



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS DE LLUVIA  
EN EL SECTOR DEL CASCO CENTRAL DE LAS TEJERIAS A  
TRAVÉS DEL MÉTODO DE ONDA CINEMÁTICA”**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO CIVIL**

REALIZADO POR

Br. Armando Andrés Fayad Briceño

Br. Yanni Alexander Palumbo Madriz

PROFESOR GUÍA

Ing. Raúl Alfonzo Cabrita Figuera

FECHA

Caracas, Abril de 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS DE LLUVIA  
EN EL SECTOR DEL CASCO CENTRAL DE LAS TEJERIAS A  
TRAVÉS DEL MÉTODO DE ONDA CINEMÁTICA”**

Este jurado; una vez realizado la evaluación del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: \_\_\_\_\_

**JURADO EXAMINADOR**

Nombre: \_\_\_\_\_, Nombre: \_\_\_\_\_, Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

**REALIZADO POR**

Br. Armando Andrés Fayad Briceño

Br. Yanni Alexander Palumbo Madriz

**PROFESOR GUÍA**

Ing. Raúl Alfonzo Cabrita Figuera

**FECHA**

Caracas, abril de 2018



*A MI FAMILIA POR SU APOYO INCONDICIONAL  
A MIS PROFESORES POR SU AYUDA Y COMPRENSIÓN  
Y A TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA FORMA  
ME APOYARON DURANTE LA CARRERA*

PALUMBO YANNI

*A MI FAMILIA POR LA SEMILLA DE SUPERACIÓN QUE HAN SEMBRADO EN MÍ.  
A MIS PROFESORES Y JURADOS POR SU DEDICACIÓN, APOYO Y CONFIANZA  
Y A MIS AMIGOS POR QUE SIN ELLOS NO HUBIERA SIDO POSIBLE  
ALCANZAR TODOS ESTOS LOGROS*

FAYAD ARMANDO



“SI HAY QUE TRATAR CON EL AGUA  
CONSULTA PRIMERO LA EXPERIENCIA  
Y DESPUÉS LA RAZÓN  
LA EXPERIMENTACIÓN NO YERRA NUNCA  
SOLO NUESTRO JUICIO SE EQUIVOCA  
AL ANTICIPAR RESULTADOS QUE  
LA EXPERIENCIA LUEGO NOS CONFIRMA”

LEONARDO DA VINCI

SIGLO XV



## AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor y amigo, Ingeniero Raúl Cabrita, por orientarnos y brindarnos su sabiduría, confianza y tiempo, en todo momento.

A los ingenieros Juan Carlos Martínez Carabaño, Jacinto Artigas y a la profesora María Itriago por su dedicación, tiempo y guía en la realización de nuestro trabajo de grado.

A nuestros padres y familiares, por la paciencia y comprensión que nos han brindado durante la realización de este Trabajo de Grado.

A nuestros colegas y amigos, de interminables horas de estudio.

Y a todos aquellos profesionales, profesores y trabajadores de esta Casa de Escuela, que de una u otra forma colaboraron en nuestra formación profesional.

Los autores.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPÍTULO I.....	16
1. Planteamiento del Problema .....	16
2. Objetivos.....	17
2.1 Objetivo General.....	17
2.2 Objetivos Específicos .....	17
3. Justificación y Alcances .....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
1. Antecedentes.....	19
2. Fundamentos Teóricos.....	20
2.1. Fases del trabajo de grado.....	21
2.2. Sistema de recolección de aguas de lluvia.....	22
2.3. Descripción de la cuenca .....	28
2.4. Caudal de diseño.....	28
2.5. Transito hidráulico.....	31
2.6. Códigos y normas del proyecto .....	35

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	36
1. Tipo de Investigación .....	36
2. Diseño de la Investigación.....	37
3. Descripción General de la Investigación .....	38
CAPÍTULO IV. EJECUCIÓN DE PROYECTO.....	39
1. Identificación de las calles del proyecto.....	39
2. Perfiles de las Redes a estudiar.....	42
3. Análisis hidráulico en el sistema de recolección de aguas de lluvia .....	49
3.1. Flujo Permanente .....	50
3.2. Onda Cinemática.....	54
3.3. Contraste de resultados .....	63
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	70
CONCLUSIÓN.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del modelo de recolección de aguas de lluvia.....	21
Figura 2. Rejas Tipo INOS en Calzada. ....	22
Figura 3.Ubicacion en planta de los sumideros en la red "A".....	24
Figura 4.Ubicacion en planta de los sumideros en la red "B".....	24
Figura 5.Ubicacion en planta de los sumideros en la red "C".....	25
Figura 6.Ubicacion en planta de los sumideros en la red "D".....	25
Figura 7. Plano de planta.....	27
Figura 8. Resultados de la simulación de Autodesk SSA.....	34
Figura 9. Selección de tubería de SSA.....	35
Figura 10. Calle Sucre.....	39
Figura 11. Calle Urdaneta.....	39
Figura 12. Calle Bermudez.....	40
Figura 13. Calle Ayacucho.....	40
Figura 14. Calle Carabobo.....	40
Figura 15. Calle Entrada-Salida.....	40
Figura 16. Calle 1.....	40
Figura 17. Calle 19 de Abril.....	40
Figura 18. Calle Miranda.....	41

Figura 19. Calle Libertad.....	41
Figura 20. Calle Campo Elías.....	41
Figura 21. Calle 6 .....	41
Figura 22. Relaciones hidráulicas de secciones circulares.....	49
Figura 23. Resultados de la simulación de Autodesk SSA para la red “A” .....	55
Figura 24. Resultados de la simulación de Autodesk SSA para la red “B”.....	56
Figura 25. Resultados de la simulación de Autodesk SSA para la red “C” .....	59
Figura 26. Resultados de la simulación de Autodesk SSA para la red “D”.....	62
Figura 27. Plano de planta red "C".....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de sumideros.....	26
Tabla 2. Caudal pico de hidrograma de la red “A”.....	29
Tabla 3. Caudal pico de hidrograma de la red “B”.....	30
Tabla 4. Caudal pico de hidrograma de la red “C”.....	30
Tabla 5. Caudal pico de hidrograma de la red “D”.....	30
Tabla 6. Material de los colectores de la red “A”.....	42
Tabla 7. Material de los colectores de la red “B”.....	43
Tabla 8. Material de los colectores del sub ramal “B-6”.....	44
Tabla 9. Material de los colectores de la red “C”.....	45
Tabla 10. Material de los colectores del sub ramal “C-4”.....	46
Tabla 11. Material de los colectores del sub ramal “C-13”.....	47
Tabla 12. Material de los colectores de la red “D”.....	48
Tabla 13. Características de las tuberías de la Red "A" con flujo permanente.....	51
Tabla 14. Características de las tuberías de la Red "B" con flujo permanente.....	52
Tabla 15. Características de las tuberías de la Red "C" con flujo permanente.....	53
Tabla 16. Características de las tuberías de la Red "D" con flujo permanente.....	54
Tabla 17. Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos de la Red “A” con Onda Cinemática .....	55

Tabla 18. Características de las tuberías de la Red "A" con Onda Cinemática.....	56
Tabla 19. Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos del ramal “B” con Onda Cinemática.....	57
Tabla 20. Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos del sub ramal “B” con Onda Cinemática .....	57
Tabla 21. Características de las tuberías de la Red "B" con Onda Cinemática.....	58
Tabla 22. Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos del ramal “C” con Onda Cinemática .....	60
Tabla 23. Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos de los sub ramales en “C” con Onda Cinemática .....	60
Tabla 24. Características de las tuberías de la Red "C" con Onda Cinemática.....	61
Tabla 25. Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos de la Red “D” con Onda Cinemática .....	62
Tabla 26. Características de las tuberías de la Red “D” con Onda Cinemática.....	63
Tabla 27. Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías de la Red “A”.....	63
Tabla 28. Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías de la Red “B”.....	64
Tabla 29. Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías del subramal “B6”.....	64
Tabla 30. Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías de la Red “C”.....	65
Tabla 31. Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías del sub-ramal “C-13”.....	65

Tabla32. Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías del sub-ramal “C4”.....	66
Tabla33. Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías de la Red “D” .....	66
Tabla 34. Resumen de las características de las tuberías del inicio del sub ramal "C-4" hasta la descarga de la red principal.....	68
Tabla 35. Posible nuevo diseño de la red C.....	69

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Modelo de hidrograma de la Boca de Visita "A-6" .....	31
Gráfico 2. Perfil ramal "A" .....	42
Gráfico 3. Perfil ramal "B" .....	43
Gráfico 4. Perfil sub ramal "B-6" .....	44
Gráfico 5. Perfil ramal "C" .....	45
Gráfico 6. Perfil sub ramal "C-4" .....	46
Gráfico 7. Perfil sub ramal "C-13" .....	47
Gráfico 8. Perfil ramal "D" .....	48

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A los efectos de facilitar la comprensión del presente trabajo, se explica las abreviaturas aplicadas con el fin de establecer una mayor compenetración sobre este tema.

**BV:** Bocas de visitas

**C:** Capacidad de la tubería

**D o  $\Phi$ :** Diámetro de tubería

**F.P:** Flujo Permanente

**L:** Longitud del tramo

**O.C:** Ondas Cinemáticas

**Q:** Caudal

**Q acum:** Caudal acumulado

**S:** Pendiente del tramo

**SSA:** Storm and Sanitary Analysis

**Vp:** Velocidad de proyecto

**Vr:** Velocidad real

## INTRODUCCIÓN

Las Tejerías es la capital del Municipio Santos Michelena del estado Aragua. Dado que esta población se encuentra hidrográficamente enmarcada dentro de la cuenca del Mar Caribe, las aguas que precipitan sobre su superficie drenan hacia el río Tuy, que circunvala por completo a esta localidad de oeste a este.

Para dicho sector se diseñó un proyecto de ingeniería de detalle del sistema de recolección de aguas de lluvia, comprendiendo las obras de captación, conducción y descarga. Todo esto se calculó mediante el método racional considerando un flujo permanente que es el procedimiento más común, a nivel nacional, en el diseño de sistema de recolección de aguas de lluvia.

Esta investigación pretende implementar a través del software Autodesk Civil 3D y su complemento Storm and Sanitary Analysis la metodología denominada Onda Cinemática, para optimizar el dimensionado del sistema de recolección de aguas de lluvia en el sector del casco central de Las Tejerías y así economizar costo del proyecto.

# CAPÍTULO I

## 1. Planteamiento del Problema

Actualmente en Venezuela, el método más confiable y utilizado para la estimación de sistemas de recolección de aguas de lluvia es el Método Racional, que consiste en la utilización de hidrología para determinar el caudal instantáneo máximo de descarga de una cuenca hidrográfica.

La metodología a usar en este trabajo grado tiene como objetivo brindar una comparación entre un flujo no permanente como lo es el método de Onda Cinemática con respecto al régimen de flujo permanente para el cálculo de sistema de recolección de aguas de lluvia, a los fines de analizar la factibilidad de reducción de costos en la operatividad del proyecto. No obstante, su aplicación arroja las siguientes interrogantes:

¿Cómo funciona la Onda Cinemática y sus criterios de análisis para el escenario planteado?

¿Cuáles herramientas computacionales existentes en el mercado ayudarán a procesar la información para validar los resultados?

¿Cuándo implementar el Método de la Onda Cinemática con respecto al régimen de Flujo Permanente en un sistema de recolección de aguas de lluvia?

## **2. Objetivos**

### 2.1. Objetivo General

Analizar el diseño del sistema de recolección de aguas de lluvia en el sector del Casco Central de las Tejerías a través del método de Onda Cinemática.

### 2.2. Objetivos Específicos

2.2.1. Identificar los parámetros necesarios para la evaluación del sistema mediante la metodología de Onda Cinemática.

2.2.2. Observar el comportamiento de la metodología de Onda Cinemática en el sistema de recolección de aguas de lluvia.

2.2.3. Contrastar resultados obtenidos a través del método de Onda Cinemática con respecto al régimen de Flujo Permanente en tuberías.

## **3. Justificación y Alcances**

La presente investigación se orientó de manera específica al sector “Las Tejerías”, Estado Aragua, donde a través del método de Onda Cinemática, se analizaron los resultados para el sistema de recolección de aguas de lluvia. Estos cálculos se procesaron con las herramientas computacionales tales como Excel, Autodesk Civil 3D y Storm and Sanitary Analysis (complemento de Autodesk Civil 3D). Utilizando como información del proyecto la memoria de ingeniería de detalle del sistema de drenaje de PDVSA (Proyecto original) y un caudal máximo de entrada suministrada por las rejillas conectadas a las bocas de visita sin tomar en cuenta las curvas IDF para la corrida del proyecto.

A lo largo de esta investigación hubo limitantes como las siguientes:

- 3.1.La falta de información en el proyecto original para el análisis del método de Onda Cinemática.
- 3.2.El manejo de la herramienta de computación para el procesamiento de la información.
- 3.3.Uso de un hidrograma de entrada de agua por los sumideros para el modelo por Onda Cinemática, debido a la falta de información de la división de distintas cuencas (parcelas) usadas para el cálculo hidrológico del proyecto.

## **CAPÍTULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1. Antecedentes**

En Venezuela, de acuerdo con la revisión preliminar de varios trabajos a este tema ha sido objeto de atención por parte de pocos investigadores a nivel nacional. No obstante, algunos autores han escrito en relación con los drenajes de agua de lluvia. Es por ello que se han seleccionado como antecedentes fundamentales para esta investigación los siguientes trabajos y así tener un conocimiento general del tránsito de aguas de lluvia en tuberías.

Morales ,J y Mouzayek, J (2017), en su tesis de grado, realizó una investigación titulada “Plan maestro de drenaje de aguas de lluvia para la ciudad de Punto Fijo en el municipio Carirubana Estado Falcon”. El objetivo de esta investigación consistió en la planificación integral del drenaje como saneamiento ambiental que ocasionan las aguas de lluvia. El mismo tuvo como finalidad realizar un plan maestro de drenaje para las aguas de lluvia, donde se estudió la variabilidad del drenaje y los parámetros fisiográficos de la cuenca hidrográfica. Esta tesis de grado nos aportó conocimientos básicos sobre los sistemas de drenajes de aguas de lluvia.

Adriani, D (2016), efectuó un trabajo titulado “Diseño del sistema de captación para agua pluviales ubicado en la calle real de la comunidad San Pablito carretera vieja Caracas- Los Teques, Venezuela”. Este trabajo especial de grado tuvo como finalidad diseñar un sistema de captación de aguas de lluvia. Se analizaron los factores topográficos e hidrológicos del área en estudio, y a su vez se evaluó el estado de los elementos existentes dentro del sistema de captación de aguas de lluvia. Esta tesis de grado nos aportó conocimientos sobre el método hidrológico.

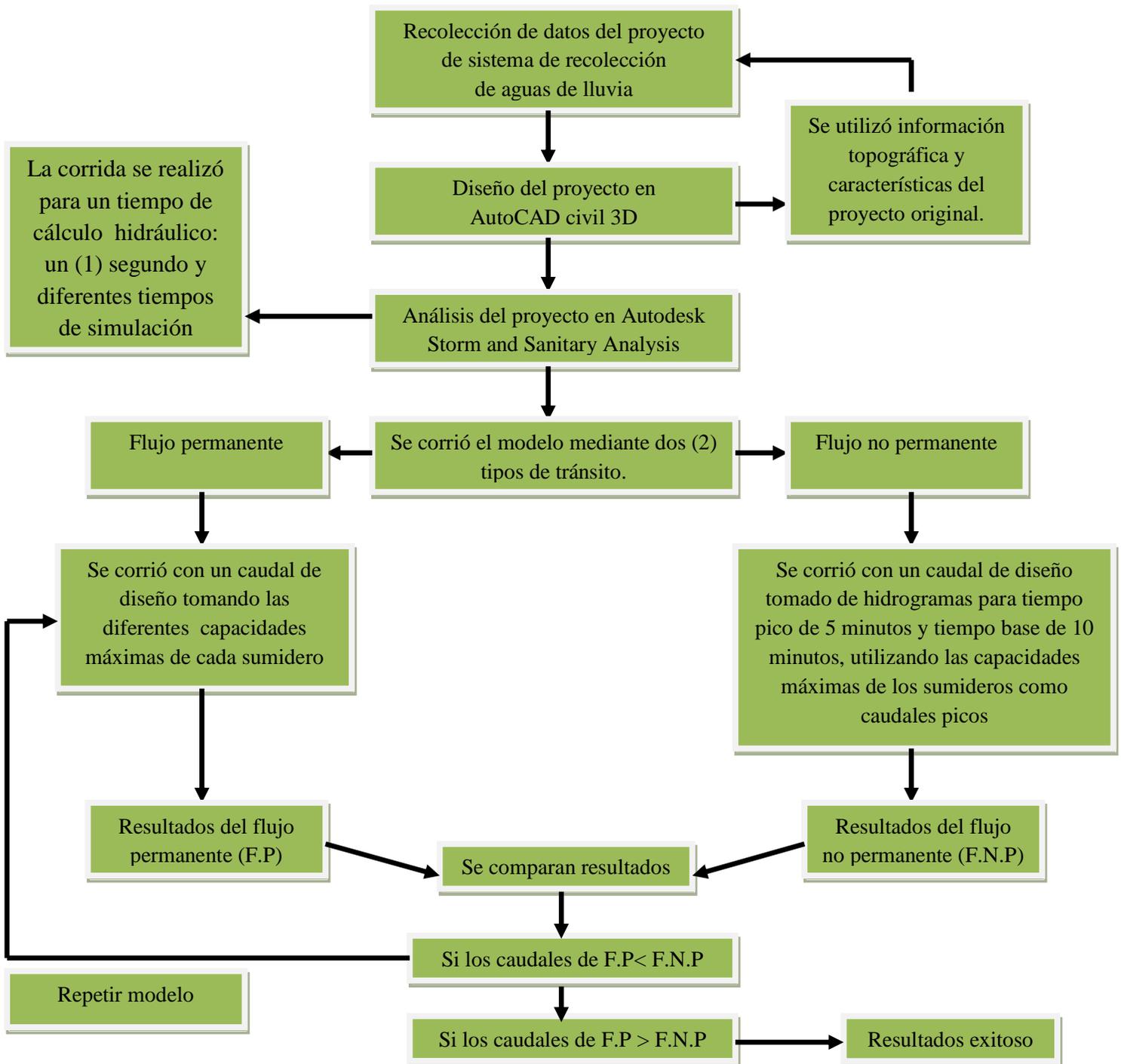
Ronnie, R y Cárdenas, F (2006), realizó su tesis denominada “Diseño de un sistemas de drenaje pluvial optimo y funcional para el sector “La Rotaria” de la parroquia Raúl Leoni de Maracaibo. Estado Zulia.” Esta tesis tuvo como objeto diseñar un sistema de drenaje pluvial óptimo y funcional, analizando los elementos estructurales. Esta tesis nos aportó conocimientos básicos de los elementos estructurales de un sistema de drenaje.

Jean, R y María, M (2013), realizó su tesis denominada “Diseño hidráulico de sistemas de drenaje dual a través del modelo SWMM”. Este trabajo especial de grado tuvo como finalidad de demostrar que el método dinámico es viable y factible de aplicar puesto que simula adecuadamente el flujo en calles y en colectores, se obtienen diseños más económicos y permite el análisis de múltiples escenarios de una manera rápida. Esta tesis nos aportó conocimientos sobre otras metodologías de diseño de un sistema de drenaje.

## **2. Fundamentos Teóricos**

El fundamento de este trabajo de grado es el de contrastar el tránsito hidráulico que fue diseñada con el criterio de Flujo permanente, con un regimen de Flujo no permanente como lo es el método de Onda Cinemática. En la práctica se diseña con el criterio de flujo permanente porque es más sencillo de calcular. El uso del criterio de flujo no permanente implica usar métodos que son más complicados matemáticamente y que requieren recursos de computación, eso era una verdad hace unas décadas atrás, hoy en día hay decenas de programa que permiten resolver Onda Cinemática muy fácilmente como es la herramienta computacional de Autodesk Civil 3D y su complemento Storm and Sanitary Analysis, el cual se utilizara en el modelaje de este proyecto, por eso vale la pena entonces usar este método y ver cuál es la ganancia en diseño de sistemas de recolección de aguas de lluvia.

## 2.1. Fases del trabajo de grado



Para un mejor entendimiento del referido trabajo especial de grado, es oportuno presentar de forma clara y concisa, la información básica sobre el proyecto de la manera siguiente:

## 2.2. Sistema de recolección de aguas de lluvia

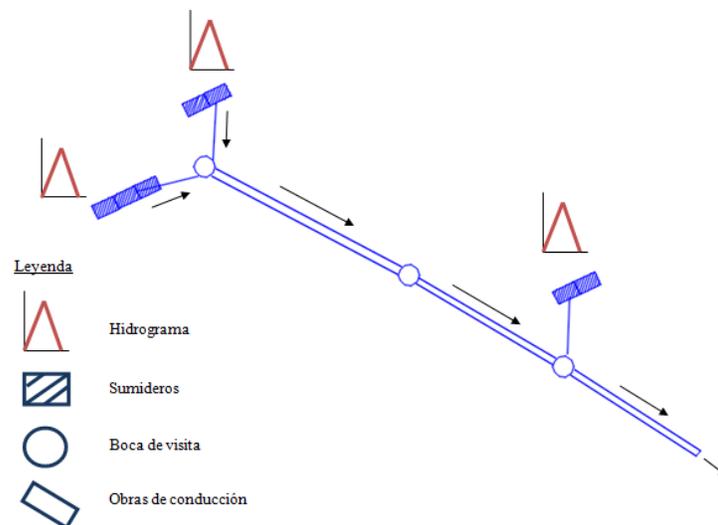
Es pertinente comenzar definiendo un sistema de recolección de aguas de lluvia, como un conjunto de obras y elementos que permiten la captación, conducción y descarga de las aguas de lluvia de forma controlada, con el fin de evitar inundaciones que puedan ocasionar pérdidas humanas o materiales.

Dichas obras están conformadas por:

- Obras de captación
- Obras de conducción
- Obras de descarga

Se presenta a continuación un esquema gráfico del modelo de recolección de aguas de lluvia utilizado en este proyecto.

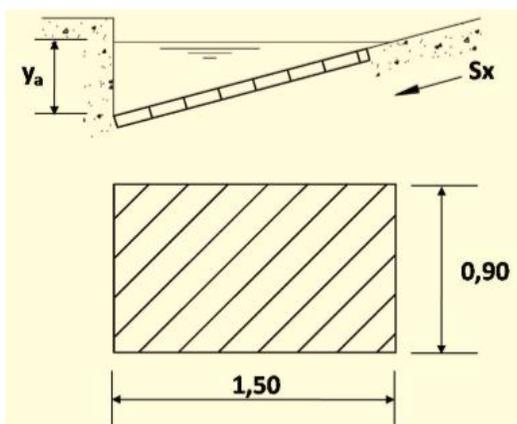
**Figura N°1:** Esquema del modelo de recolección de aguas de lluvia



Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

Las obras de captación son todas aquellos elementos que se utilizan para reunir y disponer adecuadamente el aguade lluvia en las obras de conducción. Este proyecto consta de dieciocho (18) sumideros de rejas tipo INOS de 1,50 x 0,90m orientados en calzada (Ver figura 2) y diez (10) sumideros de rejas tipo INOS identificadas como S-1, S-8, S-16, S-19, S-20, S-22, S-23, S-26, S-27 y S-28, que se encuentran extendidas a todo lo ancho de la calzada.

**Figura N°2.** Rejas Tipo INOS en Calzada

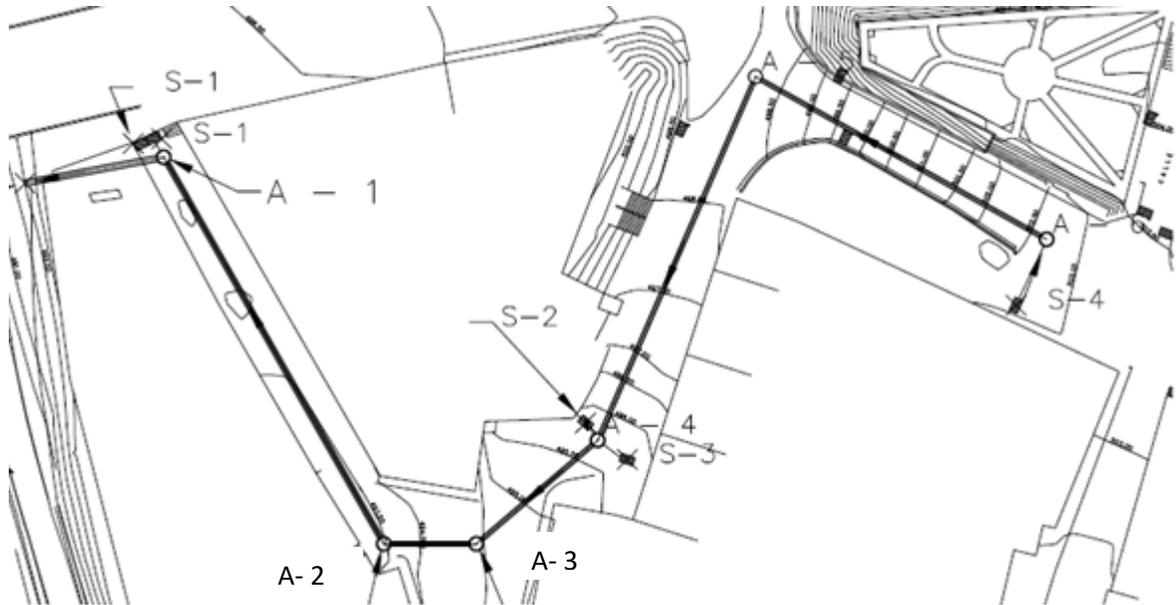


**Fuente:** Ing. Raúl Cábrita e Ing. Mario Dubois (2010)

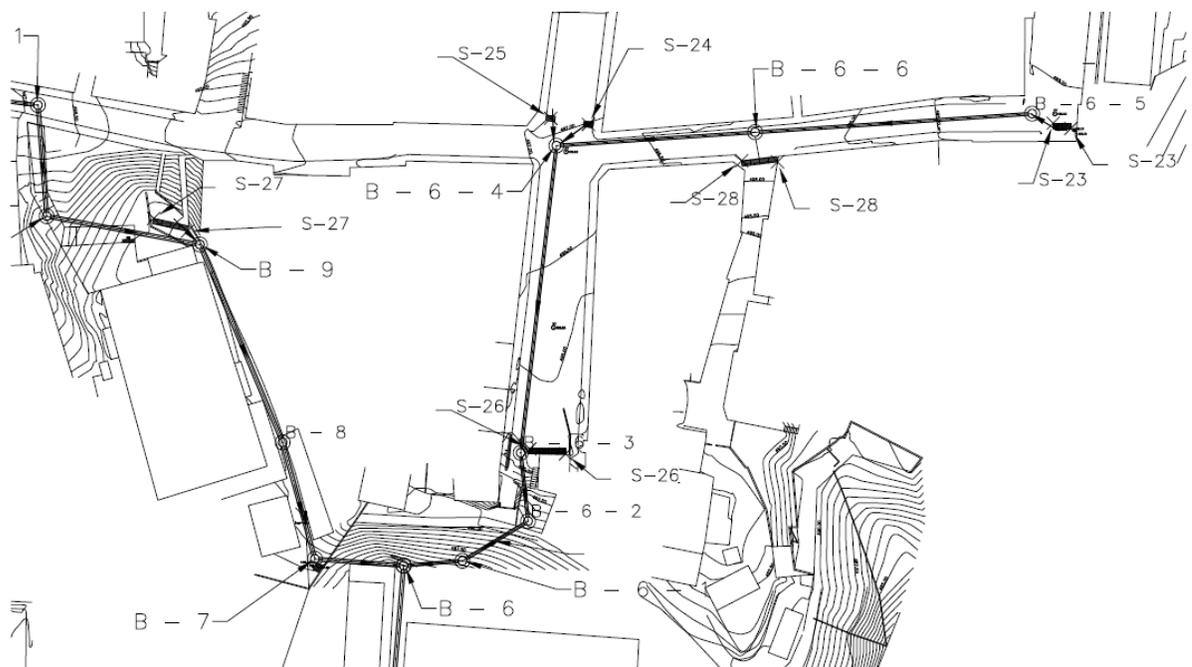
La capacidad de las calles y avenidas para conducir las aguas de lluvia que drenan hacia ellas se estimó considerando un ancho de inundación máximo de 1,5m sobre la calzada, el cual produce una altura de aproximación a los sumideros de 3 cm.

La ubicación de las obras de captación (sumideros) fue definida de acuerdo a los resultados obtenidos para distancia entre sumideros, que fueron estimadas en el proyecto original de PDVSA para cada una de las calles y avenidas de esta población. Estos sumideros se localizaron tanto en los sitios en los que fueron requeridos por norma (contracciones en los anchos de las calles, puntos bajos y estribos de puentes), como en los lugares en los que el caudal escurre superficialmente por la calzada. La orientación en posición normal del sumidero fue escogida dado a que ofrece un mejor comportamiento hidráulico del sumidero, a la vez que produce un aumento de la distancia entre sumideros, lo que trae como resultado la disminución de la cantidad de sumideros a lo largo del sistema. Estos se mostraran en las siguientes figuras:

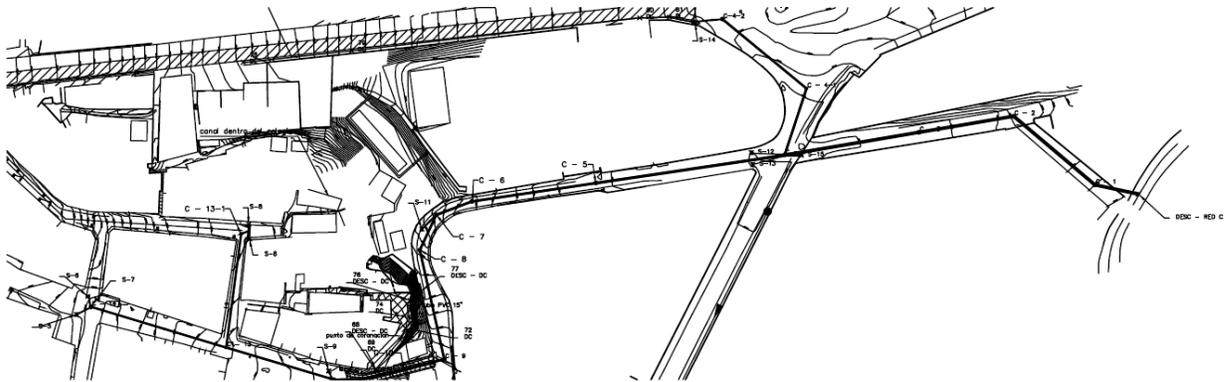
**Figura N°3: Ubicación en planta de los sumideros en la red “A”**



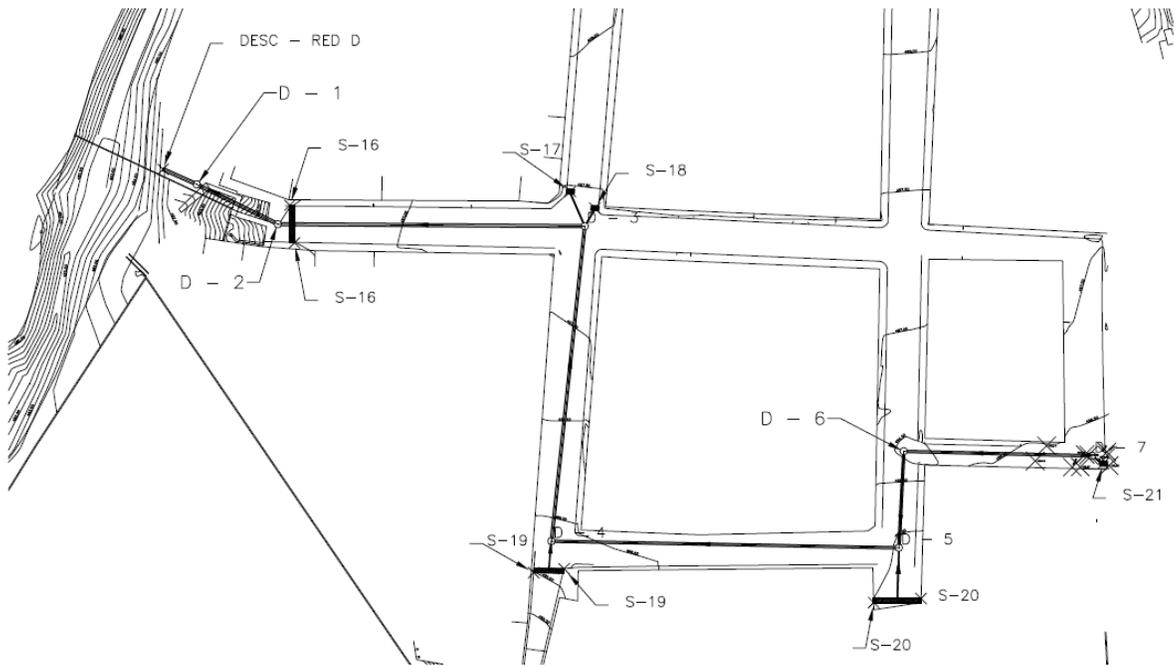
**Figura N°4: Ubicación en planta de los sumideros en la red “B”**



**Figura N°5:** Ubicación en planta de los sumideros en la red “C”



**Figura N°6:** Ubicación en planta de los sumideros en la red “D”



**Fuente:** Ing. Raúl Cábrita e Ing. Mario Dubois (2010)

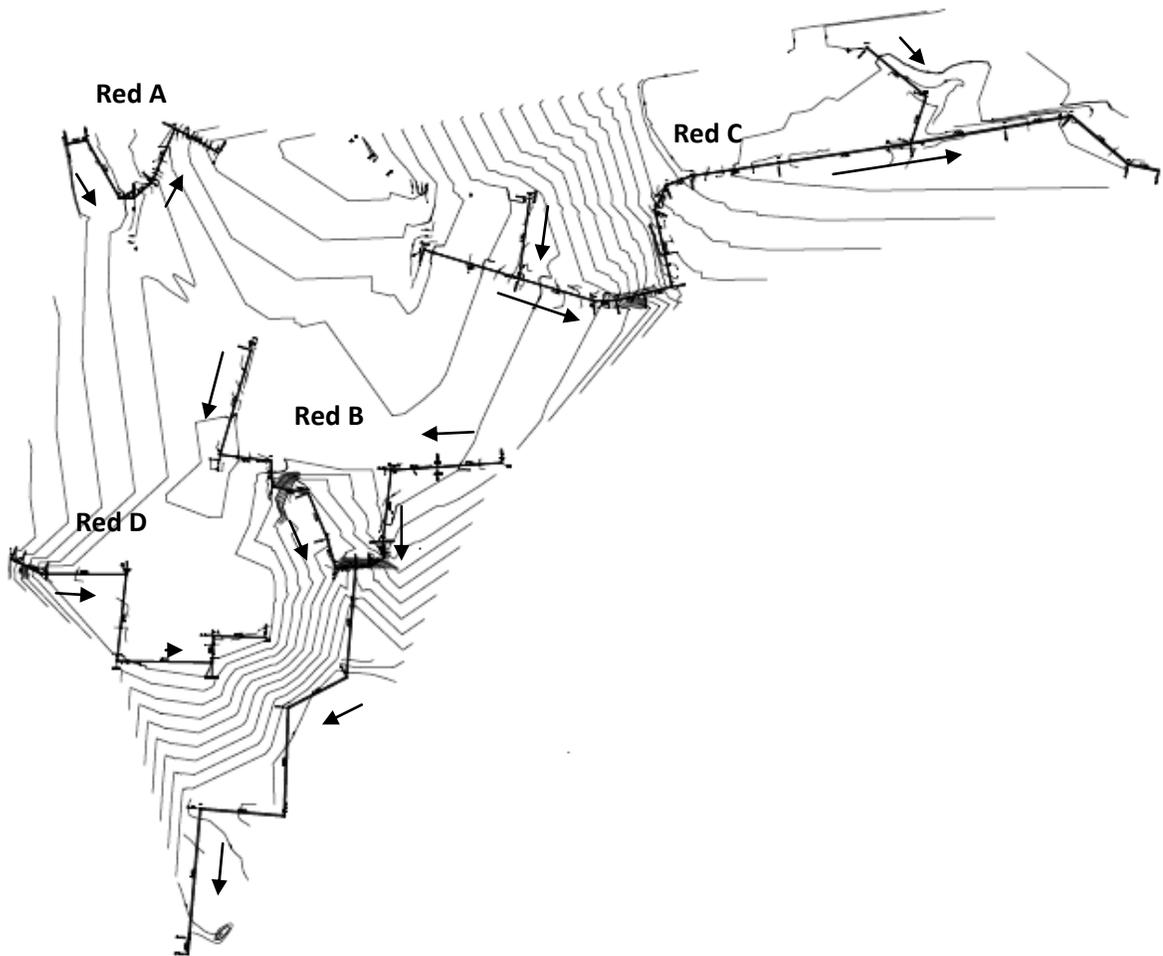
**Tabla N°1:** Ubicación de sumideros

Nombre del sumidero	Este	Norte	Nombre del sumidero	Este	Norte
"S-1"	699950.71	1134086.05	"S-16"	699924.10	1133774.27
"S-1"	699953.80	1134086.53	"S-16"	699925.00	1133766.77
"S-2"	699999.64	1134055.89	"S-17"	699979.78	1133766.99
"S-3"	700004.13	1134051.92	"S-18"	699984.63	1133773.68
"S-4"	700046.17	1134068.57	"S-19"	699972.51	1133701.36
"DESC-RED A"	699939.02	1134081.77	"S-19"	999978.53	1133702.09
"DESC-RED C"	700730.84	1134062.63	"S-20"	700039.97	1133695.39
"S-5"	700191.15	1134001.37	"S-20"	700049.36	1133696.19
"S-6"	700196.89	1134010.59	"S-21"	700085.56	1133722.98
"S-7"	700201.47	1134009.02	"DESC-RED B"	700027.19	1133494.48
"S-8"	700278.56	1134047.38	"S-22"	700075.87	1133936.84
"S-8"	700278.96	1134039.84	"S-27"	700112.49	1133831.19
"S-9"	700319.27	1133972.66	"S-22"	700071.79	1133938.93
"S-10"	700319.78	1133965.25	"S-28"	700211.78	1133842.87
"S-11"	700366.64	1134044.74	"S-23"	700258.14	1133849.38
"S-12"	700534.12	1134083.62	"S-23"	700261.14	1133848.48
"S-13"	700534.91	1134077.68	"S-24"	700179.96	1133849.18
"S-14"	700505.48	1134149.99	"S-25"	700173.60	1133850.20
"S-15"	700559.51	1134082.33	"S-26"	700170.11	1133794.52
"DESC-RED D"	699898.92	1133781.41	"S-26"	700176.11	1133793.72
			"S-27"	700106.82	1133833.36
			"S-28"	700205.72	1133843.05

**Fuente:** Ing. Raúl Cábrita e Ing. Mario Dubois (2010)

Las obras de conducción tienen como función, llevar en forma segura el flujo hacia sitios localizados aguas abajo, donde el efecto adverso de la crecida se minimice. Estas constan de cuatro (4) redes de tuberías de drenaje, nombradas alfabéticamente de la letra "A" a la "D". El trazado de las tuberías de drenaje se ha establecido de acuerdo a los sentidos de escurrimiento superficial de las aguas de lluvia; y que a su vez, fueron determinados por la información topográfica de la zona y por la disposición de las pendientes longitudinales de los tramos de vialidad existentes, en la mayoría de los casos de forma tal que la tubería se encuentre alineada con la directriz de la vialidad bajo la que se encuentra.

**Figura N°7:** Plano de planta



**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

Los tubos que conforman este sistema de conducción están fabricados de Policloruro de Vinilo (PVC) o Hierro Fundido Dúctil, según sea requerido (PVC para velocidades de flujo menores o iguales a 4,5 m/s, e hierro fundido para velocidades por encima de este valor). A su vez, los diámetros utilizados varían entre 15" y 42" según sea el caudal calculado para cada uno de los tramos de tubería.

Las propiedades de los materiales previstas en el diseño son:

- Policloruro de Vinilo (PVC):  
Coef. de Manning:  $n = 0,010$
- Hierro fundido dúctil:  
Coef. de Manning:  $n = 0,012$

Finalmente, la locación de los puntos de descarga del sistema fue determinada convenientemente de acuerdo a la cercanía de las redes de drenaje que comprenden el sistema con respecto a la quebrada al este (descarga de las Redes “A” y “D”) y el cauce del río Tuy (descarga de la Redes “B” y “C”), ubicado al suroeste del área de estudio. En cuanto a las cotas de los puntos de descarga, se establecieron lo más superficial posible, debido al desconocimiento de los niveles de aguas para períodos de retornos de 5 años en las zonas de descarga.

### **2.3. Descripción de la cuenca**

La cuenca que drena hacia los distintos puntos de captación ubicados a lo largo y ancho de la población cubre un área total de 18,675 hectáreas. Las pequeñas cuencas que drenan hacia las calles, y que juntas conforman la cuenca en estudio registran valores de áreas comprendidos entre un mínimo de 0,011 hectáreas y un máximo de 2,19 hectáreas. Las calles y avenidas de esta población presentan pendientes que varían entre 0,20 y 11,13 %; esto de acuerdo a lo contenido en el levantamiento topográfico suministrado.

### **2.4. Caudales de diseño**

Los caudales de diseño fueron estimados por los Ingenieros encargados del proyecto original con base en valores obtenidos en el estudio hidrológico, las obras fueron diseñadas de modo de garantizar su integridad y protección frente a los caudales pico.

Para la definición de los caudales de diseño de las obras de conducción, se consideraron valores correspondientes a 5 años de período de retorno, efectuando el diseño de manera tal que para esta condición, se prevé una capacidad suficiente en las tuberías para operar cabalmente al momento de ocurrir el evento meteorológico de diseño.

Un hidrograma es una gráfica que muestra la variación en el tiempo del caudal de agua en un sitio dado, por esta razón, estos representan la manera ideal de modelar la no permanencia del flujo a lo largo del tiempo. En este proyecto se utilizaron hidrogramas para simular el ingreso de los caudales de diseño hacia las distintas redes del sistema, simulando con esto el ingreso de un flujo no permanente al mismo. Estos hidrogramas poseen caudales pico iguales a los caudales máximos captados por los sumideros. En el proyecto original el estudio de los tiempos de concentración de las distintas cuencas arrojan valores por debajo de lo establecido en las normas (5 minutos) razón por la cual se asumió como tiempo de concentración para todas las cuencas que conforman el sistema un tiempo de 5 minutos. Al tratarse de cuencas urbanas, las normas establecen que la duración mínima de la lluvia debe ser igual o mayor al tiempo de concentración de la cuenca, tomando en cuenta esto, se tomó como tiempo al pico de los diferentes hidrogramas que conforman el sistema un tiempo igual a 5 min, con un tiempo base de dos (2) veces el tiempo al pico es decir 10 minutos.

En las siguientes tablas se presentan los valores de los caudales picos de los hidrogramas de entrada al sistema:

Red A

**Tabla N°2:** Caudal pico del hidrograma de la red “A”

<b>BV</b>	A-6	A-4	A-1
<b>Caudal pico de hidrograma (LPS)</b>	102	56	371

Red B

**Tabla N°3:** Caudal pico del hidrograma de la red “B”

<b>BV</b>	B-13	B-9	B-6-6	B-6-4	B-6-3
<b>Caudal pico de hidrograma (LPS)</b>	157	273	158	195	42

Red C

**Tabla N°4:** Caudal pico del hidrograma de la red “C”

<b>BV</b>	C-14	C-13-1	C-13	C-7	C-4-2	C-4
<b>Caudal pico de hidrograma (LPS)</b>	157	211	176	290	246	436

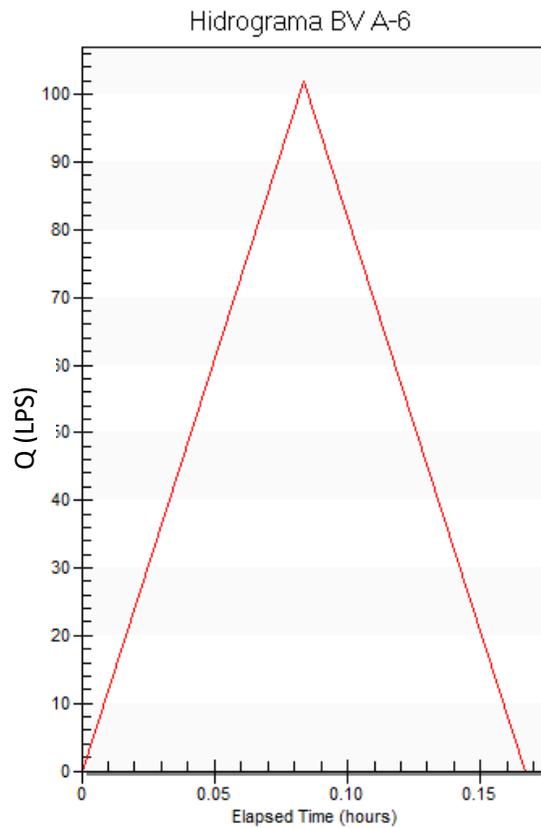
Red D

**Tabla N°5:** Caudal pico del hidrograma de la red “D”

<b>BV</b>	D-7	D-5	D-4	D-3	D-2
<b>Caudal pico de hidrograma (LPS)</b>	83	178	183	247	125

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Grafico N°1:** Modelo de hidrograma de la Boca de Visita “A-6”



**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

## 2.5. Tránsito hidráulico

Como se especifico previamente, el objetivo de este trabajo especial de grado consiste en analizar el sistema de recolección de aguas de lluvia del sector en cuestión, utilizando como método de tránsito hidráulico en tuberías el método de Onda Cinemática, el cual es necesario explicar afines de un mejor entendimiento de esta investigación.

Un modelo de tránsito distribuido de creciente (T.D.C), permite las estimaciones de los caudales o niveles de agua en puntos importantes de sistemas de canales por medio de ecuaciones diferenciales parciales (las ecuaciones de Saint-Venant para flujo unidimensional) como función del espacio y tiempo.

La ventaja del T.D.C es que supone un flujo permanente no uniforme, calculando así, el caudal y el nivel de agua simultáneamente. Los modelos de T.D.C, pueden utilizarse para describir la transformación de lluvia de escorrentía en una cuenca para producir el hidrograma de flujo a la salida de esta, y luego tomar este hidrograma como la información de entrada en el extremo de la corriente agua arriba de un río o un sistema de tuberías y tránsito hacia el extremo de la corriente aguas abajo.

### Resumen de las ecuaciones de Saint- Venant

#### Ecuación de continuidad

- Forma conservativa

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

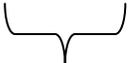
- Forma no conservativa

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

#### Ecuación de momentum

- Forma conservativa

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_F) = 0$$

				
Término de aceleración local	Término de aceleración convectiva	Término de fuerza de presión	Término de fuerza gravitacional	Término de fuerza de fricción

- Forma no conservativa (elemento de ancho unitario)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_F) = 0$$

Nota: despreciando flujo lateral, cortante por viento, perdidas por corrientes de Eddy y suponiendo que  $\beta=1$ .

La ecuación de momentum consta de términos para los procesos físicos que gobiernan el flujo de momentum. Estos términos son: término de aceleración local, el cual describe el cambio en el momentum debido al cambio de velocidad con el tiempo; el término de la aceleración convectiva, el cual describe el cambio en el momentum debido al cambio de la velocidad a lo largo del canal; el término de fuerza de presiones, proporcional al cambio de la profundidad del agua; el término de fuerza gravitacional, proporcional a la pendiente del lecho  $S_o$  y el término de fuerza de fricción, proporcional a la pendiente de fricción  $S_F$ .

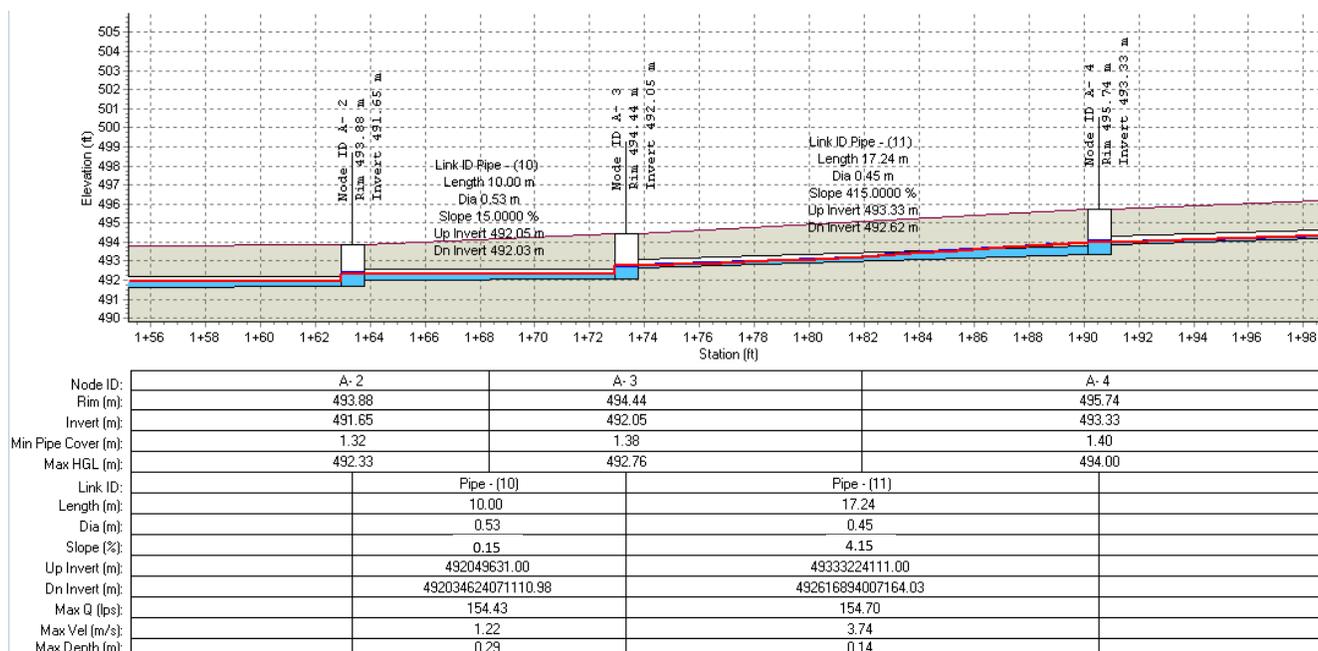
El modelo de tránsito distribuido más simple es el modelo de Onda Cinemática, el cual no tiene en cuenta los términos de aceleración local, aceleración convectiva y presión en la ecuación de momentum, es decir, supone que  $S_o=S_F$  y que las fuerza de fricción y las fuerzas gravitacionales se balancean unas con otras. Los movimientos de la onda se describen principalmente por la ecuación de continuidad. El nombre cinemática se refiere al movimiento sin tener en cuenta la influencia de la masa y la fuerza.

Para el montaje del modelo del sistema de recolección de aguas de lluvia del sector, se utilizo como software computacional el AutoCAD Civil 3D, el cual es una herramienta de cálculo y diseño muy útil en el desarrollo de los urbanismos, carreteras, movimiento de tierras, cálculo topográfico, replanteo de información, solución BIM (Modelado de Información de Edificaciones) para ingeniería civil, entre otros. Ahora bien, para el análisis hidráulico de este modelo se utilizo el Storm and Sanitary Analysis (complemento del AutoCAD Civil 3D) el cual ayudo a analizar y a diseñar el sistemas de recolección de aguas de lluvia con todos sus componentes. De este modo, contribuye a mejorar la productividad general del proyecto y a incrementar la capacidad de ingeniería.

El proyecto se corrió mediante dos metodologías de tránsito, el primero considerando un flujo permanente, el cual en práctica es el más sencillo de calcular y el segundo a través de un flujo no permanente o conocido como método de onda cinemática, que debido por su complejidad es necesario el uso de herramientas computacionales.

Los resultados arrojados por el programa se visualizan de la siguiente manera:

**Figura N°8: Resultados de la simulación de Autodesk SSA**



**Fuente: Fayad y Palumbo (2018)**

En el caso de necesitar conocer datos más precisos sobre cada tramo de tubería, esta la opción de selección de tubería (Figura N°10), que nos arroja las características principales tales como la capacidad de diseño, la capacidad en uso, la capacidad adicional, máximas velocidades en el tramo y nos informa si dicho diámetro cumple con las necesidades del proyecto.

**Figura N°9: Selección de tubería de SSA**

The screenshot shows a software interface for pipe selection. It includes sections for Shape (Pipe selected), Properties (1 barrel, 450.0 mm diameter), Physical properties (Length: 36.04576333 m, Inlet elevation: 500.90310006 m, Outlet elevation: 496.16308218 m, Manning's roughness: 0.010), Flow properties (Entrance losses: 0.5, Exit/bend losses: 0.5, Additional losses: 0, Initial flow: 0 lps, Maximum flow: 0 lps), Analysis summary (Constructed slope: 0.1315 m/m, Design flow capacity: 1344.12 lps, Peak flow during analysis: 101.41 lps, Additional flow capacity: 1242.71 lps, Max velocity attained: 5.70 m/sec, Max/design flow ratio: 0.08, Max/total depth ratio: 0.19, Total time surcharged: 0 min), and Connectivity (From Inlet: A-6, To Outlet: A-5, Invert elevations: 500.90310006 m and 495.6627015 m).

ID /	From Node	To Node	Shape	Length	Height/ Diameter	Inlet Elev.	Outlet Elev.	Manning's Roughness	Entrance Losses	Exit/Bend	
1	Pipe - (10)	A- 3	A- 2	Circular	10.00461	525.0	492.049	492.034	0.010	0.5	0.5
2	Pipe - (11)	A- 4	A- 3	Circular	17.23727	450.0	493.332	492.616	0.010	0.5	0.5
3	Pipe - (12)	A- 5	A- 4	Circular	42.78079	450.0	495.662	493.887	0.010	0.5	0.5
4	Pipe - (13)	A- 6	A- 5	Circular	36.04576	450.0	500.903	496.163	0.010	0.5	0.5
5	Pipe - (14)	D- 1	Out-1Pip	Circular	7.365253	630.0	483.774	483.525	0.012	0.5	0.5
6	Pipe - (15)	D- 2	D- 1	Circular	17.92089	630.0	491.337	483.776	0.012	0.5	0.5

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

## 2.6. Códigos y normas del proyecto

En el desarrollo del proyecto y en la ejecución de la obra deben seguirse las normas, especificaciones y lineamientos establecidos en los siguientes códigos y normas técnicas:

- Normas e Instructivos para el Proyecto de Alcantarillados, INOS, 1989.
- Especificaciones de Construcción de Obras de Acueductos y Alcantarillados, INOS, 1976.

## **CAPÍTULO III.**

### **MARCO METODOLÓGICO**

El marco metodológico de la investigación, hace referencia a métodos, instrumentos, tipo de estudio, diseño de la investigación; universo o población; y muestra. Los instrumentos y técnicas de recolección de datos, la medición hasta la codificación, análisis y presentación de los datos. (Balestrini, 2006, p. 33). Por otra parte, fundamentados en lo señalado por Arias (2006, p.110), “la metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación.”, razón por la cual hace referencia al “como” se realizó el estudio para responder al problema que se planteó; en síntesis, la metodología de una investigación se refiere a la descripción de las unidades de análisis, las técnicas utilizadas en la recolección de datos, los instrumentos aplicados, los procedimientos y las técnicas de análisis.

#### **1. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se realizó de acuerdo a la naturaleza y características del problema planteado en esta investigación. En función a sus objetivos, se incorpora el tipo de investigación denominado Proyecto Factible, el cual según Balestrini (2006, p.8) indica que “este tipo de estudios prospectivos en el caso de las Ciencias Sociales, sustentados en un modelo operativo, de una unidad de acción, están orientados a proporcionar respuestas o soluciones a problemas planteados en una determinada realidad: organizacional, social, económica, educativa, etc.”

Por consiguiente, se puede decir que esta modalidad de investigación al efectuarse en un modelo operativo como es el Proyecto de PDVSA en el casco central del sector de Las Tejería bajo todas sus premisas indudablemente encaja en el tipo de investigación proyectiva y de modalidad factible, en donde primeramente se hizo un diagnóstico de la situación actual con base en el método racional de flujo permanente y posteriormente, fueron considerados los resultados para la propuesta de un sistema de drenaje con el método racional con onda cinemática, con miras de unificar los criterios y precisar su efectividad en la ejecución.

## **2. Diseño de la Investigación**

Balestrini (2006, p.131) señala “el diseño de la investigación se define como el plan global, que guía el proceso de recolección, procesamiento y análisis de los datos dentro de un estudio; a partir del cual se integran y relacionan los objetivos, con las técnicas de recolección de los datos y los análisis previstos”. En consecuencia, se puede señalar que el diseño de investigación hace referencia a la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio. Según lo expuesto por Sabino (2007), indica que:

El diseño de campo son los datos de interés que se recogen directamente de la realidad a través del trabajo concreto del investigador, razón por la cual se basó en informaciones o datos primarios; su valor reside en que a través de ellos el investigador puede cerciorarse de las verdaderas condiciones en que se han conseguidos sus datos (p.67).

En relación con estos conceptos, se establece que el Diseño de esta investigación correspondió a la de Campo, y según Arias (2006, p.33) indica que “la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupos de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variables dependientes).” por la cual esta investigación es de carácter experimental, por que se realizó un análisis y descripción de las variables tomando en cuenta su interrelación e incidencia, apoyándose con la revisión de las fuentes bibliográficas como libros, tesis de grado, manuales, normas e internet.

### **3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

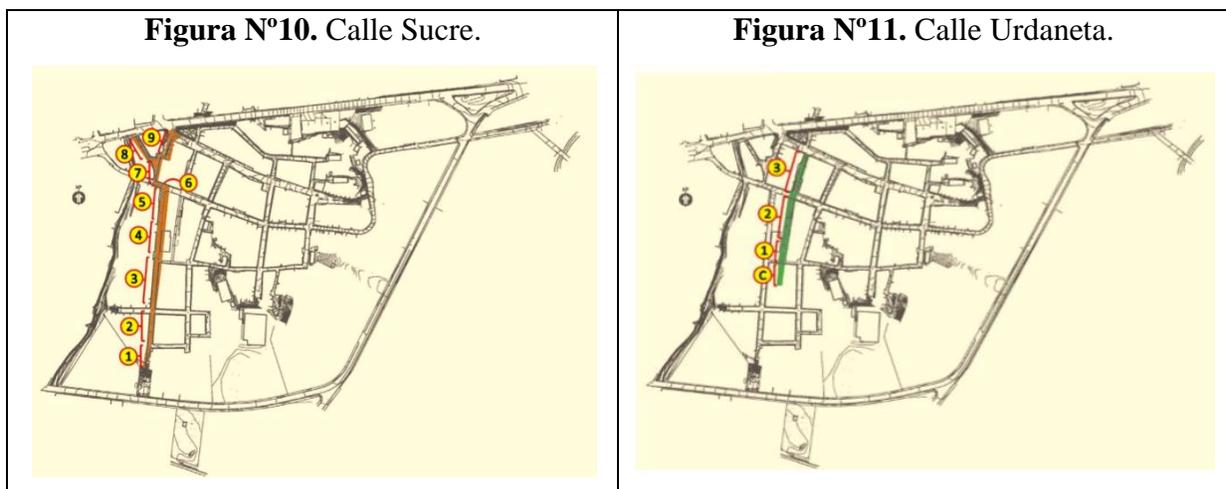
De la naturaleza del estudio y en función de los datos que se requieren tanto en el momento teórico de la investigación, como el metodológico, se desprenden las denominadas Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos, que según Arias (2006, p.69) señala que se “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. En esta investigación se suministró sus planos, la memoria descriptiva y de cálculo del proyecto original, en la cual se engloba todo el trabajo de grado.

## CAPÍTULO IV.

### EJECUCIÓN DEL PROYECTO

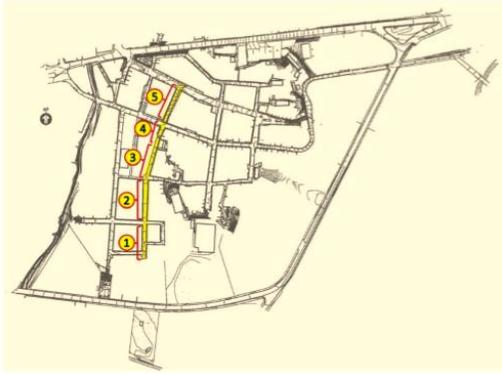
#### 1. Identificación de las calles del proyecto

En las figuras mostradas a continuación se identificarán cada uno de los tramos de las calles en las cuales se enfoca este proyecto de recolección de aguas de lluvias:

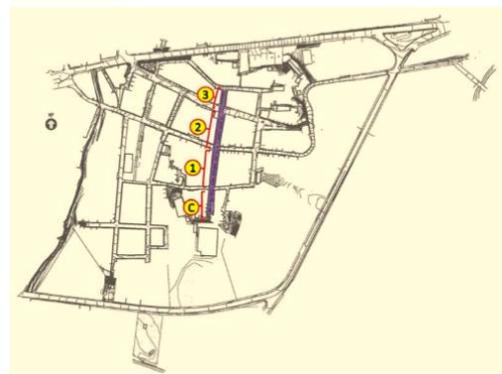


**Fuente:** Ing. Raúl Cábrita e Ing. Mario Dubois (2010)

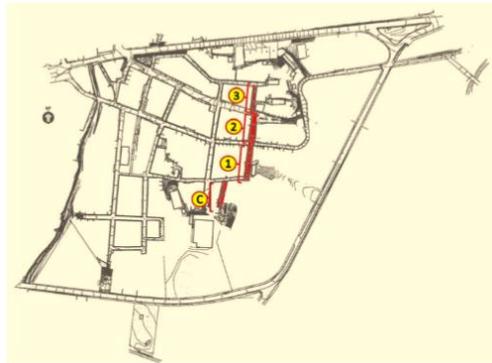
**Figura N°12. Calle Bermudez**



**Figura N°13. Calle Ayacucho**



**Figura N°14. Calle Carabobo.**



**Figura N°15. Calle Entrada-Salida**



**Figura N°16. Calle 1.**



**Figura N°17. Calle 19 de Abril.**

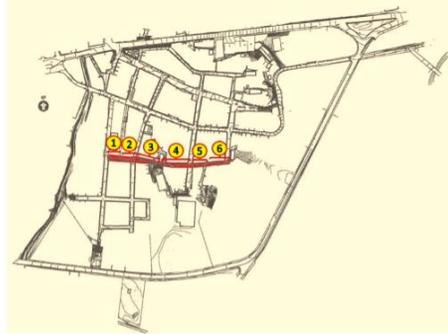


**Fuente:** Ing. Raúl Cábrita e Ing. Mario Dubois (2010)

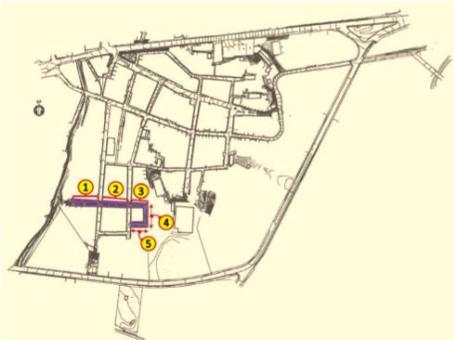
**Figura N°18. Calle Miranda.**



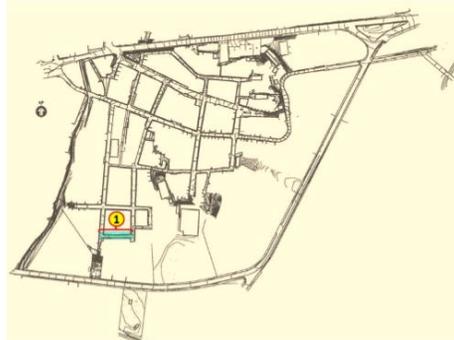
**Figura N°19. Calle Libertad.**



**Figura N°20. Calle Campo Elías.**



**Figura N°21. Calle 6**

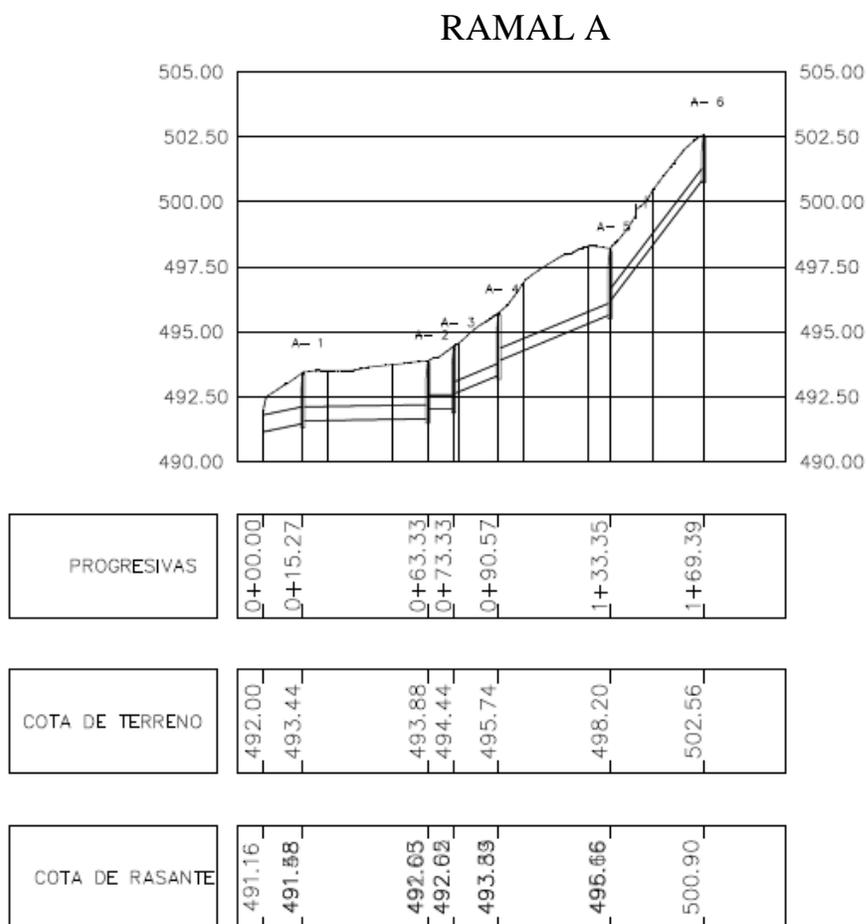


**Fuente:** Ing. Raúl Cábrita e Ing. Mario Dubois (2010)

## 2. Perfiles de las Redes a estudiar

A continuación se mostrará los perfiles de las redes que conforman el sistema de drenaje del casco central del sector de Tejería:

**Gráfico N°2: Perfil ramal “A”**



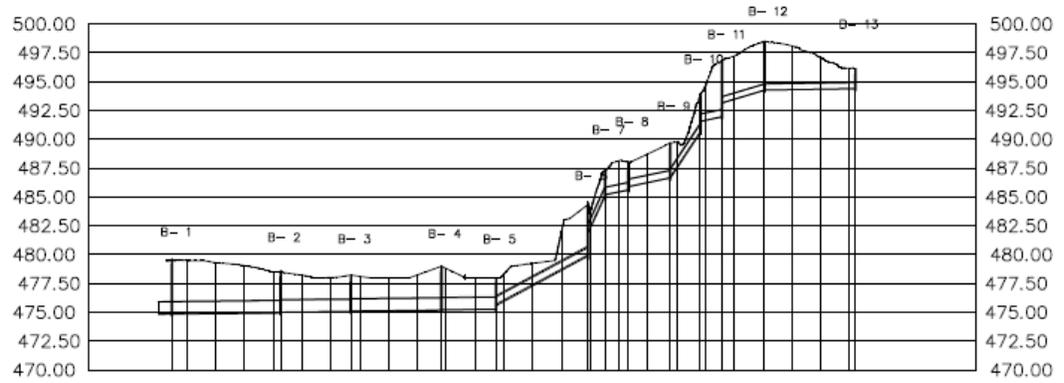
**Tabla N°6: .Material de los colectores de la red “A”.**

TRAMO	A6 a A5	A5 a A4	A4 a A3	A3 a A2	A2 a A1	A1 a DESC
MATERIAL	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Gráfico N°3: Perfil ramal “B”**

**RAMAL B**



PROGRESIVAS	0+11.83	1+06.18	1+67.22	2+45.70	2+93.17	3+72.87	3+87.83	4+08.19	4+44.29	4+70.52	4+89.27	5+26.26	6+05.02
COTA DE TERRENO	479.50	478.48	478.22	479.00	478.00	484.50	487.24	488.01	489.69	493.89	496.81	498.50	496.14
COTA DE RASANTE	474.85 <del>474.86</del>	475.92	475.08 <del>475.08</del>	475.12	475.66	489.92 <del>485.20</del>	485.62 <del>485.62</del>	486.67	490.69 <del>490.69</del>	493.96 <del>493.96</del>	494.28	494.40	

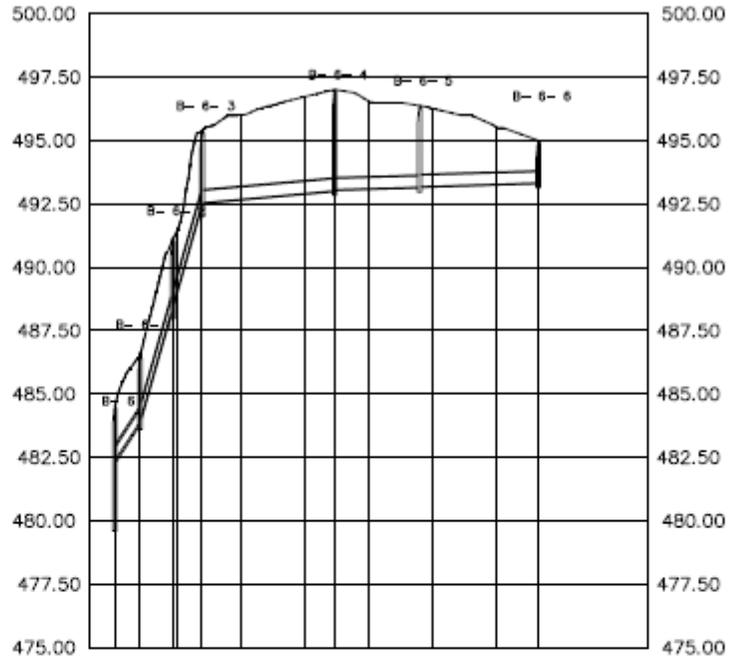
**Tabla N°7: Material de los colectores de la red “B”.**

TRAMO	B13 a B10	B10 a B9	B9 a B7	B7 a B5	B5 a DESC
MATERIAL	PVC	HFD	PVC	HFD	PVC

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Gráfico N°4:** Perfil sub-ramal “B-6”

**SUB RAMAL B-6**



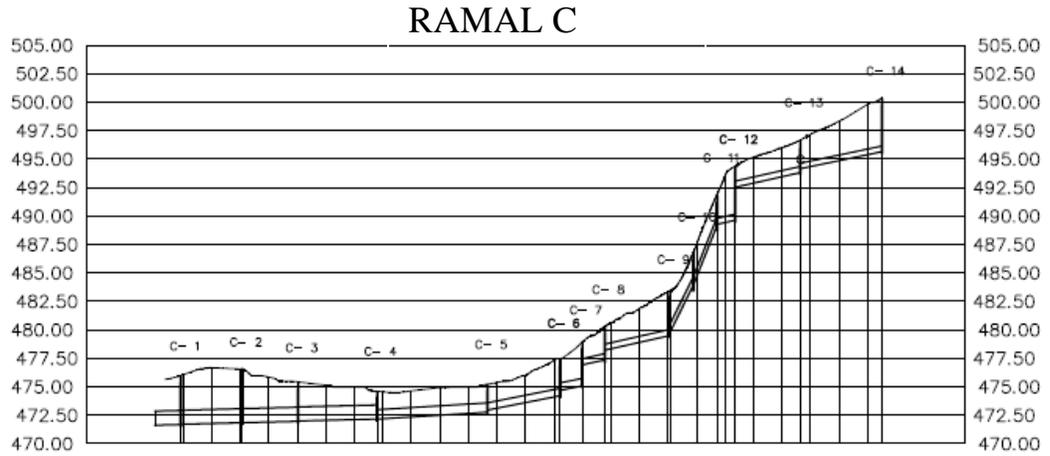
PROGRESIVAS	0+00.00	0+09.94	0+22.84	0+34.44	0+86.52	1+20.05	1+66.77
COTA DE TERRENO	484.50	486.50	491.13	495.39	497.00	496.37	495.00
COTA DE RASANTE	482.37	483.89	488.45	492.54	493.05	493.15	493.31

**Tabla N°8:** .Material de los colectores del sub ramal “B-6”.

TRAMO	B-6-6 a B-6-3	B-6-3 a B6
MATERIAL	PVC	HFD

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Gráfico N°5: Perfil ramal “C”**



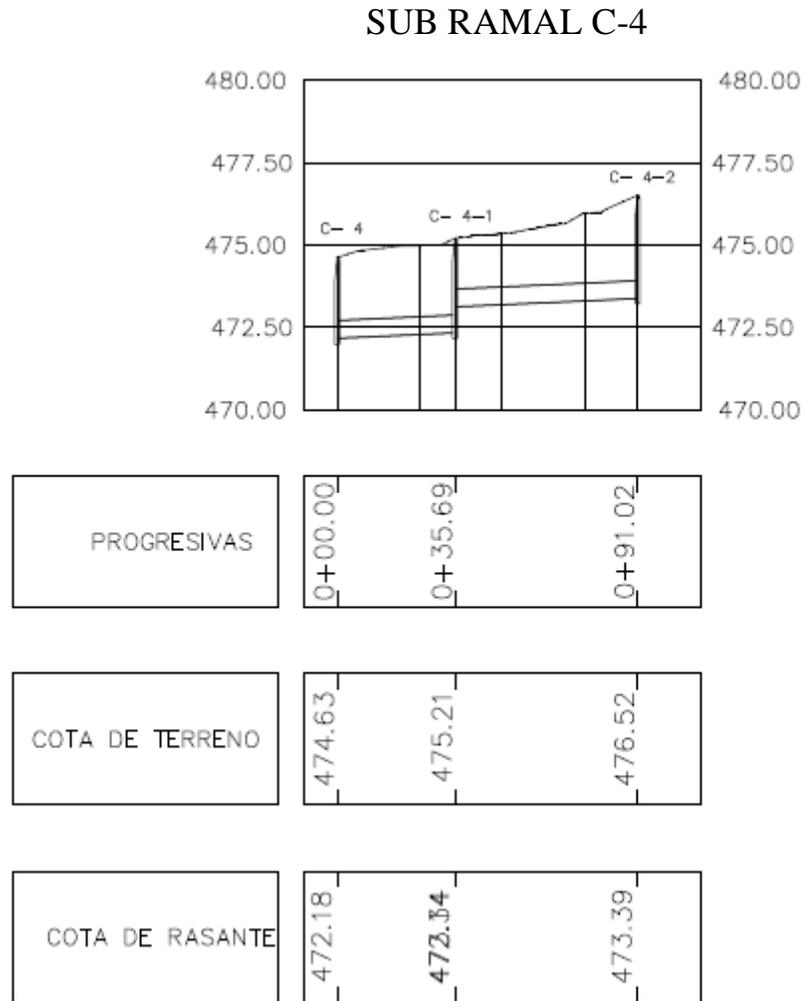
PROGRESIVAS	0+22.57	0+76.67	1+25.52	1+94.77	2+91.65	3+55.33	3+74.79	3+94.56	4+51.48	4+72.23	4+92.98	5+08.73	5+65.99	6+37.68
COTA DE TERRENO	476.00	476.58	475.43	474.63	475.23	477.50	478.95	480.31	483.43	486.81	491.90	494.38	496.66	500.36
COTA DE RASANTE	471.66	471.73	471.87	472.92	472.18	472.96	474.22	476.90	478.38	479.81	484.00	489.28	493.83	495.67

**Tabla N°9: .Material de los colectores de la red “C”.**

TRAMO	C14 a C11	C11 a C9	C9 a DESC
MATERIAL	PVC	HFD	PVC

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Gráfico N°6:** Perfil sub-ramal “C-4”



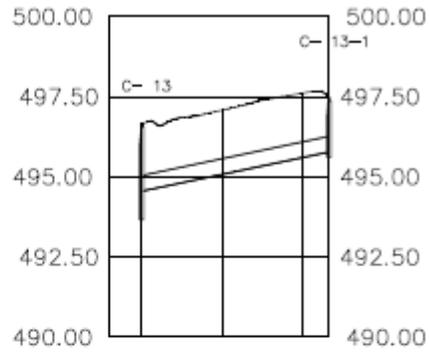
**Tabla N°10:** Material de los colectores del sub ramal “C-4”.

TRAMO	C-4-2 a C-4
MATERIAL	PVC

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Gráfico N°7:** Perfil sub-ramal “C-13”

**SUB RAMAL C-13**



PROGRESIVAS	0+00.00	0+58.27
COTA DE TERRENO	496.66	497.47
COTA DE RASANTE	494.56	495.78

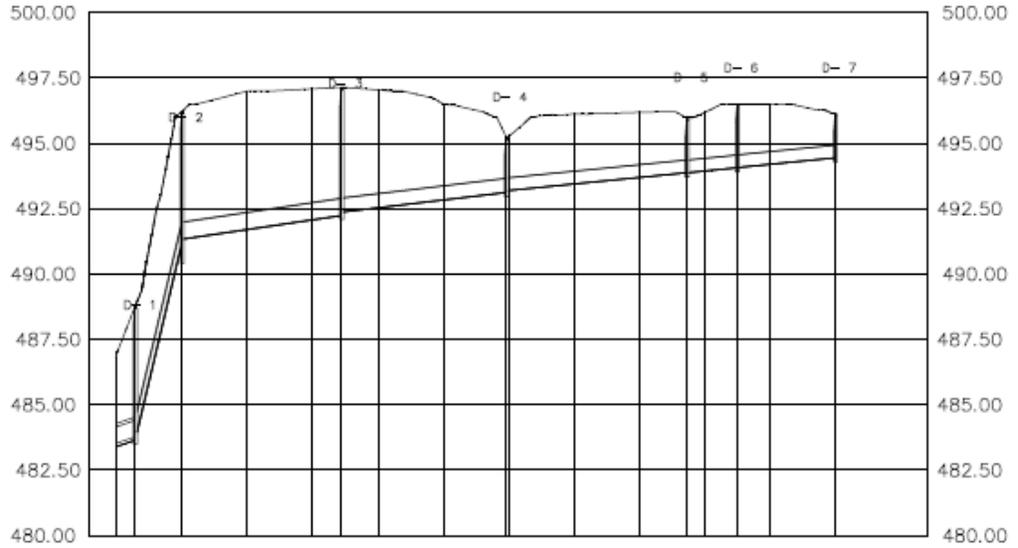
**Tabla N°11:** Material de los colectores del sub ramal “C-13”.

<b>TRAMO</b>	<b>C14 a C13</b>
MATERIAL	PVC

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Gráfico N°8: Perfil ramal “D”**

**RAMAL D**



PROGRESIVAS	0+07.37	0+25.29	0+86.19	1+49.08	2+18.06	2+37.24	2+74.65
COTA DE TERRENO	488.78	496.23	497.15	495.22	495.98	496.50	496.14
COTA DE RASANTE	483.53 483.78	491.36	492.38	493.20	493.89	494.08	494.46

**Tabla N°12: Material de los colectores de la red “D”**

TRAMO	D7 a D2	D2 a DESC
MATERIAL	PVC	HFD

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

### 3. Análisis hidráulico en el sistema de recolección de aguas de lluvia

El análisis hidráulico se realizó de dos (2) maneras, el primero considerando un régimen de flujo permanente y el segundo utilizando el criterio de flujo no permanente o método de Onda Cinemática, los cuales se compararan posteriormente.

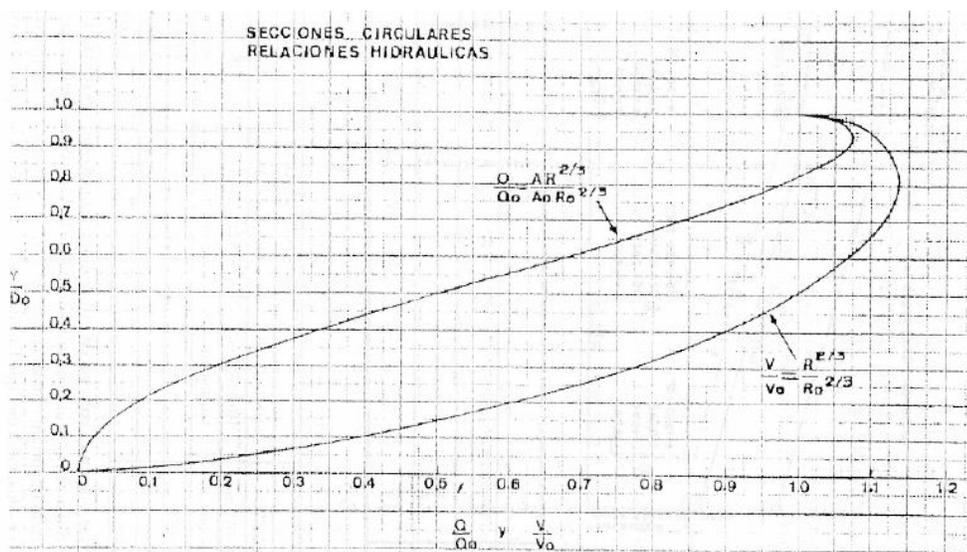
En las tablas que se presentan a continuación se representan los resultados de los siguientes cálculos:

Las capacidades C (1) y las velocidades a la sección plena Vp (2) fueron determinadas utilizando la ecuación de Manning para flujo con superficie libre:

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

Luego, con el uso de las curvas de relación hidráulica (Figura N°23), y determinando la relación entre caudal real y capacidad Q/C (3), se determinó la relación de proporcionalidad entre la velocidad real en la tubería y la velocidad a sección plena Vr/Vp (4), así obteniendo la velocidad real en la tubería (5) al despejarla de la relación.

**Figura N°23:** Relaciones hidráulicas de secciones circulares



**Fuente:** Ing. Palacio (2011)

Con la relación Q/C se ingresa nuevamente en la Figura N°23 y se consigue la relación Y/D de la cual se despeja y se halla el valor del nivel del agua (6) en las tuberías.

El análisis hidráulico se modeló tomando en cuenta las siguientes premisas:

- 1) Se utilizó como caudal de diseño hidrogramas de entradas cuyos caudales pico son iguales a los caudales máximos captados por los sumideros, con un tiempo pico de 5 minutos y un tiempo base de 10 minutos
- 2) Se asumió un tiempo pico de hidrograma de 5 minutos y un tiempo base de 10 minutos con distintos caudales picos.

### **3.1. Flujo permanente (F.P)**

El cálculo mediante flujo permanente se realizó para cualquier tiempo de corrida, ya que el flujo no varía en el tiempo.

En las tablas siguientes se expresaran las características propias de cada uno de los sistemas de tuberías representados como: (Q propio) a la entrada de agua que se genera por la boca de visita, (Q acum) al caudal acumulado que se generan en cada tramos, (L) longitudes de los tramos, (S) pendientes, ( $\Phi$ ) diámetros. Así como también los resultados de la capacidad de la tubería (C), la velocidad de proyecto (Vp) y la velocidad real (Vr).

## Red “A”

**Tabla N° 13.** Características de las tuberías de la Red “A” con flujo permanente

DE BV	A BV	Q Propio (LPS)	Q Acum (LPS)	L (m)	S (%)	Φ (mm)	(1) C (lps)	(2) Vp (m/s)	(3) Q/ C	(4) Vr/ Vp	(5) Vr (m/s)	(6) Nivel de agua (m)
A-6	A-5	102	102	36,05	13,15	450	1344	8,45	0,08	0,59	4,99	0,09
A-5	A-4	0	102	42,78	4,15	450	755	4,75	0,14	0,70	3,31	0,12
A-4	A-3	56	158	17,24	4,15	450	755	4,75	0,21	0,79	3,75	0,15
A-3	A-2	0	158	10,00	0,15	525	216,5	1,00	0,73	1,22	1,22	0,34
A-2	A-1	0	158	48,06	0,15	525	216,5	1,00	0,73	1,22	1,22	0,34
A-1	DES-A	371	529	15,27	2,10	630	1098	4,23	0,48	0,83	3,49	0,31

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

## Red “B”

**Tabla N° 14.** Características de las tuberías de la Red “B” con flujo permanente

DE BV	A BV	Q prop	Q acum	L (m)	S (%)	Φ (mm)	C (lps)	Vp (m/s)	Q/C	Vr/Vp	Vr (m/s)	Nivel de agua (m)
B-13	B-12	157	157	78,76	0,15	525	216,54	1,00	0,73	1,22	1,22	0,34
B-12	B-11	0	157	37,00	2,98	525	965,18	4,46	0,16	0,74	3,28	0,16
B-11	B-10	0	157	18,75	2,1	630	1317,53	4,23	0,12	0,67	2,83	0,16
B-10	B-9	0	157	26,22	15,15	630	2949,0	9,46	0,05	0,53	5,02	0,10
B-9	B-8	273	430	36,10	2,1	630	1317,53	4,23	0,33	0,89	3,78	0,27
B-8	B-7	0	430	20,36	2,07	630	1308	4,20	0,33	0,90	3,76	0,28
B-7	B-6	0	430	14,96	21,95	630	3549,7	11,39	0,12	0,67	7,66	0,15
B-6-6	B-6-5	158	158	80,25	0,3	475	235	1,32	0,67	1,08	1,42	0,32
B-6-5	B-6-4	0	158	80,25	0,3	475	235	1,32	0,67	1,08	1,42	0,32
B-6-4	B-6-3	195	353	52,08	0,9	500	466	2,37	0,76	1,10	2,60	0,37
B-6-3	B-6-2	42	395	11,59	35,29	500	2430	12,38	0,16	0,74	9,10	0,14
B-6-2	B-6-1	0	395	12,90	35,19	500	2427	12,36	0,16	0,74	9,09	0,14
B-6-1	B-6	0	395	9,94	15,38	500	1604	8,17	0,25	0,83	6,75	0,17
B-6	B-5	0	825	14,96	5,39	630	1758,99	5,64	0,47	0,98	5,55	0,30
B-5	B-4	0	825	47,46	0,1	1050	1122,66	1,30	0,73	1,42	1,85	0,60
B-4	B-3	0	825	78,48	0,1	1050	1122,66	1,30	0,73	1,42	1,85	0,60
B-3	B-2	0	825	61,04	0,1	1050	1122,66	1,30	0,73	1,42	1,85	0,60
B-2	B-1	0	825	94,35	0,1	1050	1122,66	1,30	0,73	1,42	1,85	0,60
B-1	DES-B	0	825	11,83	0,1	1050	1122,66	1,30	0,73	1,42	1,85	0,60

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

## Red “C”

**Tabla N°15.** Características de las tuberías de la Red “C” con flujo permanente

DE BV	A BV	Q propio	Q acum	L (m)	S (%)	Φ (mm)	C (lps)	Vp (m/s)	Q/ C	Vr/Vp	Vr (m/s)	Nivel de agua (m)
C-14	C-13	157	157	71,70	2,1	475	620,44	3,50	0,25	0,83	2,92	0,18
C-13-1	C-13	211	211	58,27	2,1	475	620,44	3,50	0,34	0,90	3,16	0,21
C-13	C-12	176	544	57,23	2,25	525	838,67	3,87	0,65	1,06	4,12	0,35
C-12	C-11	0	544	15,77	2,25	525	838,67	3,87	0,65	1,06	4,12	0,35
C-11	C-10	0	544	20,75	25,12	525	2335,2	10,79	0,23	0,81	8,79	0,17
C-10	C-9	0	544	20,75	20,15	525	2091,5	9,66	0,26	0,84	8,12	0,18
C-9	C-8	0	544	56,92	2,25	525	838,67	3,87	0,65	1,06	4,12	0,35
C-8	C-7	0	544	19,77	2,25	525	838,67	3,87	0,65	1,06	4,12	0,35
C-7	C-6	290	834	19,46	2,0	630	1285,8	4,12	0,65	1,07	4,39	0,42
C-6	C-5	0	834	63,68	2,0	630	1285,8	4,12	0,65	1,07	4,39	0,42
C-5	C-4	0	834	96,88	0,62	800	1354,7	2,69	0,62	1,04	2,80	0,51
C-4-2	C-4-1	246	246	55,33	0,45	525	375	1,73	0,66	1,07	1,85	0,35
C-4-1	C-4	0	246	35,69	0,45	525	375	1,73	0,66	1,05	1,81	0,35
C-4	C-3	436	1516	69,25	0,25	1200	2534	2,24	0,60	1,04	2,34	0,76
C-3	C-2	0	1516	48,85	0,25	1200	2534	2,24	0,60	1,04	2,34	0,76
C-2	C-1	0	1516	54,10	0,25	1200	2534	2,24	0,60	1,04	2,34	0,75
C-1	DES-C	0	1516	22,54	0,25	1200	2534	2,24	0,60	1,04	2,34	0,75

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

## Red “D”

**Tabla N° 16.** Características de las tuberías de la Red “D” con flujo permanente

DE BV	A BV	Q propio	Q acum	L (m)	S (%)	Φ (mm)	C (lps)	Vp (m/s)	Q/ C	Vr/ Vp	Vr (m/s)	Nivel de agua (m)
D-7	D-6	83	83	37,41	1,0	475	428	2,42	0,19	0,77	1,87	0,16
D-6	D-5	0	83	19,18	1,01	475	430	2,42	0,19	0,77	1,86	0,16
D-5	D-4	178	261	69,00	1,0	475	428	2,42	0,61	1,05	2,53	0,30
D-4	D-3	183	444	62,89	1,2	525	612	2,83	0,73	1,09	3,08	0,38
D-3	D-2	247	691	60,91	1,5	630	1114	3,57	0,62	1,05	3,76	0,41
D-2	D-1	125	816	17,62	42,19	630	4921	15,79	0,17	0,74	11,67	0,17
D-1	DES-D	0	816	7,40	3,39	630	1394	4,47	0,59	1,04	4,65	0,35

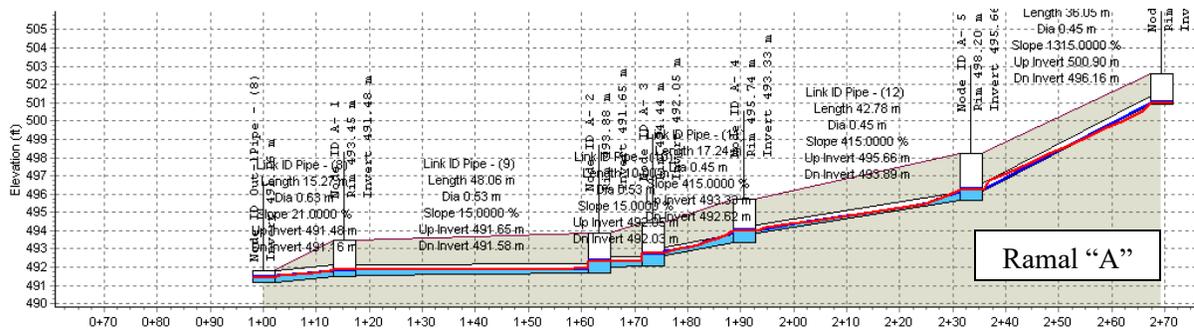
**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

### 3.2. Onda Cinemática (O.C)

El modelaje del sistema de drenaje del sector se realizó mediante la herramienta computacional Autodesk Civil 3D y su análisis se realizó a través de su complemento Storm and Sanitary Analysis utilizando como intervalo de tiempo para el cálculo hidráulico: un (1) segundo y diferentes tiempos de simulación para observar como es la variación del flujo al ingresar al sistema un conjunto de hidrogramas con un mismo tiempo al pico de 5 min y caudales picos diferentes, arrojando los siguientes valores:

## Red "A"

**Figura N°23:** Resultados de la simulación de Autodesk SSA para la red "A"



Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

Los valores arrojados por las simulaciones serán representadas en las siguientes tablas, el cual se expresan los caudales máximos alcanzados por tramos en la corrida, los caudales para 10 minutos, los caudales para 5 minutos y el análisis detallado para el tiempo pico de 5 minutos.

**Tabla N°17.** Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos de la Red "A" con Onda Cinemática

Tramos	A-6 a	A-5 a	A-4 a	A-3 a	A-2 a	A-1 a
	A-5	A-4	A-3	A-2	A-1	Desc.A
	LPS					
<b>5 min</b>	100,04	95,53	149,65	145,94	129,46	494,46
<b>10 min</b>	4,98	9,17	11,99	17,05	34,82	45,22
<b>Caudales picos en tramos</b>	101,41	100,72	154,7	154,43	150,75	497,67

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

Análisis para tiempo 5min:

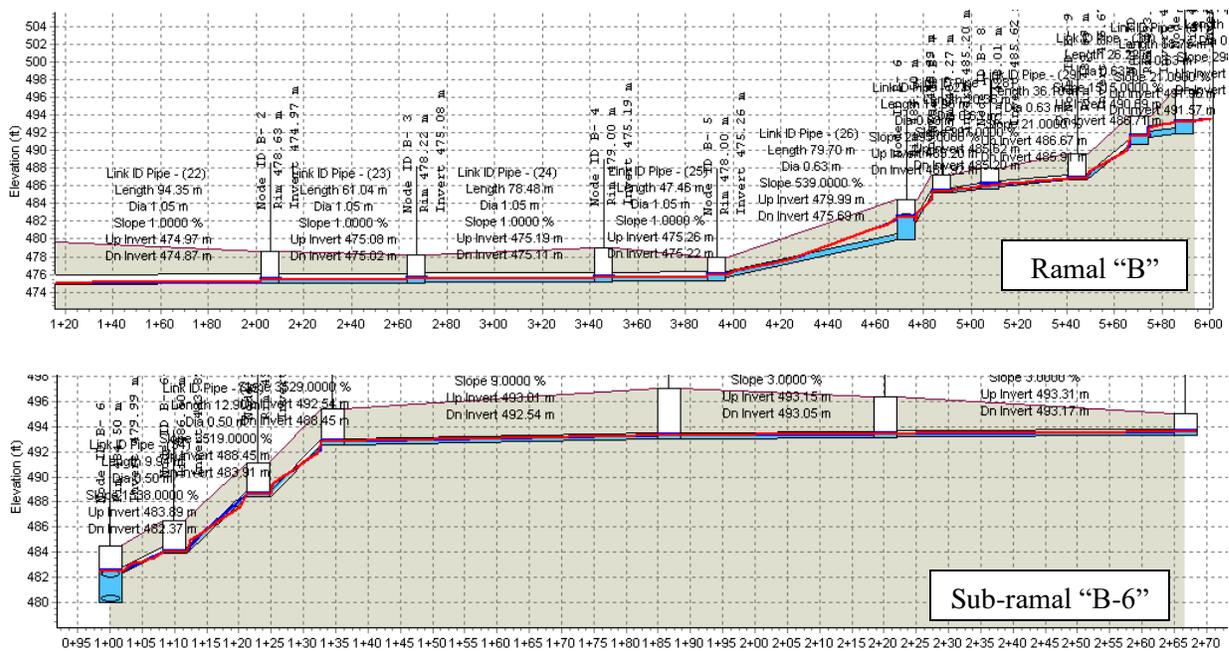
**Tabla N°18.** Características de las tuberías de la Red “A” con Onda Cinemática

DE BV	A BV	Q tramo	L (m)	S (%)	Φ (mm)	C (lps)	Vp (m/s)	Q/ C	Vr/Vp	Vr (m/s)	Nivel de agua (m)
A-6	A-5	100,04	36,05	13,15	450	1344	8,45	0,07	0,58	4,93	0,08
A-5	A-4	95,53	42,78	4,15	450	755	4,75	0,13	0,67	3,2	0,11
A-4	A-3	149,65	17,24	4,15	450	755	4,75	0,20	0,77	3,68	0,14
A-3	A-2	145,94	10,00	0,15	525	216,5	1,00	0,67	1,19	1,19	0,29
A-2	A-1	129,46	48,06	0,15	525	216,5	1,00	0,60	1,11	1,11	0,28
A-1	DES-A	494,46	15,27	2,10	630	1098	4,23	0,45	0,81	3,41	0,30

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

**Red “B”**

**Figura N°24:** Resultados de la simulación de Autodesk SSA para la red “B”



Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

**Tabla N°19.** Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos del ramal “B” con Onda Cinemática

Tramos	B13 a B12	B12 a B11	B11 a B10	B10 a B9	B9 a B8	B8 a B7	B7 a B6	B6 a B5	B5 a B4	B4 a B3	B3 a B2	B2 a B1	B1 a Desc.B
	LPS												
5min	129,68	123,97	121,41	119,43	380,79	375	372,52	682,84	621,86	513,95	405,42	166,36	128,74
10 min	40,47	41,10	42,89	45,59	60,06	67,61	69,22	166,65	226,16	313,33	378,16	471,32	480,04
Caudales picos en tramos	146,83	146,67	146,62	146,58	387,07	386,68	386,66	747,76	744,38	734,43	726,96	705,49	704,83

**Tabla N°20.** Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos del sub ramal “B” con Onda Cinemática

Tramos	B-6-6 a B-6-5	B-6-5 a B-6-4	B-6-4 a B-6-3	B-6-3 a B-6-2	B-6-2 a B-6-1	B-6-1 a B-6
	LPS					
5min	144,21	134,08	309,71	351,22	348,84	347,21
10 min	24,11	31,41	56,59	57,70	58,80	61,52
Caudales picos en tramos	152,77	151,14	326,42	364,07	364,05	364,04

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

Análisis para tiempo 5min:

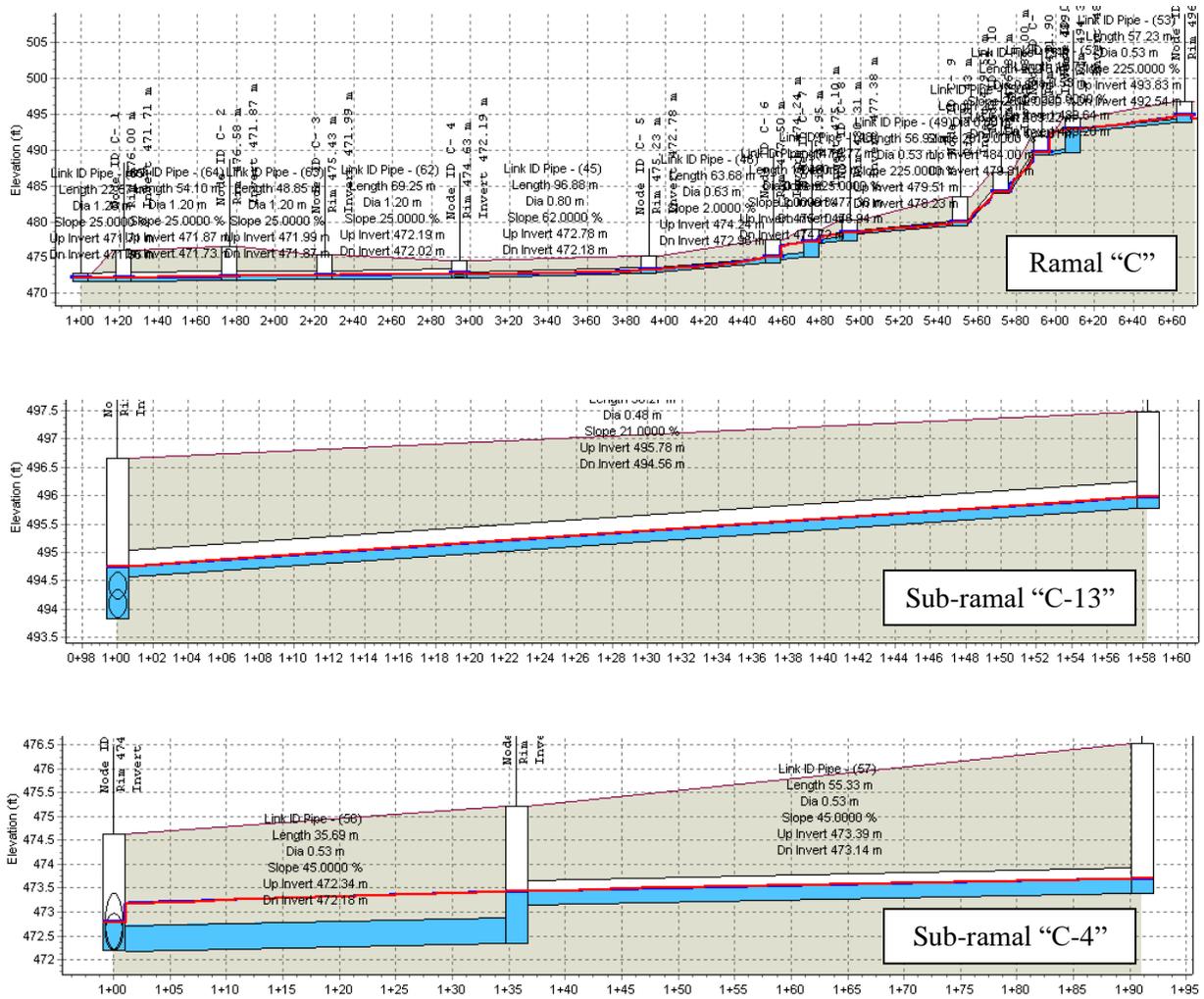
**Tabla N° 21.** Características de las tuberías de la Red “B” con Onda Cinemática

DE BV	A BV	Q tramo	L (m)	S (%)	Φ (mm)	C (lps)	Vp (m/s)	Q/ C	Vr/Vp	Vr (m/s)	Nivel de agua (m)
B-13	B-12	129,68	78,76	0,15	525	216,54	1,00	0,60	1,08	1,08	0,29
B-12	B-11	123,97	37,00	2,98	525	965,18	4,46	0,13	0,68	3,02	0,13
B-11	B-10	121,41	18,75	2,1	630	1317,53	4,23	0,09	0,62	2,62	0,13
B-10	B-9	119,43	26,22	15,15	630	2949,0	9,46	0,04	0,49	4,61	0,09
B-9	B-8	380,79	36,10	2,1	630	1317,53	4,23	0,29	0,86	3,62	0,23
B-8	B-7	375	20,36	2,07	630	1308	4,20	0,29	0,86	3,60	0,23
B-7	B-6	372,52	14,96	21,95	630	3549,7	11,39	0,10	0,65	7,37	0,14
B-6-6	B-6-5	144,21	80,25	0,3	475	235	1,32	0,61	1,02	1,34	0,28
B-6-5	B-6-4	134,08	80,25	0,3	475	235	1,32	0,57	1,01	1,33	0,26
B-6-4	B-6-3	309,71	52,08	0,9	500	466	2,37	0,66	1,04	2,47	0,30
B-6-3	B-6-2	351,22	11,59	35,29	500	2430	12,38	0,14	0,71	8,78	0,13
B-6-2	B-6-1	348,84	12,90	35,19	500	2427	12,36	0,14	0,71	8,77	0,13
B-6-1	B-6	347,21	9,94	15,38	500	1604	8,17	0,22	0,80	6,51	0,16
B-6	B-5	682,84	14,96	5,39	630	1758,99	5,64	0,39	0,92	5,18	0,28
B-5	B-4	621,86	47,46	0,1	1050	1122,66	1,30	0,55	1,28	1,66	0,47
B-4	B-3	513,95	78,48	0,1	1050	1122,66	1,30	0,46	1,17	1,52	0,43
B-3	B-2	405,42	61,04	0,1	1050	1122,66	1,30	0,36	1,08	1,40	0,39
B-2	B-1	166,36	94,35	0,1	1050	1122,66	1,30	0,15	0,64	0,83	0,30
B-1	DESC-B	128,74	11,83	0,1	1050	1122,66	1,30	0,11	0,77	1	0,22

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

Red "C"

Figura N°25: Resultados de la simulación de Autodesk SSA para la red "C"



Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

**Tabla N°22.** Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos del ramal “C” con Onda Cinemática

Tramos	LPS													
	C-14 a C-13	C-13 a C-12	C-12 a C-11	C-11 a C-10	C-10 a C-9	C-9 a C-8	C-8 a C-7	C-7 a C-6	C-6 a C-5	C-5 a C-4	C-4 a C-3	C-3 a C-2	C-2 a C-1	C-1 a Desc.C
<b>5 min</b>	147,16	504,26	497,84	492,08	489,34	469,94	461,16	741,33	707,67	626,72	1144,75	1051,31	938,2	886,04
<b>10 min</b>	19,61	61,29	69,04	73,85	76,17	99,9	107,93	120,68	156,71	237,46	413,28	492,48	581,56	617,98
<b>Caudales picos en tramos</b>	153,28	526,98	526,76	526,67	526,58	523,72	523,59	775,9	774,86	765,42	1327,80	1325,52	1320,05	1318,84

**Tabla N°23.** Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos de los sub ramales en “C” con Onda Cinemática

Tramos	C-13-1 a C-13		C-4-2 a C-4-1	C-4-1 a C-4
	LPS			
<b>5 min</b>	201,38		226,27	213,13
<b>10 min</b>	20,87		34,84	43,84
<b>Caudales picos en tramos</b>	207,32		238,94	236,71

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

Análisis para tiempo 5min:

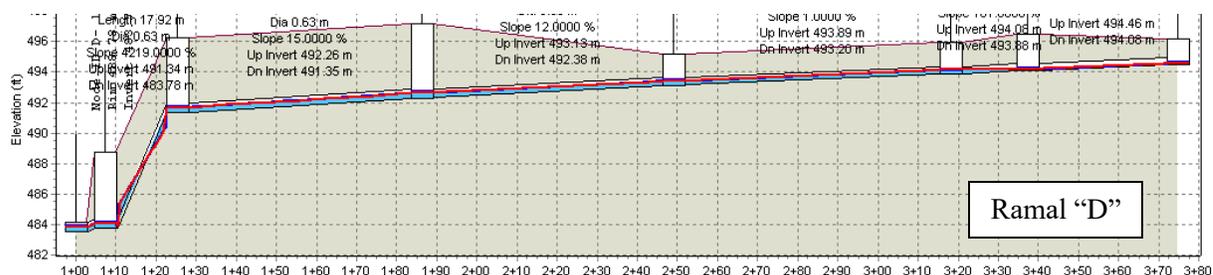
**Tabla N° 24.** Características de las tuberías de la Red “C” con Onda Cinemática

DE BV	A BV	Q acum	L (m)	S (%)	Φ (mm)	C (lps)	Vp (m/s)	Q/ C	Vr/Vp	Vr (m/s)	Nivel de agua (m)
C-14	C-13	147,16	71,70	2,1	475	620,44	3,50	0,24	0,80	2,8	0,16
C-13-1	C-13	201,38	58,27	2,1	475	620,44	3,50	0,32	0,88	3,07	0,19
C-13	C-12	504,26	57,23	2,25	525	838,67	3,87	0,60	1,03	3,99	0,30
C-12	C-11	497,84	15,77	2,25	525	838,67	3,87	0,59	1,04	4,02	0,29
C-11	C-10	489,56	20,75	25,12	525	2335,23	10,79	0,23	0,78	8,51	0,16
C-10	C-9	486,13	20,75	20,15	525	2091,49	9,66	0,25	0,81	7,85	0,17
C-9	C-8	469,94	56,92	2,25	525	838,67	3,87	0,56	1,01	3,92	0,28
C-8	C-7	461,16	19,77	2,25	525	838,67	3,87	0,55	1,02	3,94	0,28
C-7	C-6	741,33	19,46	2,0	630	1285,78	4,12	0,58	1,03	4,25	0,34
C-6	C-5	707,67	63,68	2,0	630	1285,78	4,12	0,55	1,01	4,15	0,34
C-5	C-4	626,72	96,88	0,62	800	1354,67	2,69	0,46	0,93	2,49	0,40
C-4-2	C-4-1	226,27	55,33	0,45	525	375	1,73	0,60	1,01	1,75	0,30
C-4-1	C-4	213,13	35,69	0,45	525	375	1,73	0,57	0,99	1,71	0,29
C-4	C-3	1144,7 5	69,25	0,25	1200	2534	2,24	0,45	0,94	2,10	0,58
C-3	C-2	1051,3 1	48,85	0,25	1200	2534	2,24	0,41	0,92	2,07	0,55
C-2	C-1	938,2	54,10	0,25	1200	2534	2,24	0,37	0,89	1,99	0,52
C-1	DES-C	886,04	22,54	0,25	1200	2534	2,24	0,35	0,89	2	0,50

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

## Red “D”

**Figura N°26:** Resultados de la simulación de Autodesk SSA para la red “D”



**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Tabla N°25.** Caudales obtenidos para distintos tiempos en los tramos de la Red “D” con Onda Cinemática

Tramos	D-7 a	D-6 a	D-5 a	D-4 a	D-3 a	D-2 a	D-1 a
	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	Desc.D
	LPS						
<b>5 min</b>	78,79	75,96	235,28	393,99	611,17	732,99	728,69
<b>10 min</b>	8,71	10,27	36,57	69,07	106,08	11,87	114,38
<b>Caudales picos en tramos</b>	81,67	81,52	250,53	419,88	645,8	759,1	759,08

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

Análisis para tiempo 5min:

**Tabla N° 26.** Características de las tuberías de la Red “D” con Onda Cinemática

DE BV	A BV	Q Tramo	L (m)	S (%)	Φ (m m)	C (lps)	Vp (m/s)	Q/ C	Vr/Vp	Vr (m/s)	Nivel de agua (m)
D-7	D-6	78,79	37,41	1,0	475	428	2,42	0,18	0,74	1,80	0,14
D-6	D-5	75,96	19,18	1,01	475	430	2,42	0,18	0,74	1,80	0,14
D-5	D-4	235,28	69,00	1,0	475	428	2,42	0,55	0,99	2,4	0,26
D-4	D-3	393,99	62,89	1,2	525	612	2,83	0,64	1,04	2,93	0,31
D-3	D-2	611,17	60,91	1,5	630	1114	3,57	0,55	1,01	3,59	0,34
D-2	D-1	732,99	17,62	42,19	630	4921	15,79	0,15	0,72	11,31	0,16
D-1	DES-D	728,69	7,40	3,39	630	1394	4,47	0,52	1,01	4,51	0,32

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

### 3.3 Contraste de resultados

A continuación se mostrara una serie de tablas resumen que presentan los caudales de diseño obtenidos para el método de flujo permanente, y los caudales presentes en los distintos tramos del sistema para distintos instantes del análisis a través del método de onda cinemática.

**Tabla N° 27.** Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías de la Red “A”

RAMAL A						
TRAMOS	A-6 a A-5	A-5 a A-4	A-4 a A-3	A-3 a A-2	A-2 a A-1	A-1 a DESC-A
	Q (LPS)					
<b>F.P</b>	102	102	158	158	158	529
<b>O.C (5min)</b>	100,04	95,53	149,65	145,94	129,46	494,46
<b>O.C (10min)</b>	4,98	9,17	11,99	17,05	34,82	45,22
<b>Caudales picos en tramos</b>	101,41	100,72	154,7	154,43	150,75	497,67

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

**Tabla N° 28.** Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías de la Red “B”

<b>RAMAL B</b>													
<b>TRAMOS</b>	B-13 a B-12	B-12 a B-11	B-11 a B-10	B-10 a B-9	B-9 a B-8	B-8 a B-7	B-7 a B-6	B-6 a B-5	B-5 a B-4	B-4 a B-3	B-3 a B-2	B-2 a B-1	B-1 a DESC B
	Q (LPS)												
<b>F.P</b>	157	157	157	157	430	430	430	825	825	825	825	825	825
<b>O.C (5min)</b>	129,7	123,9	121,4	119,4	380,8	375	372,5	682,8	621,9	513,9	405,4	166,4	128,7
<b>O.C (10min)</b>	40,47	41,10	42,89	45,59	60,06	67,61	69,22	166,6	226,2	313,3	378,2	471,3	480,0
<b>Caudales picos en tramos</b>	146,8	146,7	146,6	146,6	387,1	386,7	386,7	747,8	744,4	734,4	726,9	705,5	704,83

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

En la tabla N° 28 se pueden observar tramos en donde hay una diferencia considerable entre los caudales picos obtenidos por el método de flujo permanente y los obtenidos por el método de onda cinemática, pudiéndose considerar la disminución del diámetro de alguno de los colectores.

**Tabla N° 29.** Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías del subramal “B-6”

<b>SUB-RAMAL B-6</b>						
<b>TRAMOS</b>	B-6-6 a B- 6-5	B-6-5 a B- 6-4	B-6-4 a B- 6-3	B-6-3 a B- 6-2	B-6-2 a B- 6-1	B-6-1 a B-6
	Q (LPS)					
<b>F.P</b>	158	158	353	395	395	395
<b>O.C (5min)</b>	144,21	134,08	309,71	351,22	348,84	347,21
<b>O.C (10min)</b>	24,11	31,41	56,59	57,70	58,80	61,52
<b>Caudales picos en tramos</b>	152,77	151,14	326,42	364,07	364,05	364,04

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Tabla N° 30.** Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías de la Red “C”

RAMAL C														
TRAMOS	C-14 a C-13	C-13 a C-12	C-12 a C-11	C-11 a C-10	C-10 a C-9	C-9 a C-8	C-8 a C-7	C-7 a C-6	C-6 a C-5	C-5 a C-4	C-4 a C-3	C-3 a C-2	C-2 a C-1	C-1 a DESC C
	Q (LPS)													
F.P	157	544	544	544	544	544	544	834	834	834	1516	1516	1516	1516
O.C (5min)	147,2	504,3	497,84	492,1	489,3	469,9	461,2	741,3	707,7	626,7	1144,7	1051,3	938,2	886
O.C (10min)	19,61	61,29	69,1	73,85	76,17	99,9	107,9	120,7	156,7	237,5	413,3	492,5	581,5	617,98
Caudales picos en tramos	153,28	526,98	526,76	526,67	526,58	523,72	523,59	775,9	774,86	765,42	1327,80	1325,52	1320,05	1318,84

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

En la tabla N° 30 se observan tramos en donde hay una diferencia considerable entre los caudales picos obtenidos por el método de flujo permanente y los obtenidos por el método de onda cinemática, pudiéndose considerar la disminución del diámetro de alguno de los colectores.

**Tabla N° 31.** Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías del sub-ramal “C-13”

SUB- RAMAL C-13	
TRAMOS	C-13-1 a C-13
	Q (LPS)
F.P	211
O.C (5min)	201,38
O.C (10seg)	20,87
Caudales picos en tramos	207,32

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

**Tabla N° 32.** Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías del sub-ramal “C-4”

<b>SUB-RAMAL C -4</b>		
<b>TRAMOS</b>	C-4-2 a C-4-1	C-4-1 a C-4
	Q (LPS)	
<b>F.P</b>	246	246
<b>O.C (5min)</b>	226,27	213,13
<b>O.C (10min)</b>	34,84	43,84
<b>Caudales picos en tramos</b>	238,94	236,71

**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

**Tabla N° 33.** Resumen de los resultados obtenidos para las tuberías de la Red “D”

<b>RAMAL D</b>							
<b>TRAMOS</b>	D-7 a D-6	D-6 a D-5	D-5 a D-4	D-4 a D-3	D-3 a D-2	D-2 a D-1	D-1 a DESC-D
	Q (LPS)						
<b>F.P</b>	83	83	261	444	691	816	816
<b>O.C (5min)</b>	78,79	75,96	235,28	393,99	611,17	732,99	728,69
<b>O.C (10min)</b>	8,71	10,27	36,57	69,07	106,08	11,87	114,38
<b>Caudales picos en tramos</b>	81,67	81,52	250,53	419,88	645,8	759,1	759,08

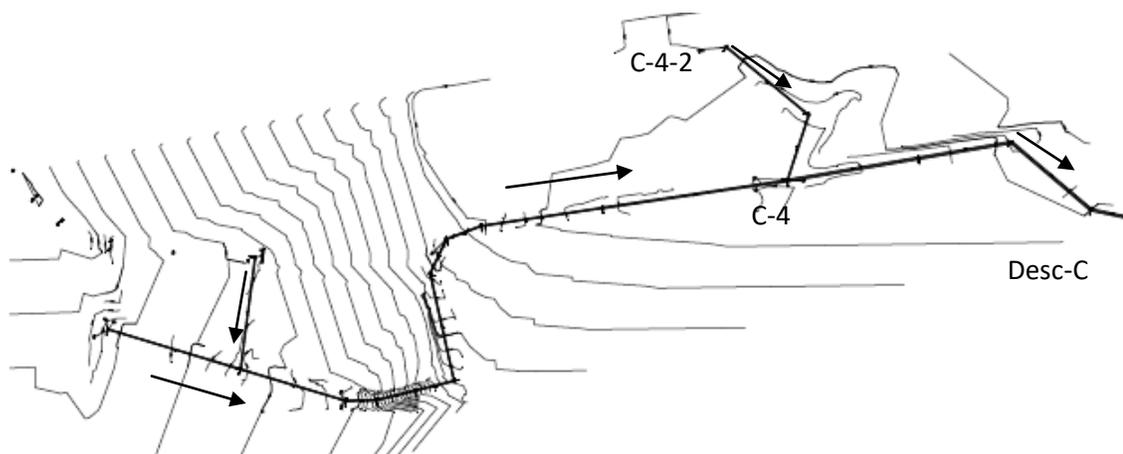
**Fuente:** Fayad y Palumbo (2018)

En la tabla N° 33 se evidencian tramos en donde hay una diferencia considerable entre los caudales picos obtenidos por el método de flujo permanente y los obtenidos por el método de onda cinemática, pudiéndose considerar la disminución del diámetro de alguno de los colectores.

Se puede observar en las distintas tablas que los caudales para tránsito hidráulico utilizando el método de flujo permanente permanecen iguales para cualquier duración del análisis, mientras que utilizando la onda cinemática como método de tránsito hidráulico, se puede constatar que el caudal varía para distintos instantes de un análisis, en este caso 5 y 10 minutos, esto debido a que el software a través de la onda cinemática realiza un modelo realista y preciso del tránsito del fluido a través de las distintas tuberías.

Debido a las características propias de la red “C” observadas en el plano de planta (Figura N°28), se realizará un análisis detallado desde el inicio del sub ramal “C-4” hasta la descarga de la red “C”, Para corroborar que los caudales del sub ramal y del ramal principal, no se encuentran simultáneamente en las estructuras de conducción de esta. Este análisis detallado no se realizó en las otras redes del sistema debido a que estas no cuentan con sub ramales en ellas o que no hacen diferencia en lo que se quiere demostrar, el cual es el resultado que se explicará al realizar el análisis de la tabla N° 34.

**Figura N°27: Plano de planta red “C”**



Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

**Tabla N° 34.** Resumen de las características de las tuberías del inicio del sub ramal “C-4” hasta la descarga de la red principal.

<b>RED C</b>						
<b>TRAMOS</b>	C-4-2 a C-4-1	C-4-1 a C-4	C-4 a C-3	C-3 a C-2	C-2 a C-1	C-1 a Des-C
	<b>Q(LPS)</b>					
<b>F.P</b>	246	246	1516	1516	1516	1516
<b>O.C (5min)</b>	225,37	210,94	1114,8	1011,15	884,77	823,44
<b>O.C (10min)</b>	34,17	40,62	388,9	471,69	556,54	588,29
<b>Caudal picos en tramos</b>	238,94	236,71	1329,87	1326	1321,25	1320,17

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

En la tabla N° 34, se demuestra que los caudales para tránsito hidráulico utilizando el método de flujo permanente permanecen iguales para cualquier duración del análisis, adicionalmente se suman cada vez que existe una entrada de flujo a la red. Mientras que utilizando la onda cinemática como método de tránsito hidráulico, se puede observar que para los instantes para los cuales se realizó el análisis de los caudales que circulan a través de las distintas estructuras de conducción, se puede contemplar que, una vez descargado hacia la red principal la totalidad del caudal que proviene de la BV C-4-2, el caudal proveniente de la red principal no es la suma de los anteriores caudales, esto debido a que parte del caudal de entrada ya fue desalojado del sistema de drenaje, considerándose así la opción de poder disminuir los diámetros del sistema de tuberías como en la tabla N°35.

**Tabla N° 35.** Posible nuevo diseño de la red C

<b>Red C</b>							
		<b>Flujo permanente</b>			<b>Flujo no permanente</b>		
<b>DE BV</b>	<b>A BV</b>	<b>Q(LPS)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Vr(m/s)</b>	<b>Q(LPS)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Vr(m/s)</b>
C-14	C-13	157	475	2,92	153,28	400	3,22
C-13-1	C-13	211	475	3,16	207,32	400	3,54
C-13	C-12	544	525	4,12	526,98	500	4,14
C-12	C-11	544	525	4,12	526,76	500	4,14
C-11	C-10	544	525	8,79	526,67	500	8,90
C-10	C-9	544	525	8,12	526,58	500	9,29
C-9	C-8	544	525	4,12	523,95	500	4,14
C-8	C-7	544	525	4,12	523,67	500	4,25
C-7	C-6	834	630	4,39	774,75	600	4,45
C-6	C-5	834	630	4,39	774,39	600	4,45
C-5	C-4	834	800	2,80	768,55	800	2,78
C-4-2	C-4-1	246	525	1,85	238,94	500	1,83
C-4-1	C-4	246	525	1,81	236,71	500	1,83
C-4	C-3	1516	1200	2,34	1329,87	1000	2,53
C-3	C-2	1516	1200	2,34	1326,35	1000	2,53
C-2	C-1	1516	1200	2,34	1321,25	1000	2,53
C-1	DES-C	1516	1200	2,34	1320,17	1000	2,53

Fuente: Fayad y Palumbo (2018)

## **CAPÍTULO V.**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Con los resultados obtenidos a través del programa Autodesk Civil 3D y Storm and Sanitary Analysis (complemento de Autodesk Civil 3D) plasmados en las tablas que se encuentran en el capítulo de ejecución de proyecto, se evidencia que con el modelaje hidráulico por el método de onda cinemática, se obtuvieron caudales menores que los arrojados por el régimen de flujo permanente para diferentes tiempos de análisis, esto se debe a que este método permite la simulación de manera real del tránsito del agua a través de las distintas estructuras de conducción.

Se constata con la información obtenida de las tablas de resultados, que el método además de reducir los caudales que circulan en las estructuras de conducción, también reduce las velocidades del agua en las mismas, esto se debe a que el diámetro de las tuberías no se modifica. Pudiendo existir ocasiones en las que al reducirse la velocidad, se pueda cambiar el tipo de material de la estructura de conducción, o reducir el diámetro manteniéndose dentro de las velocidades máximas límites permitidas por los materiales. Este no es el caso de este proyecto, ya que presenta resultados de velocidades muy alejadas del límite para el cual podamos cambiar de material y además, no es posible recomendar la disminución de diámetros debido que no se conto con los hidrogramas de entrada reales al sistema, obligándonos a crear hidrogramas menos exactos.

En cuanto a las velocidades de los distintos tramos, se puede observar que en el modelo analizado por una herramienta computacional, se presencio un aumento generalizado en las velocidades con respecto al proyecto original, ocasionando que en el tramo de la red “A” (A-6 a A-5) no se cumpla con las normas para las velocidades máximas permitidas del material PVC, recomendando así el cambio de material a hierro fundido.

Se puede apreciar en las cuatro redes que conforman el sistema de recolección de aguas de lluvia, resultados similares en cuanto a que se observa una disminución del caudal que circula a través de ellas en distintos instantes de tiempo, con la observación de que para las redes con longitudes mayores (Redes “B” y “C”) la disminución de estos caudales en los distintos tramos es más notoria que en los sistemas cortos (Redes “A” y “D”).

## CONCLUSIÓN

- El método de tránsito hidráulico por onda cinemática, permitió realizar un modelo que representa con mayor precisión el comportamiento hidráulico del sistema de recolección de aguas de lluvia existente en el casco central del sector de Las Tejerías, estado Aragua. Esto se observó en los resultados para distintos instantes de tiempo del análisis realizado, que se encuentran plasmados en las tablas anteriormente expuestas, de los cuales se desprende que el método genera un modelo de tránsito hidráulico más realista, que el desarrollado por el régimen de flujo permanente.
- En los sistemas de recolección de aguas de lluvia en donde la entrada de caudal no es permanente, mediante el método de onda cinemática se evitaría una sobre estimación de los caudales que fluyen a través de las tuberías, ya que a diferencia del régimen de flujo permanente, los caudales no se suman cada vez que hay un ingreso de un nuevo caudal al sistema, sino al contrario, el software a través del método de onda cinemática, realiza un modelo realístico y preciso del tránsito del agua a través de las estructuras de conducción, por lo tanto, con la utilización eficiente de este método puede existir una reducción en los diámetros de los colectores, como también de otros costos asociados al proyecto.
- Para la evaluación del sistema de recolección de aguas de lluvia utilizando la metodología de onda cinemática a través del software Storm and Sanitary Analysis de Autodesk, es necesario contar con los siguientes parámetros: datos de lluvias máximas para diferentes duraciones y distintos periodos de retorno suministrados por las estaciones cercanas al sitio de estudio, levantamiento topográfico del sector de estudio, información de la ubicación, tipo y dimensiones de las obras de captación, información de los materiales, pendientes y dimensiones de las obras de conducción y por último la información de los puntos de descarga de cada red de drenaje.

## **RECOMENDACIONES**

El método de onda cinemática se debe aplicar como un proceso de cálculo integral de la cuenca basado en hipótesis y condiciones propias de hidrología urbana. Tanto el escurrimiento en superficie como en colectores debe analizarse con onda cinemática para que las comparaciones con otros métodos sea más apropiada.

Se recomienda aplicar la metodología propuesta en urbanismos donde se cuente con pendientes altas, esto debido a que al tener una pendiente alta los términos de aceleración local, aceleración convectiva y presión se vuelven despreciables, realizando así cálculos con mayor precisión.

El análisis del sistema de recolección de aguas de lluvia de este proyecto, se realizó utilizando como flujo de entrada no permanente, hidrogramas cuyo tiempo al pico es de 5 minutos, tiempo base de 10 minutos y caudales picos iguales a los caudales máximos de captación de los sumideros. Para desarrollar un modelo que represente con mayor exactitud las condiciones del sistema para un evento de lluvia determinado, se recomienda representar con sus respectivas características, las distintas cuencas que drenan hacia el sistema, e incluir la información hidrológica (curvas IDF) del sector a ser evaluado. Lo cual no se pudo realizar en este proyecto debido al desconocimiento de la ubicación de las parcelas en la que fue dividido el sector.

## REFERENCIAS

- Adriani, D. (2016). *Diseño del sistema de captación para agua pluviales ubicado en la calle real de la comunidad San Pablito carretera vieja Caracas- Los Teques, Venezuela*. [Tesis en línea] Universidad Nueva Esparta. Consultada el 20 de abril de 2018 en: <http://miunespace.une.edu.ve/jspui/handle/123456789/2925>
- Álvaro Palacios Ruiz (2011). *Acueductos, Cloacas y Drenajes. Criterios para el diseño hidráulico de instalaciones sanitarias en desarrollos urbanos*. UCAB. Caracas.
- Arias, F.G. (2006). *El proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica* (5ª ed.). Caracas: Episteme
- Balestrini, M. (2006). *Como se labora el Proyecto de Investigación: Para los estudios formulativos o exploratorios, descriptivos, diagnóstico, evaluativos, formulación e hipótesis causales, experimentales y los proyectos factibles* (7ª ed). Caracas: BL Consultores Asociados.
- Bolinaga, Juan. (1999) *Proyectos de Ingeniería Hidráulica*. Volumen 1 y 2. Fundación Polar. Caracas.
- Jean, R y María, M (2013). *Diseño hidráulico de sistemas de drenaje dual a través del modelo SWMM*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Lara, Venezuela. Consultada el 27 de abril de 2018 en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382013000200009#tabla%201](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000200009#tabla%201)
- Morales, José. (2017). *Plan maestro de drenaje de aguas de lluvia para la ciudad de Punto Fijo en el municipio Carirubana Estado Falcón*. [Tesis en línea]. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela. Consultada el 27 de abril de 2018 en: <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2301-07-01491.pdf>
- Ronnie R, Cardenas F. (2006). *Diseño de un sistemas de drenaje pluvial optimo y funcional para el sector “La Rotaria” de la parroquia Raúl Leoni de Maracaibo. Estado Zulia*. [Tesis en línea].Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela. Consultada el 27 de abril de 2018 en: <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2301-06-00469.pdf>
- Ven Te Chow, David, R. y Maidment, Larry,W.(1994) *Hidrología Aplicada*. Edición: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.