando “Finish” como se observa encerrado en un rectángulo rojo de la figura 19; posteriormente se genera una ventana emergente con el archivo a guardar en el formato de tipo inp.

Una vez guardado el archivo con el tipo de formato inp, se puede decir que se encuentra listo para ser usado en los softwares libres de modelación Epanet 2.0 y SWMM 5.0. Se debe tener en cuenta además que el trazado que facilita el programa, solo ubica los elementos de conexiones y los tramos de tubería incluyendo su medida, pues la introducción de información como cotas, aportes y rugosidad se debe hacer manualmente uno a la vez.

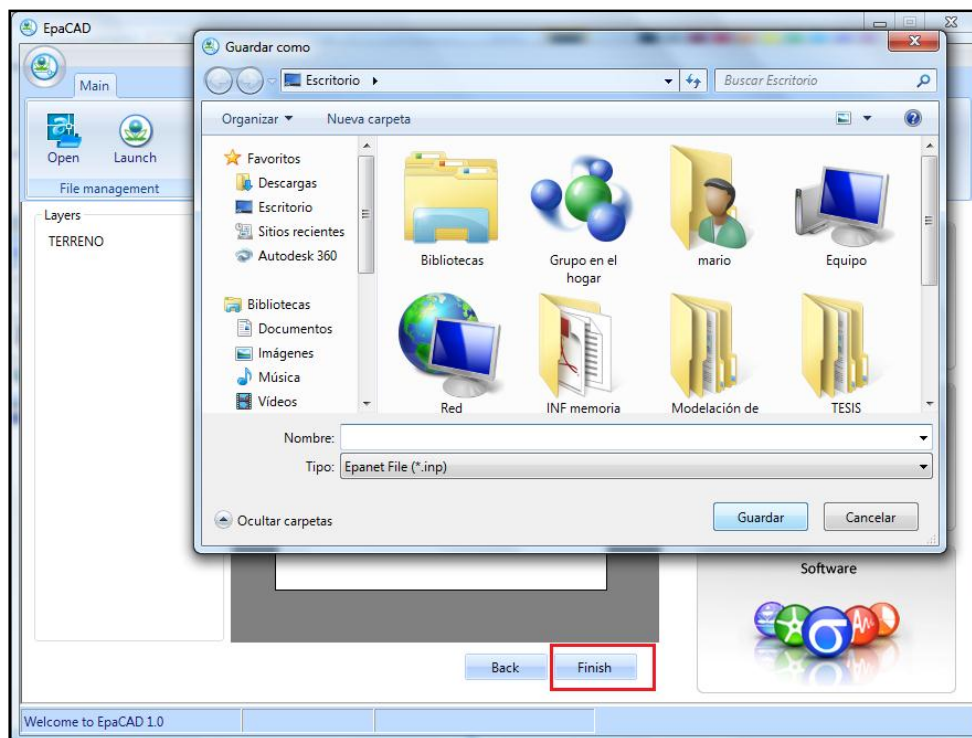


Figura 19. Último procedimiento para convertir archivo dxf a formato inp. Fuente: Autores del proyecto.

Resultados de la modelación hidráulica. A continuación en las siguientes tablas se esbozan los cálculos realizados por el software y debido a su extensión, solo se muestra en el documento, los datos más importantes de la modelación hidráulica empleando el software SWMM 5.0 vE, teniendo en cuenta que el informe completo generado por el software se encuentra en el **Apéndice D**.

En la figura 20, se aprecia el entorno de trabajo del software SWMM 5.0 vE, en donde se muestran los cuatro tramos a evaluar y se aprecia la identificación de las conexiones entre tramos. La línea de color azul corresponde al río Tejo, destino final de la descarga de aguas pluviales en la zona de estudio.

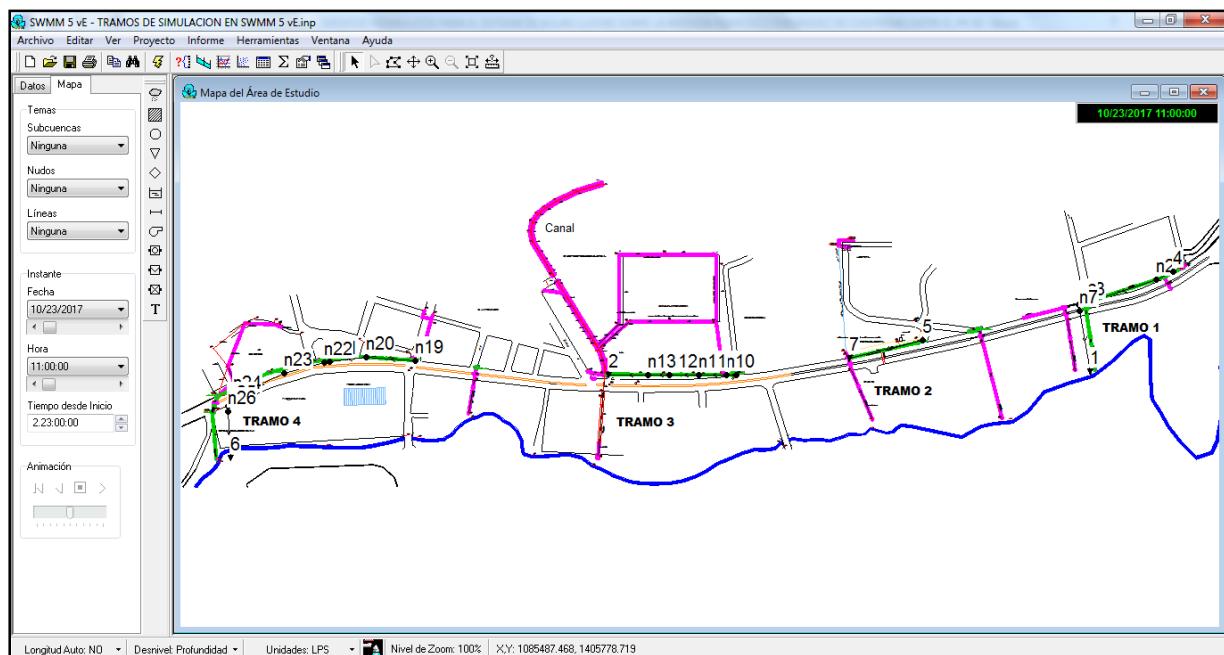


Figura 20. Entorno de trabajo del software SWMM 5.0 vE. Fuente: Autores del proyecto.

En la tabla 26, se observa el resumen de los datos teóricos de los tramos de tubería en donde se puede identificar que los tramos con la menor longitud son aquellos que presentan la pendiente más baja.

Tabla 26

Resumen de líneas

Nombre	Nudo inicial	Nudo final	Tipo	Longitud	%Pdte.	Rugosidad
1	4	n2	CONDUIT	22.3	2.7801	0.015
2	n2	n3	CONDUIT	90.2	1	0.015
3	n3	n6	CONDUIT	9	1	0.02
4	n6	n7	CONDUIT	7.7	1	0.015
5	n7	1	CONDUIT	75	5.2043	0.015
6	n9	n10	CONDUIT	11.8	4.2267	0.015
7	n10	n11	CONDUIT	34	1.9415	0.015
8	n11	n12	CONDUIT	35.5	1.5495	0.015

Tabla 26 Continuación

Nombre	Nudo inicial	Nudo final	Tipo	Longitud	%Pdte.	Rugosidad
9	n12	n13	CONDUIT	27.3	1.3207	0.015
10	n13	2	CONDUIT	43.7	1	0.015
15	n19	n20	CONDUIT	67.7	1.6841	0.015
16	n20	n21	CONDUIT	44.7	2.0129	0.015
17	n21	n22	CONDUIT	7.2	2.7878	0.015
18	n22	n23	CONDUIT	51.1	1.232	0.015
19	n23	n24	CONDUIT	68.3	2.592	0.015
20	n24	n25	CONDUIT	8.8	1.359	0.015
21	n25	n26	CONDUIT	11.5	1.039	0.015
22	n26	6	CONDUIT	57.2	1.2072	0.015
23	5	7	CONDUIT	64	3.2204	0.015

Nota. La tabla muestra el resumen de los parámetros que utilizo el software SWMM 5.0 vE, para realizar la modelación hidráulica. Fuente: Autores del proyecto.

En la tabla 27 se observa el cálculo realizado por el software para conocer las condiciones reales de la tubería y su sección transversal, como el nivel a tubo lleno, el área de la tubería llena, el radio hidráulico, el ancho máximo y el caudal lleno.

Tabla 27

Resumen de secciones transversales

Conducto	Forma Geométrica	Nivel Lleno	Área Lleno	Radio Hidráulico	Ancho Máximo	Nº de Tramos	Caudal Lleno
1	CIRCULAR	1.02	0.81	0.25	1.02	1	3614.64
2	CIRCULAR	1.02	0.81	0.25	1.02	1	2167.88
3	RECT_OPEN	1.02	1.12	0.36	1.1	1	2825.08
4	CIRCULAR	1.02	0.81	0.25	1.02	1	2167.88
5	CIRCULAR	1.02	0.81	0.25	1.02	1	4945.55
6	CIRCULAR	1.22	1.17	0.3	1.22	1	7247.49
7	CIRCULAR	1.22	1.17	0.3	1.22	1	4912
8	CIRCULAR	1.22	1.17	0.3	1.22	1	4388.11
9	CIRCULAR	1.22	1.17	0.3	1.22	1	4051.28

Tabla 27 Continuación

Conducto	Forma Geométrica	Nivel Lleno	Área Lleno	Radio Hidráulico	Ancho Máximo	N° de Tramos	Caudal Lleno
10	CIRCULAR	1.22	1.17	0.3	1.22	1	3525.21
15	CIRCULAR	1.02	0.81	0.25	1.02	1	2813.35
16	CIRCULAR	1.02	0.81	0.25	1.02	1	3075.74
17	CIRCULAR	1.02	0.81	0.25	1.02	1	3619.62
18	CIRCULAR	1.02	0.81	0.25	1.02	1	2406.25
19	CIRCULAR	1.02	0.81	0.25	1.02	1	3490.21
20	CIRCULAR	1.22	1.17	0.3	1.22	1	4109.51
21	CIRCULAR	1.22	1.17	0.3	1.22	1	3593.32
22	CIRCULAR	1.22	1.17	0.3	1.22	1	3873.28
23	CIRCULAR	0.46	0.16	0.11	0.46	1	462.62

Nota. La tabla muestra el resumen de los parámetros evaluado de la sección transversal de los conductos. Fuente: Autores del proyecto.

En la tabla 28, se obtiene como resultado de la modelación el resumen del comportamiento de los caudales en los tramos de tubería, así como también la velocidad máxima en cada tramo.

Tabla 28

Resumen de caudales en líneas

Líneas	Tipo	Caudal Máximo LPS	Velocidad Máxima m/seg	Caudal Máximo Lleno	Nivel Máximo Lleno
1	CONDUIT	1429.55	3.87	0.4	0.49
2	CONDUIT	1339.83	1.96	0.62	0.8
3	CONDUIT	2045.64	1.82	0.72	1
4	CONDUIT	1887.8	3.05	0.87	0.71
5	CONDUIT	1889.2	5.69	0.38	0.43
6	CONDUIT	4937.49	5.29	0.68	0.76
7	CONDUIT	4653.29	4.39	0.95	0.89
8	CONDUIT	4417.13	3.99	1.01	0.97
9	CONDUIT	4298.75	3.69	1.06	1
10	CONDUIT	2697.61	2.61	0.77	0.83
15	CONDUIT	1850.59	3.62	0.66	0.6
16	CONDUIT	2259.33	3.8	0.73	0.69

Tabla 28 Continuación

Líneas	Tipo	Caudal Máximo LPS	Velocidad Máxima m/seg	Caudal Máximo Lleno	Nivel Máximo Lleno
17	CONDUIT	3365.75	4.45	0.93	0.88
18	CONDUIT	2308.82	3.25	0.96	0.82
19	CONDUIT	2554.74	4.48	0.73	0.66
20	CONDUIT	2614.57	3.4	0.64	0.73
21	CONDUIT	2736.35	3.23	0.76	0.68
22	CONDUIT	2565.83	3.43	0.66	0.62
23	CONDUIT	479.71	3.22	1.04	0.91

Nota. La tabla muestra el comportamiento del caudal y la velocidad de los tramos de tuberías o líneas. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 29

Resumen del tipo de flujo

Conducto	Longitud Ajustada/ Real	Subcrítico	Supercrítico	Critico	Nº Froude promedio	Variación Media Caudal
1	1	0	1	0	1.63	0
2	1	1	0	0	0.67	0.0018
3	1	1	0	0	0.58	0.0006
4	1	0	1	0	1.18	0
5	1	0	1	0	3.16	0
6	1	0	1	0	2.23	0
7	1	0	1	0	1.65	0
8	1	0	1	0	1.38	0.0001
9	1	1	0	0	0.94	0.0025
10	1	1	0	0	0.79	0.0003
15	1	0	1	0	1.55	0
16	1	0	1	0	1.46	0.0003
17	1.06	0	1	0	1.32	0.0004
18	1	0	1	0	1.13	0.0001
19	1	0	1	0	1.91	0.0004
20	1	0	1	0	1.46	0.0006
21	1	0	1	0	1.28	0.0028
22	1	0	1	0	1.39	0.0016
23	1	0	1	0	1.27	0

Nota. La tabla muestra las condiciones del flujo en los tramos de tubería. Fuente: Autores del proyecto

Como resultado de la utilización del software, en la tabla 29 se observa las condiciones del tipo de flujo que arroja la modelación hidráulica, el cual para algunos tramos obtiene un número de Froude para un comportamiento del flujo subcrítico, lo que da a entender que en estos tramos se debe aumentar la pendiente que proporciones un mayor número de Froude en estos puntos.

En el proceso de la modelación hidráulica, con relación al cuarto tramo evaluado, se obtuvieron tres líneas de tubería que arrojaban un número de Froude igual a cero, por lo que fue necesario la ampliación del diámetro de tubería propuesto mediante el cálculo de relaciones hidráulicas aplicando la fórmula de Manning para obtener valores del régimen del flujo en estos tramos; cabe resaltar que el software no se encarga de diseñar ningún diámetro de tubería ni mucho menos una altura o pendiente, su función es única y específicamente simular hidráulicamente el transporte de agua dependiendo de las condiciones iniciales que se introduzcan.

4.3.2 Modelación hidráulica en Epanet 2.0 vE. El software Epanet 2.0 vE, al igual que el software mencionado anteriormente, cumple la función de simular hidráulicamente redes de tuberías con la diferencia de que solo puede realizar el cálculo para secciones transversales circulares y únicamente para el comportamiento del flujo a presión.

Para la modelación hidráulica como conducto a presión, el software utiliza dos ecuaciones para el modelamiento que corresponden a la ecuación de Darcy Weisbach y la ecuación de Hazen Williams.

Como es de apreciar, en las siguientes tablas se observan los resultados obtenidos por la modelación hidráulica, empleando el método de Hazen Williams, en donde se pudo llegar a la conclusión que debido a las condiciones de la tubería, no se presentan altas presiones, lo cual es bueno ya que las condiciones ideales para un sistema de drenaje debe ser a flujo libre pero también es importante conocer sus características si se pudiera presentar el flujo a presión

Tabla 30

Resultados de modelación en puntos o conexiones

ID Nudo	Cota	m	Demanda LPS	Altura	m	Presión	m
Tramo 1							
Conexión n2	1156.41		0	1156.99		0.58	
Conexión n3	1155.6		1450	1156.82		1.22	
Conexión n7	1155.5		0	1155.55		0.05	
Conexión n8	1151.6		3080	1154.99		3.39	
Tramo 2							
Conexión 6	1152.44		480	1153.76		1.32	
Tramo 3							
Conexión n10	1150.41		0	1150.79		0.38	
Conexión n11	1149.75		0	1150.44		0.69	
Conexión n12	1149.2		0	1150.08		0.88	
Conexión n13	1148.84		0	1149.8		0.96	
Conexión n14	1148.76		3660	1149.36		0.6	
Tramo 4							
Conexión n20	1146.15		0	1146.28		0.13	
Conexión n21	1145.25		0	1145.61		0.36	
Conexión n22	1145.05		0	1145.5		0.45	
Conexión n23	1144.42		0	1144.74		0.32	
Conexión n24	1142.65		0	1143.72		1.07	
Conexión n25	1142.53		0	1143.67		1.14	
Conexión n26	1142.41		0	1143.6		1.19	
Conexión n27	1141.72		4500	1143.24		1.52	

Nota. La tabla muestra el cálculo de las presiones evaluadas en el software Epanet para las condiciones iniciales dadas. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 31*Resultados de la modelación en los tramos de tubería*

ID Línea	Longitud	m	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Factor de
			mm		LPS	m/s	Fricción
Tramo 1							
Tubería p1	22.31		1016	150	1450	1.79	0.011
Tubería p2	90.15		1016	150	1450	1.79	0.011
Tubería p5	7.706		12192	150	3080	0.03	0
Tubería p6	75.04		1016	150	3080	3.8	0.01
Tramo 2							
Tubería 1	64		457.2	150	480	2.92	0.012
Tramo 3							
Tubería p7	11.84		1016	150	3660	4.51	0.01
Tubería p8	34		1016	150	3660	4.51	0.01
Tubería p9	35.5		1016	150	3660	4.51	0.01
Tubería p10	27.26		1016	150	3660	4.51	0.01
Tubería p11	43.73		1016	150	3660	4.51	0.01
Tramo 4							
Tubería p15	67.7		1016	150	4500	5.55	0.01
Tubería p16	44.72		1016	150	4500	5.55	0.01
Tubería p17	7.177		1016	150	4500	5.55	0.01
Tubería p18	51.14		1016	150	4500	5.55	0.01
Tubería p19	68.31		1016	150	4500	5.55	0.01
Tubería p20	8.831		1219.2	150	4500	3.85	0.01
Tubería p21	11.55		1219.2	150	4500	3.85	0.01
Tubería p22	57.16		1219.2	150	4500	3.85	0.01

Nota. La tabla muestra las variables obtenidas de la simulación hidráulica en los tramos de tubería. Fuente: Autores del proyecto.

Con respecto a los resultados de la tabla 31, se puede decir que todas las velocidades en el sistema de drenaje son buenas, aunque en el primer tramo debido a las bajas pendiente se aprecian velocidades bajas. En total la mayoría de los tramos evaluados trabajan en óptimas condiciones utilizando diámetros de 40 y 42 pulgadas. El informe completo generado por el software Epanet 2.0 vE se puede apreciar en el **Apéndice D**.

4.3.3 Pasos para la modelación hidráulica. Para entender mejor la interfaz del software y los pasos realizados que se tuvieron en cuenta para las modelaciones hidráulicas en ambos programas, se propone a continuación los respectivos procedimientos tenidos en cuenta para evaluar hidráulicamente el mejoramiento en los softwares de modelación.

4.3.3.1 Pasos en la utilización de SWMM 5.0 vE. El primer paso para llevar a cabo la modelación en el software SWMM 5.0 vE, es abrir el archivo inp, anteriormente mencionado haciendo clic en archivo, ubicado en la parte superior de la ventana principal como se muestra señalado en la figura 21. Una vez abierto el archivo inp, se traza automáticamente los elementos que conforman una red en un archivo inp que son nudos y líneas o en otros términos conexiones y tuberías. La red trazada se aprecia en la figura 22.

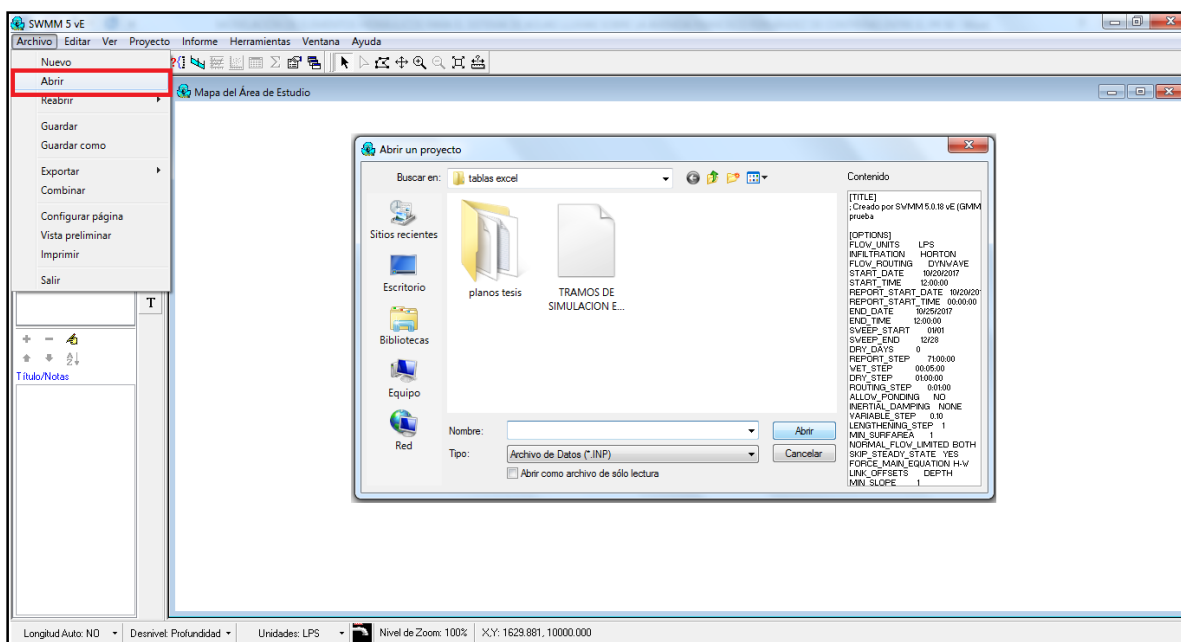


Figura 21. Abrir un archivo inp en el entorno de trabajo de SWMM 5.0 vE. Fuente: Autores del proyecto.

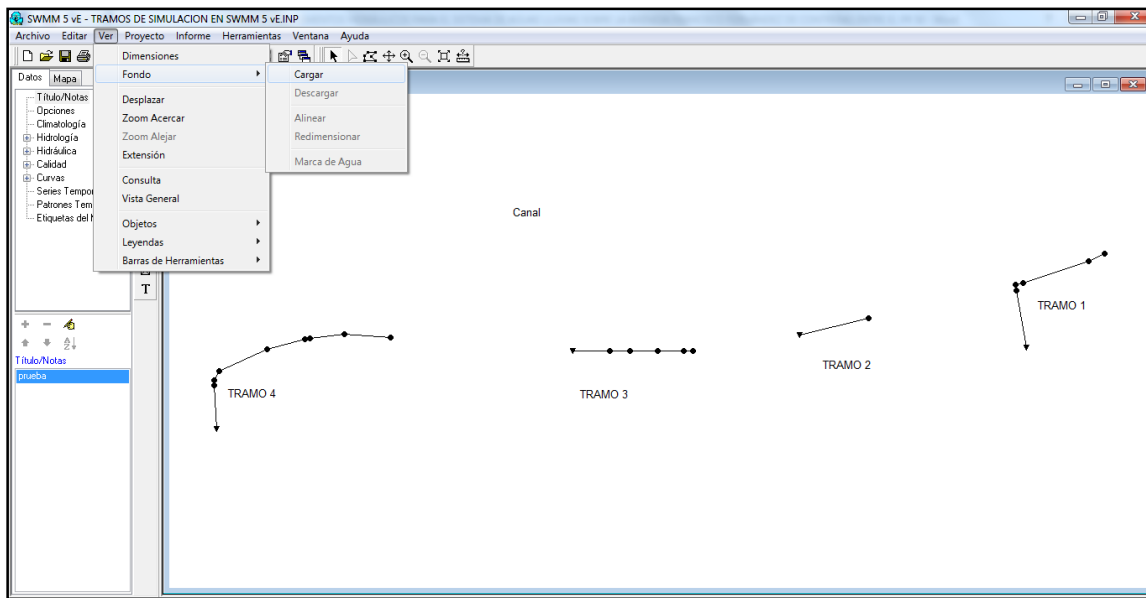


Figura 22. Plano trazado de la red de modelación en el entorno SWMM 5.0 vE. Fuente: Autores del proyecto.

Una vez obtenida la red trazada, a manera de una mejor comprensión y de forma opcional se puede cargar el fondo de pantalla que corresponde al plano urbano en donde se ubican dichos tramos para el cual en la figura 22 en la parte superior se aprecia el procedimiento a seguir. Posteriormente se genera una pantalla emergente como se observa en la figura 23 en donde se selecciona el icono señalado con la flecha roja y se abre la ventana para buscar el archivo en formato metarchivo. Cabe resaltar que el fondo a cargar debe ser un archivo en formato Metarchivo que se puede obtener directamente desde AutoCAD.



Figura 23. Ventana emergente para abrir fondo de pantalla. Fuente: Autores del proyecto.

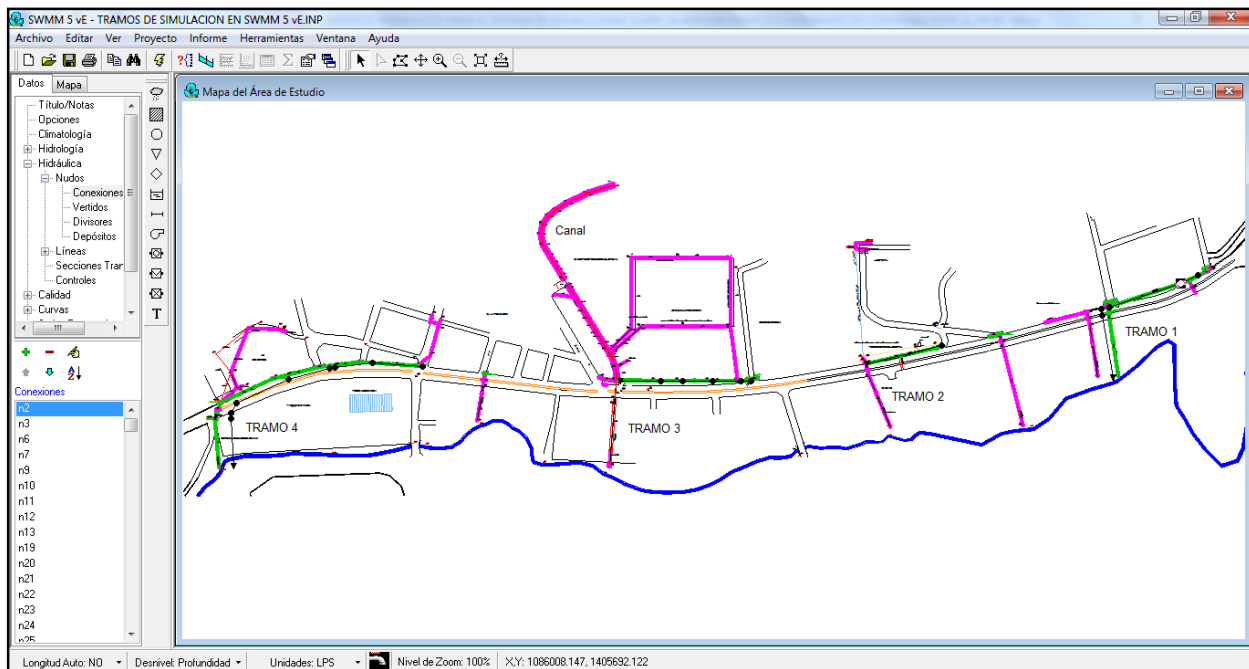


Figura 24. Fondo de pantalla con trazado de red. Fuente: Autores del proyecto.

Como se aprecia en la figura 24 se observa el fondo de pantalla introducido junto con el trazado de los nodos y líneas. Cabe resaltar que debido a la utilización del archivo inp, se evita utilizar las herramientas directas ubicadas el lado izquierdo de la ventana principal del software para introducir dichos elementos. Los nodos representan las conexiones, cambios de altura o de dirección, así como también pueden representar pozos de inspección; las líneas representan las tuberías con distintos tipos de sección transversal.

Luego el siguiente paso a seguir es editar las propiedades de los nudos y líneas en donde para realizar el procedimiento se debe hacer doble clic sobre cada elemento el cual arrojará una ventana emergente. Para el caso de los nudos solo se introducen los datos de aportes y la cota de fondo, como se aprecia en la figura 25. Si se tratase de un pozo de alcantarillado se debe introducir adicional la profundidad máxima que hace referencia a la altura del pozo.

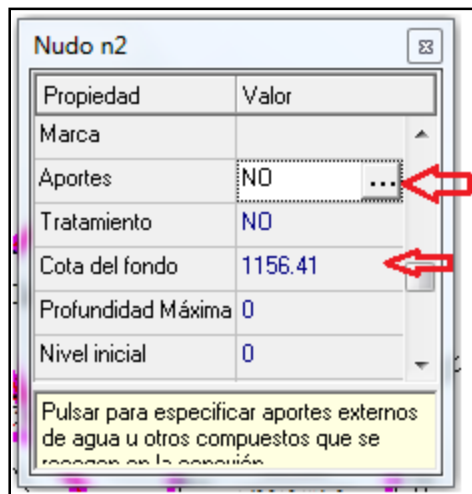


Figura 25. Editor de propiedades en nudos o conexiones. Fuente: Autores del proyecto.

El valor de aportes en el software corresponde al caudal que entra en ese punto y se utilizó para adicionar los caudales en donde se ubicaban las rejillas. Para introducir los aportes se genera una ventana emergente en donde solo se debe considerar el valor medio ya que los demás datos se utilizan para modelar otras condiciones de flujo cuando existe un banco de información. El valor medio corresponde al caudal de entrada al nudo y se debe introducir en unidades de litro por segundo, se puede apreciar en la figura 26 señalado con una flecha roja.

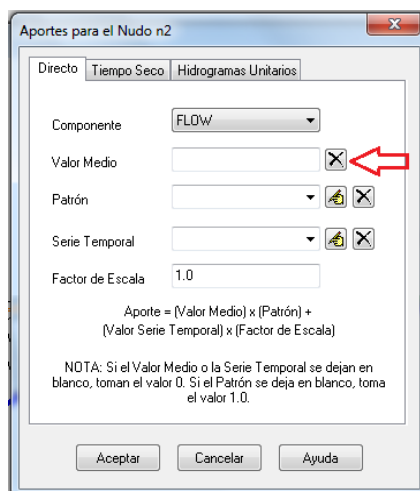


Figura 26. Introducción de aportes en nudos. Fuente: Autores del proyecto.

Para el caso de las líneas, al igual que en los nudos, se debe hacer doble clic sobre el elemento el cual arroja una ventana emergente como se observa en la figura 26 y se introducen los datos de forma y rugosidad puesto que la medida de longitud es un valor que se ajusta automáticamente al introducir el trazado de la red en archivo inp.

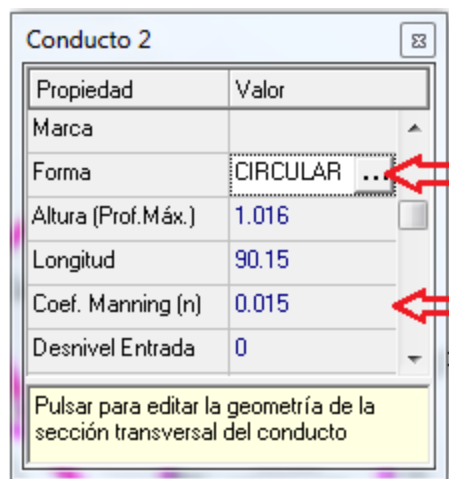


Figura 27. Editor de propiedades de líneas o tuberías. Fuente: Autores del proyecto

Para introducir la forma del conducto, se genera una pantalla emergente como se aprecia en la figura 28, en donde se puede seleccionar la forma geométrica de la sección transversal variando hasta 20 tipos de secciones diferentes y se asigna el diámetro en unidades de metros.

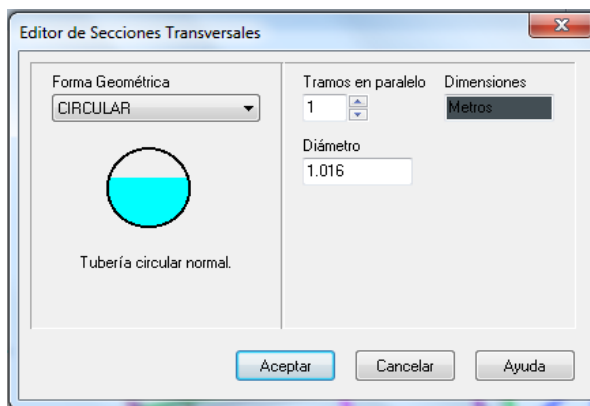


Figura 28. Introducción del diámetro y forma en conductos. Fuente: Autores del proyecto.

El último paso a seguir para lograr la simulación hidráulica en SWMM, es editar las opciones de cálculo que ofrece el software, por lo cual se selecciona la herramienta opciones señalada en un rectángulo rojo en la figura 29, en donde posteriormente en la parte inferior izquierda de la ventana principal se selecciona la celda general, la cual se encuentra señalada con una flecha roja, luego de seleccionar esta opción se abre una ventana emergente en donde se elige las opciones de cálculo y para el caso de la evaluación hidráulica realizada se utiliza la ecuación de onda dinámica.

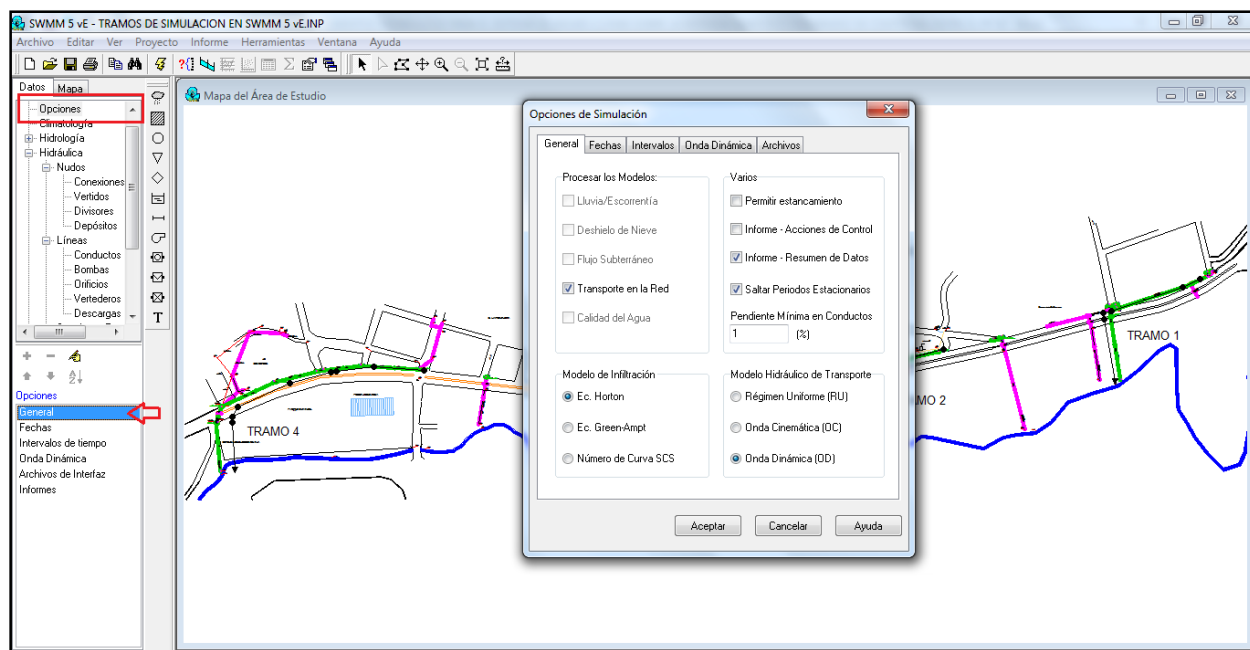


Figura 29. Opciones de cálculo de SWMM 5.0 vE. Fuente: Autores del proyecto.

Para correr la simulación hidráulica se hace clic en el cuadro señalado en rojo de la figura 30 donde aparece una ventana emergente realizando el cálculo que arroja un error de continuidad que no debe ser mayor a 10, en nuestro caso cumplió a cabalidad; y para extraer la información del software, se utiliza la herramienta “informe” ubicada en la parte superior de la ventana principal en donde arroja los resultados detallados de toda la modelación.

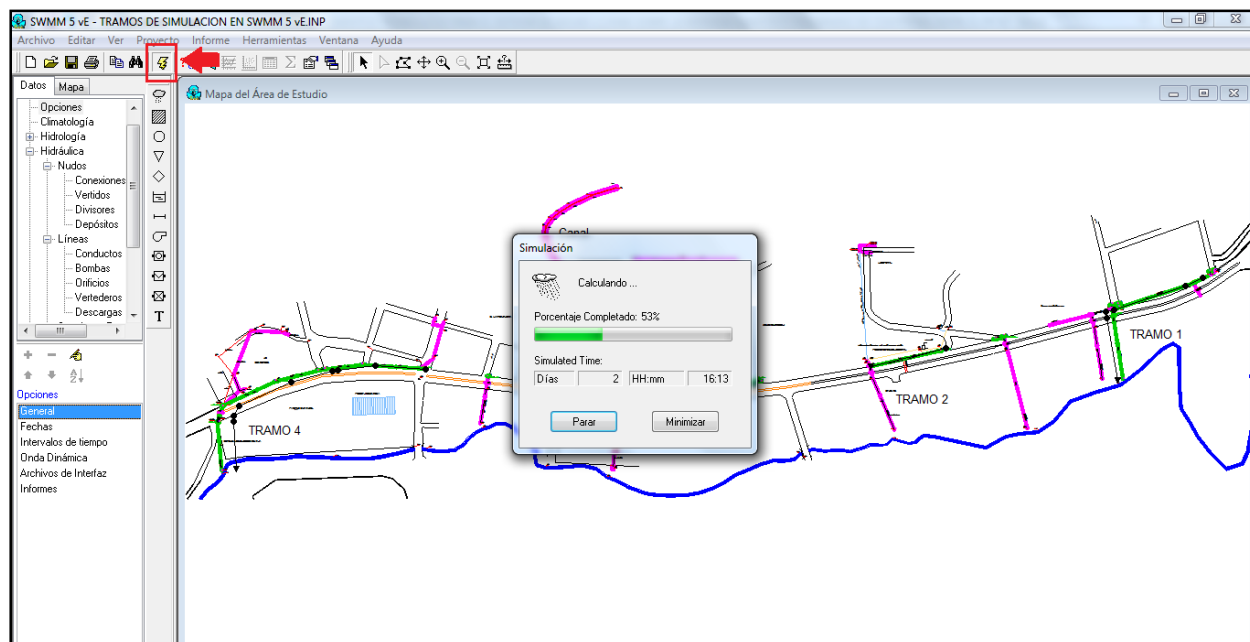


Figura 30. Simulación hidráulica en SWMM 5.0 vE. Fuente: Autores del proyecto.

Los resultados obtenidos de la modelación se pueden apreciar en el **Apéndice D**, en un archivo de formato txt y Excel.

4.3.3.2 Pasos en la utilización de Epanet 2.0 vE. Para realizar la modelación hidráulica en Epanet, al igual que en el software SWMM 5.0 vE, se debe introducir primero el archivo de formato inp que contiene el trazado de la red. Para introducir el archivo de debe hacer clic en importar y luego en Red, como se aprecia en la figura 31. Posteriormente se genera una ventana emergente de búsqueda del archivo inp a abrir.

Al igual que el software SWMM 5.0 vE, también se introduce el fondo de pantalla de manera opcional de la misma forma, empleando la misma interfaz.

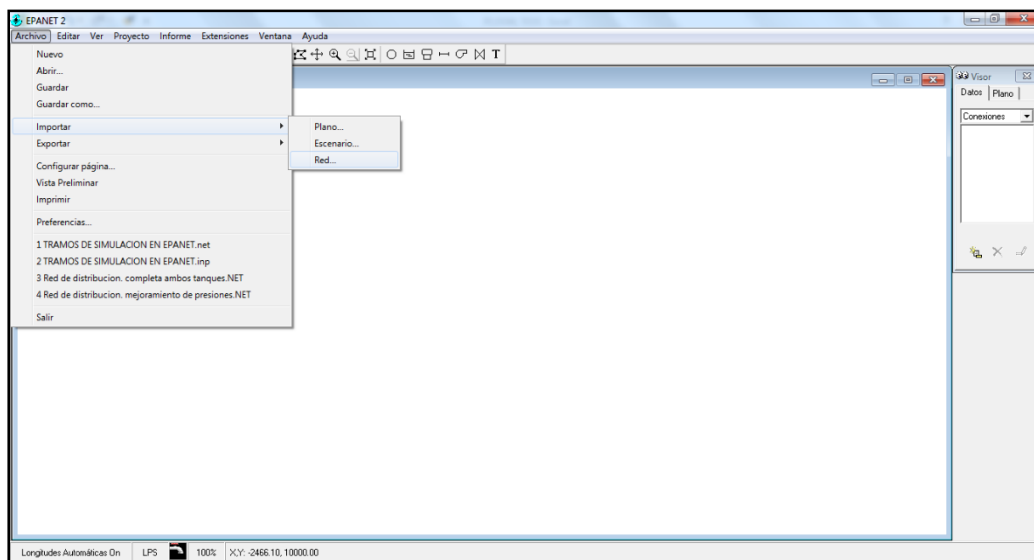


Figura 31. Introducción de una red en Epanet 2.0 vE. Fuente: Autores del proyecto.

A diferencia del software SWMM 5.0 vE, el trazado de la red del archivo inp, arroja los mismos datos tanto líneas como nudos, pero en este caso en los nudos iniciales se deben utilizar el elemento de embalse, que es empleado como una entrada de agua o caudal para simular la red. En la siguiente figura se aprecia la red con el fondo de pantalla y con los elementos utilizados.

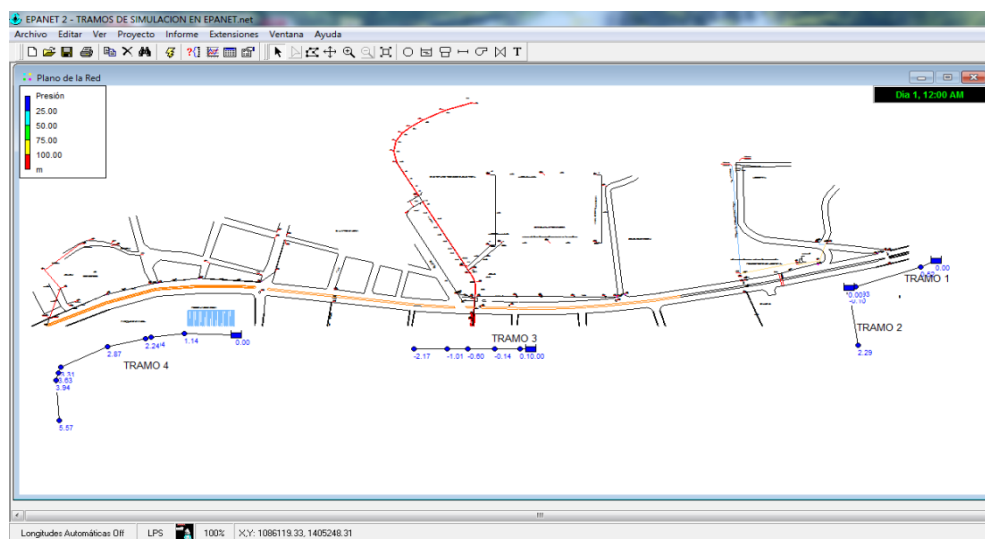
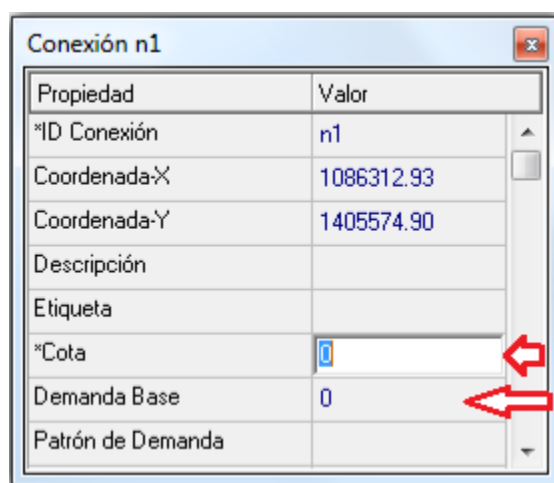


Figura 32. Entorno de Epanet 2.0 vE, trazado de la red y embalses. Fuente: Autores del proyecto.

Con el trazado de la red, se procede a editar las propiedades de los elementos de la misma forma en que se editaron en el software SWMM 5.0 vE, con la diferencia que en este caso son menos variables a considerar. Ya que para evaluar el caudal pluvial considerado se debe introducir el valor de la demanda base en el último nudo o conexión de cada tramo para asegurar que el caudal de transporte en toda la tubería sea el mismo. En la figura 33 se señala en rojo los valores a introducir en las conexiones de la red.



Propiedad	Valor
*ID Conexión	n1
Coordenada-X	1086312.93
Coordenada-Y	1405574.90
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	0
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	

Figura 33. Valores introducir en las conexiones. Fuente: Autores del proyecto.

Luego de introducir los valores en los nudos o conexiones, se procede a introducir las propiedades de los tramos de tubería y al igual que en el entorno de SWMM 5.0 vE, la longitud se encuentra establecida como un dato predeterminado establecido en la introducción de la red en el archivo inp por lo que los datos a introducir son el diámetro en unidades de milímetros y la rugosidad que en este caso corresponde según método utilizado, para este caso se utilizó el método de Hazen Williams. En la siguiente figura 34, se aprecia la ventana emergente del editor de datos de las tuberías, con los datos señalados que se deben introducir.

Propiedad	Valor
*ID Tubería	p2
*Nudo Inicial	n2
*Nudo Final	n3
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	90.15
*Diámetro	300
*Rugosidad	0.1

Figura 34. Editor de propiedades de las tuberías. Fuente: Autores del proyecto.

Por último se introducen los valores por defecto en los que se establecen el método a emplear y las unidades de caudales como se aprecia en la figura 35. El cálculo de la simulación y los resultados se obtienen de la misma forma que en el entorno de SWMM 5.0 vE.

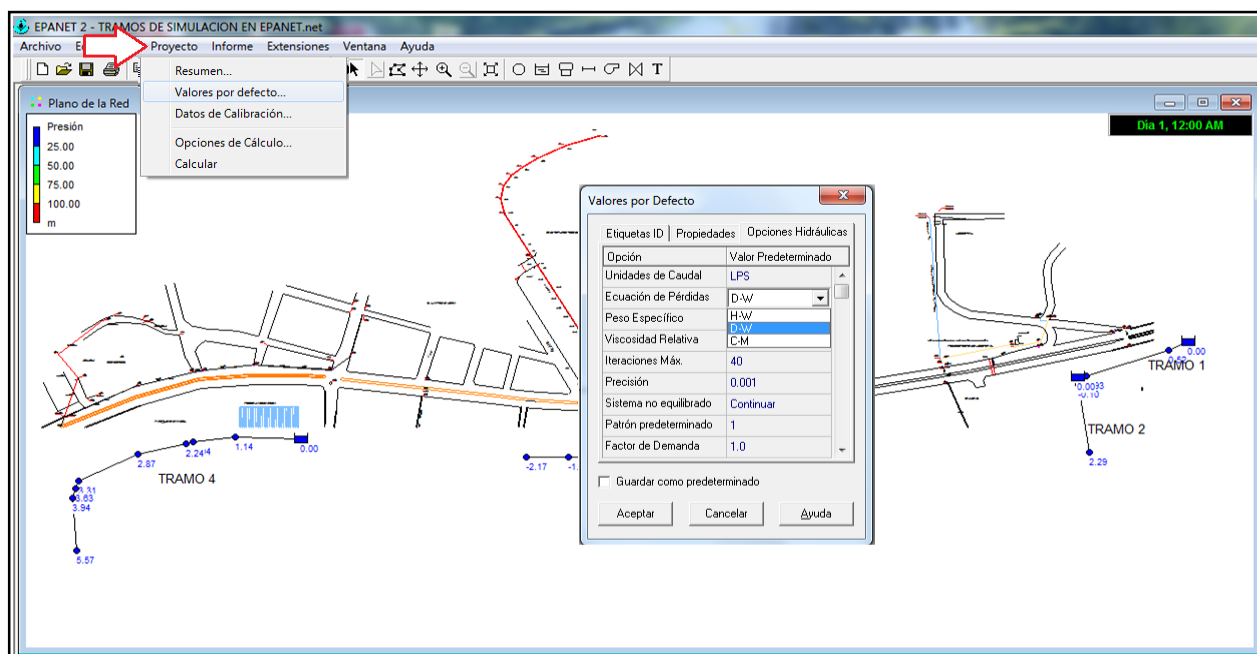


Figura 35. Definición de los valores por defecto de Epanet 2.0 vE. Fuente: Autores del proyecto.

4.3.4 Comparación de resultados. Según los cálculos empleados para realizar el nuevo diseño; en la tabla 32, se observan los datos de las velocidades reales que arroja cada uno de los métodos, en donde debido a los criterios con los que cada software realiza la modelación, se pueden observar que los datos que mejor se ajustan al método de relaciones hidráulicas (método manual), son los obtenidos por el software SWMM 5.0 vE. De igual forma se puede observar que en todos los casos los parámetros cumplen según lo establecido por la norma, a excepción de un tramo de la modelación en Epanet 2.0 vE que arroja una velocidad de 0.03 m/s; muy baja, esto debido a la pendiente utilizada en el tramo y al diámetro de la tubería.

Tabla 32

Comparación de velocidades según los métodos empleados

TUBERIAS	V real(m/s) Relaciones hidráulicas	V real(m/s) Epanet 2.0 vE	V real (m/s) SWMM 5.0 vE
Rejilla unirroyal izquierda	4.713	1.79	3.87
Rejillas cañaveral central	4.256	1.79	1.96
Rejillas cañaveral derecha	4.529	0.03	1.82
Rejillas cañaveral izquierda	5.132	3.8	3.05
Rejilla entrada hospital de fondo derecha	1.904	2.92	5.69
Rejilla entrada hospital de fondo izquierda	4.117	4.51	5.29
Rejilla parada de buses	3.216	4.51	4.39
Coliseo y entrada jardines izquierda	3.624	4.51	3.99
Entrada jardines derecha	4.599	4.51	3.69
Esquina carrera 32 derecha "llantas"	3.373	4.51	2.61
Tubería policía bajada 1	3.475	5.55	3.62
Tubería policía bajada 2, rejilla a la izquierda	3.935	5.55	3.8
Tubería bomberos y rejilla derecho	5.066	5.55	4.45
Tubería bomberos y rejilla izquierda	5.679	5.55	3.25
Tramo cejes y entrada bomberos	5.653	5.55	4.48
Cruce calle defensa civil	3.922	3.85	3.4
Defensa Civil	3.988	3.85	3.23

Nota. La tabla muestra la comparación de las velocidades obtenidas según el cálculo realizado con respecto a las modelaciones hidráulicas empleando los softwares libres. Fuente: Autores del proyecto.

4.4 Elaborar un presupuesto de los elementos hidráulicos necesarios para la rehabilitación de las obras existentes o la construcción de las mismas.

Con la realización del presupuesto se garantiza con un mínimo costo de inversión el mejoramiento del sistema de drenaje urbano en la avenida Francisco Fernández de Contreras. Cabe resaltar que el presupuesto enmarca las obras hidráulicas diseñadas para el mejor transporte del caudal, así como también la demolición de los tramos existentes de algunas estructuras que hacen parte de la vía en la que se destacan andenes, parte de la calza y los tramos obsoletos a remplazar.

El presupuesto incluye la remodelación de un paso canadiense, y la construcción de cajas de inspección y rejillas metálicas para las cajas de los sumideros.

Los precios manejados tanto de materiales como de la mano de obra y transporte, fueron obtenidos de conocido libro de informe de precios de construcción Construprecios actualizado 2017, en donde se obtuvo información de los precios unitarios que fueron comparados y ajustados a los precios locales para poder llevar a cabo el análisis de precios unitarios.

Dentro del presupuesto se consideró el costo de la interventoría, ya que según la comprensión del proyecto es necesario llevar el determinado registro del procedimiento por si las condiciones de diseño tienen a cambiar por factores externos los cuales se resumen en los planos finales o planos Recordo.

A continuación en la siguiente tabla se aprecia el presupuesto general necesario para realizar el mejoramiento en el tramo de estudio. Los análisis de precios unitarios, debidos a su extensión se pueden observar en el **Apéndice B**.

Tabla 33

Presupuesto general del mejoramiento

ITEM	DESCRIPCION	UNIDA D	CANT	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	Preliminares				
1.01	Localización y replanteo.	M2	870.20	\$ 2,757.00	\$ 2,399,141.00
1.02	Cerramiento provisional en lona verde.	ML	740.00	\$ 14,196.00	\$ 10,505,040.00
2	Movimiento de tierras				
2.01	Excavación material común profundidad de 0 a 3.5 mts.	M3	1696.40	\$ 45,282.00	\$ 76,816,385.00
2.02	Cama de arena para apoyo de tubería.	M3	95.00	\$ 49,015.00	\$ 4,656,425.00
2.03	Relleno conformado y vibro compactado en capas de 10 cms con material común.	M3	882.26	\$ 49,504.00	\$ 43,675,399.00
2.04	Retiro y disposición de material sobrante.	M3	1058.38	\$21,033.00	\$ 22,260,907.00
2.05	Excavación de canales inferior e inferior	M3	15.95	\$36,720.00	\$585,684.00
2.06	Demolición de pavimento y otras estructuras.	M2	430.00	\$ 34,020.00	\$14,628,600.00
2.07	Corte de pavimento flexible.	ML	1480.00	\$6,390.00	\$ 9,457,200.00
2.08	Demolición de andenes	M2	260.00	\$ 12,855.00	\$ 3,342,300.00
3	Suministro e instalación red de alcantarillado pluvial				
3.01	Suministro e instalación tubería alcantarillado pluvial concreto d= 16"	ML	14.10	\$157,799.00	\$ 2,224,966.00
3.02	Suministro e instalación tubería alcantarillado pluvial concreto d= 18"	ML	82.50	\$ 188,402.00	\$15,543,165.00
3.03	Suministro e instalación tubería alcantarillado pluvial concreto d= 20"	ML	8.00	\$223,930.00	\$ 1,791,440.00
3.04	Suministro e instalación tubería alcantarillado pluvial concreto d= 24"	ML	9.00	\$ 285,620.00	\$2,570,580.00
3.05	Suministro e instalación tubería alcantarillado pluvial concreto d= 30"	ML	68.00	\$ 178,625.00	\$ 12,146,500.00
3.06	Suministro e instalación tubería alcantarillado pluvial concreto d= 32"	ML	44.70	\$ 324,736.00	\$14,515,699.00
3.07	Suministro e instalación tubería alcantarillado pluvial concreto d= 36"	ML	7.20	\$ 750,918.00	\$ 5,406,610.00

Tabla 33 Continuación

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	VR UNITARIO	VR TOTAL
3.08	Suministro e instalación tubería alcantarillado pluvial concreto d= 40"	ML	382.90	\$705,557.00	\$ 270,157,775.00
3.09	Entibados en tabla vertical.	M2	30.00	\$17,288.00	\$ 518,640.00
3.1	Suministro e instalación tubería alcantarillado pluvial concreto d= 48"	ML	77.30	\$829,006.00	\$ 64,082,164.00
4	Obra civil complementaria				
4.01	Sub - base granular mopt compactada en capas de 10 cms	M3	261.00	\$ 59,164.00	\$ 15,441,804.00
4.02	caja en concreto 1.0 x 1.0 x 1.0	UND	20.00	\$ 1,838,508.00	\$36,770,160.00
4.03	Sumidero	UND	20	\$ 478,060.00	\$ 9,561,200.00
4.04	Recubrimiento canales	M3	4.2	\$629,869.00	\$2,645,450.00
4.05	Parqueo en concreto asfaltico mdc - 2 e = 10.00 cms	M3	70	\$691,166.00	\$48,381,620.00
4.06	Cuneta e=0.1 h=0.3	M3	10.08	\$ 345,036.00	\$ 3,477,963.00
4.07	Rejilla corriente	UND	20	\$ 20,181.00	\$ 403,620.00
4.08	Paso canadiense	M2	10.5	\$ 451,641.00	\$ 4,742,231.00
4.09	Canal sección 1 x 1.3 x 9.5	UN	12.35	\$1,838,508.00	\$ 22,705,574.00
4.10	Pozo de inspección	UN	4	\$ 2,098,541.00	\$ 8,394,164.00
				SUB -TOTAL COSTO DEL PROYECTO	\$736,366,283.00
				ADMINISTRACION (15%)	\$110,454,942.00
				IMPREVISTOS (7%)	\$51,545,640.00
				UTILIDAD (8%)	\$58,909,303.00
				IVA (19%) SOBRE LA UTILIDAD	\$11,192,768.00
				INTERVENTORIA SOBRE COSTO DEL PROYECTO (7%)	\$51,545,639.81
				COSTO TOTAL DE LA PROPUESTA	\$1,020,014,575.81

Nota. La tabla muestra el presupuesto general necesario para llevar a cabo la ejecución del mejoramiento propuesto con los diseños anteriormente realizados. Fuente: Autores del proyecto.

Conclusiones

Con la realización del inventario de los elementos hidráulicos se pudo concluir que la principal problemática que existe en el sistema de drenaje de aguas lluvias de la Avenida Francisco Fernández de Contreras entre el PR 50+540 y el PR 49+000, es la ausencia de un mantenimiento constante a las obras hidráulicas inventariadas, como también la ausencia de una entidad que se haga responsable de velar por el buen estado y funcionamiento del sistema de drenaje.

Con el diseño realizado se pudo concluir que es necesario tener una buena proyección en cuanto vías, como también la densidad poblacional, puesto que calcular los aportes pluviales para un nuevo diseño requiere de conocer las áreas por donde el agua transita ya que no es lo mismo una vía que presenta una mínima infiltración a una zona verde que presenta una alta infiltración. Con los nuevos diseños se tiene en cuenta las velocidades de llegada a los sumideros por lo que fue necesario proponer rejillas de fondo que recolectaran el agua antes de llegar a los sumideros con el fin de disminuir la cantidad de agua recolectada en estos puntos, en total se diseñaron 11 sumideros y se ampliaron 8 sumideros existentes para suplir el caudal a evacuar. También se diseñaron los respectivos colectores que conectan a los sumideros para su debida conducción.

Según el diseño propuesto para el mejoramiento del drenaje de aguas lluvias de la Avenida Francisco Fernández de Contreras, tiene un costo total para su remodelación de 1020 millones incluyendo el transporte y la mano de obra.

Para la lleva a cabo la ejecución de un proyecto de este tipo, es necesario tener un conocimiento completo a cerca de la zona de estudio para poder tener una propuesta que satisfaga la necesidad, ya que en mucho tramos tenían longitudes considerables y en ellos no existía ningún tipo de estructura hidráulica.

Además la demora entre la presentación del proyecto y su ejecución, afecta de manera directa los diseños, debido a que fallan las proyecciones que son requeridas para algunos cálculos, ya que si se hace una proyección de la intensidad de lluvia a 20 años, y la ejecución de dicho proyecto dura 10, dicho proyecto solo podrá ser efectivo por los restantes 10 años

Recomendaciones

Se recomienda para el buen funcionamiento el drenaje de aguas lluvias del tramo evaluado, elaborar un plan de trabajo para el mantenimiento periódico y consecuente de dichas estructuras inventariadas, con el fin de asegurar la buena funcionalidad y reducir su deterioro.

Se recomienda elaborar una investigación para así determinar qué entidad pública debe hacerse cargo de los drenajes urbanos en el municipio de Ocaña, con relación al mantenimiento que se deben realizar periódicamente para el buen funcionamiento del sistema de recolección de aguas lluvias y verificar que se ejecute.

Para el cálculo de áreas de aportes se debe ser muy cuidadoso a la hora de identificar cada área en específico, puesto que al considerar mayores áreas de lo que realmente existen, repercuten en el excesivo dimensionamiento de las estructuras que ocasionan el aumento en el costo de la elaboración de este tipo de proyectos.

Al momento de querer trabajar un sistema de alcantarillado combinado se recomienda la implementación de un sifón invertido para conectar aquellos puntos críticos de intersección entre dos o más conexiones de distintos aportes.

Se recomienda especial cuidado entre las cotas del sistema de alcantarillado existente con las cotas presentes en el diseño, ya que puede estar expuesto a cambios que se deben tener en cuenta en los planos record, es decir planos finales después del proceso constructivo.

Se recomienda hacer cunetas a la llegada de los sumideros para que haya una mejor conducción del caudal y así asegurar que el sumidero recolecte en su totalidad el agua proveniente de escorrentía.

Se recomienda en la ejecución de este tipo de proyectos elaborar un buen plan de manejo de tránsito para evitar congestiones y accidentes durante la ejecución del proyecto.

Referencias

- Rosell Campos F. (2009). Historia del saneamiento de Valladolid. Recuperado de:
http://www.aguasdevalladolid.com/DOC/3_3_historia_alcantarillado.pdf
- Márquez (15 de mayo de 2011). Crece número de damnificados en Colombia por lluvias. El Espectador. Recuperado de: <https://www.elespectador.com/content/crece-n%C3%BAmero-de-damnificados-en-colombia-por-lluvias>
- Rodríguez Ruiz P. (2008). Hidráulica de canales. *CivilGeek*. Recuperado de:
<https://civilgeeks.com/2010/10/10/hidraulica-de-canales-pedro-rodriguez-ruiz/>
- Anónimo (2010). Sumideros de agua de lluvia. *APUNTES INGENIERIA CIVIL.blogspot*.
Recuperado de: http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.co/2010/10/sumideros-de-aguas-de-lluvia_05.html
- Redacción Bogotá (18 de septiembre de 2014). Polémica por la recolección de agua lluvia. El Espectador. Recuperado de: <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/polemica-recoleccion-de-agua-lluvia-articulo-517426>
- Alcaldía de Ocaña (2014). *Nuestro municipio información general*. Recuperado de: http://ocana-nortedesantander.gov.co/informacion_general.shtml#geografia
- Duran Roso P. (2013). Geografía de Ocaña. *recuerdosdeocana.blogspot*.
<http://recuerdosdeocana.blogspot.com.co/2013/11/geografia-de-ocana.html>
- López Cualla, R. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados (2003). Bogotá, Colombia: editorial de la escuela colombiana de ingeniería.

Apéndices

Apéndice A. Planos topográficos.

Ver archivo adjunto

Apéndice B. Información recopilada.

Ver archivo adjunto

Apéndice C. Registro fotográfico.

Ver archivo adjunto

Apéndice D. Modelación hidráulica.

Ver archivo adjunto

Apéndice E. Elementos diseñados.

Ver archivo adjunto