

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL ALCANTARILLADO
PLUVIAL DEL BARRIO TUNJUELITO, SEGÚN LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES
DEL RÍO TUNJUELO, MEDIANTE SWMM

GABRIEL ORLANDO MARTINEZ ROJAS
JUAN ERNESTO VELANDIA SUAN

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
2017.

EVALUACIÓN EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL ALCANTARILLADO
DEL BARRIO TUNJUELITO, SEGÚN LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES DEL RÍO
TUNJUELO, MEDIANTE SWMM

AUTORES:

GABRIEL ORLANDO MARTINEZ ROJAS
JUAN ERNESTO VELANDIA SUAN

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.

ASESOR

ING. MSc. HENRY ALBERTO CORDOBA ROMERO

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

2017.



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación.

Firma presidente del jurado

Firma jurado

Firma jurado

Bogotá D.C. 10 diciembre 2017

A nuestras familias que han sido la fuente de apoyo e inspiración para realizar este trabajo A la Universidad Católica de Colombia por la educación, pues se convirtieron en un puente y apoyo para hacer posible este trabajo investigativo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. GENERALIDADES.....	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.2. ESTADO DEL ARTE	16
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.4. OBJETIVOS	21
1.4.1. Objetivo General.....	21
1.4.2. Objetivos Específicos	21
1.5. JUSTIFICACIÓN	22
2. DELIMITACIÓN.....	23
3. MARCO REFERENCIA.....	24
3.1. MARCO DE REFERENCIA.....	24
3.2. MARCO TEÓRICO.....	25
3.2.1. Módulo Extran.....	25
3.2.2. Módulo Runoff	27
3.2.3. Criterios De Diseño De Alcantarillados.....	28
3.2.4. Fórmula de Manning.....	28
3.2.5. El radio hidráulico	29
3.2.6. Precipitación Promedio En Una Cuenca.....	29
4. METODOLOGÍA	30
4.1. REDES ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTES.	30
4.2. HIDROLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	34
4.3. MODELACIÓN EN SWMM.	39
5. RESULTADOS.....	40
5.1. COLECTOR No 1 BARRIO TUNJUELITO.....	40
5.2. COLECTOR No 2 BARRIO TUNJUELITO.....	44
6. ANÁLISIS	47

6.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS COLECTOR 1.....	47
6.1.1.	Período De Retorno 10 Años.....	48
6.1.2.	Período De Retorno 25 Años.....	50
6.1.3.	Período De Retorno 100 Años.....	52
6.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS COLECTOR 2.....	54
6.1.1.	Período De Retorno 10 Años.....	54
6.1.2.	Período De Retorno 25 Años.....	56
6.1.3.	Período De Retorno 100 Años.....	58
7.	CONCLUSIONES.....	60
8.	RECOMENDACIONES.....	62
9.	BIBLIOGRAFIA.....	63

Contenido Ecuaciones

Ecuación 1. Combinación de Ecuación de Continuidad y Conservación de Cantidad de Movimiento.....	26
Ecuación 2. Condición Courant.....	26
Ecuación 3. Condición Sobre Nodos.....	27
Ecuación 4. Caudal de Salida.	27
Ecuación 5. Ecuación de Continuidad.....	28
Ecuación 6. Formula de Continuidad	28
Ecuación 7. Formula de Manning.....	28
Ecuación 8. Radio Hidráulico	29
Ecuación 9. Proporción Normal - Calculo de Precipitación	35

Contenido Ilustraciones.

Ilustración 1. Distribución Alcantarillado Pluvial Colector 1. Barrio Tunjuelito	31
Ilustración 2. Distribución Alcantarillado Pluvial Colector 2. Barrio Tunjuelito	32
Ilustración 3. Visita Técnica Quebrada Chiguaza	32
Ilustración 4. Descarga Colector 1 En Quebrada Chiguaza	33
Ilustración 5. Descarga Colector 2 En Quebrada Chiguaza	33
Ilustración 6. Distribución estaciones hidrológicas Polígono de Thiessen.....	34
Ilustración 7. Curva De Intensidad, Duración Y Frecuencia.	35
Ilustración 8. Ilustración precipitación media y máxima multianual de 1957 al 2017 en la Estación Santa Lucia	36
Ilustración 9. Modelación Caudal Período Retorno 10 Años	38
Ilustración 10. Modelación del alcantarillado e ingreso de datos.....	39
Ilustración 11. Distribución Alcantarillado Pluvial Colector 1. Barrio Tunjuelito	40
Ilustración 12. Modelación Caudal Período Retorno 10 Años	41
Ilustración 13. Perfil Lámina De Agua En Colector 1 Tramo B Período Retorno 10 Años	42
Ilustración 14. Perfil lámina de agua en colector 1 tramo B período retorno 25 años	43
Ilustración 15. Perfil lámina de agua en colector 1 tramo B período retorno 100 años	43
Ilustración 16. Distribución Alcantarillado Pluvial Barrio Tunjuelito Colector 2.	44
Ilustración 17. Modelación Caudal Período Retorno 10 Años	45
Ilustración 18. Perfil Lámina De Agua En Colector 2 en período de retorno de 10 años.	46
Ilustración 19. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 1. Período Retorno 10 Años	48
Ilustración 20. Informe de estado período de retorno 10 años	49
Ilustración 21. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 1. Período Retorno 25 Años	50
Ilustración 22. . Informe de estado período de retorno 25 años	51
Ilustración 23. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 1. Período Retorno 100 Años	52
Ilustración 24. Informe de estado período de retorno 100 años	53
Ilustración 25. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 2. Período Retorno 10 Años.	54
Ilustración 26. Informe de estado período de retorno 10 años	55
Ilustración 27. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 2. Período Retorno 25 Años	56

Ilustración 28. Informe de estado período de retorno 25 años	57
Ilustración 29. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 2. Período Retorno 100 Años	58
Ilustración 30. Informe de estado período de retorno 100 años	59

Contenido Tablas

Tabla 1. Resumen Caudales Vs Lámina de Agua.....	37
Tabla 2. Comparación Caudales De Estudio Diseño Vs Estudio Calibración.	37
Tabla 3. Numero Pozos Que Presentan Inundación	61

Contenido Anexos

Anexo. 1 Datos de Precipitación Mensual Estación Santa Lucia.	67
Anexo. 2 Intensidad de Lluvia de Acuerdo a Paridos de Retorno.	68
Anexo. 3. Intensidad Lluvia de Diseño 10 Años.	68
Anexo. 4. Tormenta de Diseño 10 Años Periodo de Retorno.....	69
Anexo. 5. Intensidad Lluvia de Diseño 25 años.....	69
Anexo. 6.Tormenta de Diseño 25 Años Periodo de Retorno.....	70
Anexo. 7. Intensidad Lluvia De Diseño 100 Años.....	70
Anexo. 8.Tormenta de Diseño 100 Años Periodo de Retorno.....	71
Anexo. 9. Resumen del informe del colector 1, para un periodo de retorno de 10 años	72
Anexo. 10.Modelación Colector 1. Tramo A Periodo de Retorno 10 años.	76
Anexo. 11.Modelación Colector 1. Tramo B Periodo de Retorno 10 años.	77
Anexo. 12. Modelación Colector 1. Tramo C Periodo de Retorno 10 años	78
Anexo. 13. Resumen del informe del colector 1 para un periodo de retorno de 25 años	79
Anexo. 14. Modelación Colector 1. Tramo A Periodo de Retorno 25 años	83
Anexo. 15. Modelación Colector 1. Tramo B Periodo de Retorno 25 años	84
Anexo. 16. Modelación Colector 1. Tramo C Periodo de Retorno 25 años	85
Anexo. 17. Resumen del informe del colector 1 para un periodo de retorno de 100 años	86
Anexo. 18. Modelación Colector 1. Tramo A Periodo de Retorno 100 años	90
Anexo. 19. Modelación Colector 1. Tramo B Periodo de Retorno 100 años	91
Anexo. 20. Modelación Colector 1. Tramo C Periodo de Retorno 100 años	92
Anexo. 21. Resumen del informe del colector 2 para un periodo de retorno de 10 años	93
Anexo. 22. Modelación Colector 2. Periodo de Retorno 10 años	94
Anexo. 23. Resumen del informe del colector 2 para un periodo de retorno de 25 años	95
Anexo. 24. Modelación Colector 2. Periodo de Retorno 25 años	96
Anexo. 25. Resumen del informe del colector 2 para un periodo de retorno de 100 años	97
Anexo. 26. Modelación Colector 2. Periodo de Retorno 100 años	98

INTRODUCCIÓN

Para el control de aguas lluvias, se está en la necesidad de conducir los volúmenes de aguas a un punto de control, donde no generen inconveniente alguno y puedan ser evacuados de manera natural. Hay zonas que por condiciones geográficas del terreno conducen los caudales pluviales a una quebrada o río, la cual recorre a ocupar un área superior a la de su cauce normal esto para poder controlar el caudal en exceso que transporta.

Hoy en día se evidencian colectores pluviales que no cumplen los criterios para poder drenar las aguas lluvias en un periodo de retorno. Para la presente investigación se afirmó que el colector existente del barrio Tunjuelito, a pesar de contar con pendientes y diámetros considerables, presenta un problema en el desnivel del barrio, reconocible en los perfiles de lámina de agua de los colectores de alcantarillado pluviales analizados.

Para el alcantarillado pluvial del barrio Tunjuelito, conforme a los análisis realizados, el sistema no está en la capacidad hidráulica para evacuar las aguas en un evento de lluvia, esto a razón del rebose generado en el mayor porcentaje de pozos y la condición de sobrecarga de la totalidad de la red. Con base en el software SWMM, se identificó que el alcantarillado pluvial en un 70% de los pozos está presentando rebose para los periodos de retorno correspondientes a 10, 25 y 100 años.

El informe de estado que genera SWMM tras la modelación del sistema de alcantarillado pluvial, identifica para cada uno de los diferentes periodos de retorno el caudal que se reboza en los pozos. Se considera que para que trabajen los colectores pluviales, se deben generar cambios de diámetros en las tuberías, con el fin de generar la capacidad para transportar los caudales de las áreas aferentes analizadas.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

De acuerdo al artículo “Tunjuelito inaugura temporada de inundaciones en Bogotá en 2016”¹, la temporada de inundaciones en Bogotá a principios del 2016 se ve afectada directamente en el barrio Tunjuelito, el cual presentó emergencia el día 6 de abril del 2016 a causa de los fuertes aguaceros que azotaron la zona, en consecuencia el sistema de alcantarillado colapsó producto del desnivel entre los sistemas de drenaje, ocasionando inundaciones entre la carrera 12 con calle 59 sur alcanzando una lámina de agua de 40 cm.

Por otra parte, según lo expuesto en el artículo “Modernizan redes de alcantarillado para prevenir inundaciones en Bogotá”², argumenta que la modernización en las redes de alcantarillado que se realizaron en el barrio Tunjuelito para prevenir inundaciones, contempló las obras de construcción de alcantarillado para controlar los caudales en excesos directamente en el río, ejecutadas por las entidades distritales en su momento, tales como con la construcción de canales de alivio y rebose, conformación y refuerzo de jarillones, gaviones y bolsacretos, lo anterior para controlar la erosión remontante en los sectores del cauce del río afectados, dragado de algunos sectores críticos de la parte baja de la cuenca, construcción de un jarillón de 10 metros de alto por 80 de ancho en el sitio por donde el río penetró al barrio Tunjuelito.

El artículo “Al fin Tunjuelito le dice adiós a las inundaciones”³, señala los inconvenientes presentados en el sistema de alcantarillado en el barrio Tunjuelito. La iniciativa que ha promovido la presidenta de la junta de acción comunal de la localidad de Tunjuelito, María Isabel Castañeda Díaz, quien ha presionado por el

¹ EL ESPECTADOR. (6 de 4 de 2016). Tunjuelito inaugura temporada de inundaciones en Bogotá en 2016. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/tunjuelito-inaugura-temporada-de-inundaciones-bogota-20-articulo-625693>: <http://www.elespectador.com/noticias>

² EL ESPECTADOR. (12 de 3 de 2015). Modernizan redes de alcantarillado para prevenir inundaciones en Bogotá. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/modernizan-redes-de-alcantarillado-prevenir-inundacione-articulo-549079>: <http://www.elespectador.com/noticias>

³ PUBLIMETRO. (24 de 1 de 2014). Al fin Tunjuelito le dice adiós a las inundaciones. Obtenido de <https://www.publimetro.co/co/loultimo/2014/01/24/tunjuelito-les-dice-adios-inundaciones.html>: <https://www.publimetro.co/co/>

cambio del sistema del alcantarillado del barrio, ya que esta red se encuentra en funcionamiento desde el siglo pasado.

Según lo señala el artículo de la revista "Control de Inundaciones del Río Tunjuelito"⁴, se ha determinado que a mediano plazo la mejor alternativa para el control de futuras inundaciones en la cuenca baja del río Tunjuelo, es la construcción del embalse Cantarrana, entrando en funcionamiento en el 2007, el cual tiene como objetivo mitigar el riesgo de inundación en las viviendas existentes sobre la ronda del río, mediante un embalse amortiguador de 2.5 hm³, que funciona como una especie de 'embalse seco', es decir, solo se llenará en época de lluvias. Teniendo en cuenta que este sistema sirve como una medida para controlar los caudales de exceso, mas no como un sistema que evite el refluo en el alcantarillado sanitario que vierte sus aguas en este río, puesto que sus cotas de entrega quedarán debajo de la lámina de agua cuando se establezca un caudal máximo en un periodo determinado.

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAB), realizó las intervenciones de las tuberías para cambiar los tramos que se encontraban en mal estado o que no cumplían con un drenaje adecuado. Por otra parte, se advierte que el desarrollo de la construcción de los nuevos alcantarillados para drenar el barrio puede incurrir en un sobre costo, lo que conlleva a que se deban utilizar recursos de otras localidades.

La medida tomada por el distrito para solucionar el área afectada, fue la implementación de equipos de bombeo provisionales para retirar el agua represada en esta zona, con el fin de evitar percance alguno y que la población retome sus actividades. Además, se mantienen los monitoreos constantes en el barrio como en la ciudad, para identificar alguna otra amenaza que se pueda presentar por la temporada de lluvias.

⁴ RINCON, V. (2007). Control De Inundaciones Del Rio Tunjuelito. Obtenido de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/azimut/article/view/4041/6076>: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/>

1.2. ESTADO DEL ARTE

Dados los antecedentes que presenta la zona de estudio, se puede asegurar que el problema que generan las inundaciones han sido recurrentes no sólo para la zona de estudio sino a nivel global. A continuación, se presentan algunos de los estudios que se han realizado para dicha problemática.

En el año 2017 se desarrolló un proyecto que consiste en realizar el pronóstico de las zonas que se verían afectadas por los posibles eventos de inundación de la cuenca baja del río Tunjuelo, esto se realiza mediante la implementación de tres diferentes softwares, tales como HIDROESTA el cual se utilizó para determinar los caudales máximos con los distintos periodos de retorno. HEC RAS el cual con los caudales previamente obtenidos ofrece la representación de las zonas inundables con cada periodo de retorno. ARQ GIS implementado para simular el comportamiento de las aguas que se desbordan con cada periodo de retorno.

Como resultado de esto se obtuvo un mapeo de distintas zonas inundables las cuales están en función de los periodos de retorno, este brinda un estimado de la velocidad de las aguas para el evento de inundación y la altura promedio que alcanzaría la lámina de agua⁵.

Previo a ello, durante el año 2015 se realizó un proyecto el cual se enfocó a determinar mediante sistemas de información geográfica, el mapa de amenaza por inundación que presentaría la localidad de Tunjuelito con diferentes periodos de retorno de los caudales del río. Teniendo en cuenta que los factores que se usaron para el análisis son susceptibles a cambios por efectos tanto naturales como antrópicos, se buscó dejar un modelo fácilmente actualizable que permita modificar los datos y obtener resultados certeros conforme a las posibles alteraciones que presentará la zona de estudio.

⁵ Barreto 2017, Pronostico De Inundaciones En La Cuenca Baja Del Rio Tunjuelo Por Medio Del Uso De Tecnologías Geoespaciales, Tesis de Pregrado Universidad Santo Tomas, Colombia

Adicionalmente se realizaron algunas recomendaciones como:

- ✓ Verificación de los jarillones con los que cuenta actualmente el canal.
- ✓ Considerar la afectación que se genera a causa de la inadecuada disposición de las basuras, las cuales propician un funcionamiento inadecuado del sistema de alcantarillado⁶

Durante este mismo año, se desarrolló un proyecto que logró evidenciar que el sistema de alerta temprana que se está implementando, presenta una eficiencia aproximada del 40%. Uno de los factores que más afecta la eficiencia del sistema, es el rezago en la entrega de la información, el cual está entre 10 a 15 minutos y teniendo en cuenta que se pueden presentar umbrales de lluvia de alta intensidad en solo 5 minutos, se concluye que es indispensable optimizar el tiempo de recepción de la información.

De acuerdo al modelo hidrológico realizado, el cual incorporó las estaciones de la zona de estudio y discriminó las zonas impermeables, buscando obtener resultados precisos al momento de emitir la alerta, de igual forma se realizaron simulaciones en distintos software con los que delimitaron las zonas inundables con distintas intensidades de lluvia, finalmente se realizaron algunas recomendaciones, como la implementación de un radar, para generar la inclusión de los sistemas de alerta temprana con los pronósticos, de esta manera optimizar los tiempos de respuesta ante las posibles inundaciones, también se recomendó realizar mediciones de caudal con el fin de disminuir las incertidumbres en los modelos⁷.

Para el año 2012, se implementó un estudio en la cuenca del río Salitre, que consistió en establecer el riesgo público por inundación en áreas urbanas, teniendo en cuenta el funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado existente, de igual manera consideró las condiciones socioeconómicas para determinar el riesgo al que se encuentran expuestos los habitantes.

⁶ Robayo, 2014, Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito, desarrollado a través de sistemas de información geográfica, Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia.

⁷ Montaña, 2015, calibración de los modelos hidrológico e hidráulico para el Sistema de alerta temprana para inundación por desbordamiento para la quebrada Chiguaza, tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

Para la evaluación de la capacidad del sistema, en este caso resulta ser combinado, se utiliza el software EPA SWMM, generando el aporte combinado de las dos redes. Se obtuvo que para el periodo de retorno de 3 años el sistema estaba colapsado en un 67% y de proyectarse un periodo de retorno mayor, las redes que aún presentan funcionalidad también presentarían falla. Además, se tiene que la mayor parte de la red troncal cumplió su vida útil hace cuatro décadas, siendo esta una de las causas de que el sistema no está en capacidad de drenar las aguas.

Por tratarse de un sistema combinado, el problema resulta ser más crítico ya que en caso de presentar rebose o inundación por lluvias, se generaría proliferación de vectores peligrosos para la salud, por otra parte, se realizó el análisis de la capacidad del río Salitre y el río Negro, a los cuales se realiza la descarga con una proyección a 100 años, de acuerdo con las proyecciones poblacionales e hidrológicas planteadas en el estudio.

El mencionado estudio, realiza recomendaciones como el monitoreo constante a las redes que puedan presentar taponamiento por sedimentos o cuerpos extraños, de igual forma la intervención y renovación de las redes de acuerdo al nuevo plan de ordenamiento territorial⁸.

En el año 2009 se realizó la evaluación de riesgo de inundación, enfocada para el desarrollo propuesto de tierras en el norte de Ballochyle Farm, por Sandbank, Argyll. El río Little Eachaig, fluye en dirección noreste aproximadamente a 70 m del sitio y se considera que presenta un riesgo potencial de inundación.

Con el fin de establecer el riesgo de inundación del río Little Eachaig, se realizaron siete cortes transversales tomados a través del curso de agua para determinar su capacidad de flujo. Se calculó un flujo de a 200 años para el río utilizando los datos de la antigua estación de medición adyacente al sitio y la curva de crecimiento de inundación para Escocia. Se implementaron ecuaciones de Manning, considerando el flujo y los datos topográficos para determinar si el canal tiene capacidad de flujo suficiente para el evento de 200 años.

Con los resultados del estudio se logró determinar que no habrá ningún riesgo para la vida de ocupantes de la zona, como resultado de una inundación durante un evento de 1 en 200 años. El desarrollo no causará un aumento en el riesgo de

⁸ HERNÁNDEZ, 2012, Una metodología de evaluación del riesgo público por inundación por falla del sistema de alcantarillado pluvial - caso de la cuenca del río Salitre, Tesis de Maestría, Universidad Nacional, Colombia.

inundación en la cuenca más amplia, dado que no estará ubicado en la llanura de inundación funcional⁹.

En este mismo año, se realizó un estudio del diseño de control de inundaciones, el cual investiga la efectividad de un proyecto de defensa contra inundaciones basado en depósitos de almacenamiento, se implementó para el río Magra y el río Vara en Italia. El eje central del estudio se basó en la implementación de dos reservorios de almacenamiento analizando su respuesta a diferentes escenarios hidrológicos, principalmente en términos de mitigación de inundaciones.

Se identificaron posibles sitios para el almacenamiento de agua de inundación, el primero denominado VARA1, ubicado aguas arriba, extendiéndose por 1 km con un volumen de almacenamiento disponible de aproximadamente 3.7×10^5 m³, el segundo denominado VARA2, está ubicado aguas abajo, se caracteriza por una mayor disponibilidad volumen considerada en 7×10^5 m³.

El análisis considero dos configuraciones, la primera denominada como "L1", consiste en una presa roca-tierra con una puerta inferior y un vertedero superior, la segunda configuración designada como "M1", consiste en la misma presa junto con un terraplén longitudinal que tiene un aliviadero lateral. Estas dos configuraciones serán evaluadas mediante métodos físicos y numéricos.

Un sistema de detención relativamente pequeño, embalses distribuidos dentro de la cuenca del río principal y sus afluentes pueden producir una mitigación de inundaciones razonable, de tal manera que su construcción es justificable. Es fundamental analizar una amplia gama de períodos de retorno para evaluar la respuesta de la medida de control de inundaciones a diferentes escenarios hidrológicos¹⁰.

Durante el año 2008 se presentó un proyecto cuyo objetivo es determinar un índice cuantitativo de riesgo por inundación, el cual fue denominado índice de riesgo por inundación FRI por sus siglas en inglés. Los componentes del riesgo probabilidad y consecuencias están representados por subíndices, relacionados tanto con propiedades de inundación como con vulnerabilidad. El índice considera daños

⁹ CRAWFORD, D.A. Flood Risk Assessment. 2010.

¹⁰ ANNUNZIATO Siviglia, ALESSANDRO Stocchino y MARCO Colombini. Design of Flood Control Systems on the Vara River by Numerical and Physical Modeling. Italy. 2009.

tangibles e intangibles y fue aplicado para el río Joana en la ciudad de Rio de Janeiro Brasil¹¹.

Para el año 2000, el Programa De Acción Regional Para Centro América (RAPCA), el cual a su vez forma parte del programa Capacity Building For Natural Disaster Reduction (CBNDR), ambos financiados por el gobierno de Holanda y administrados por la organización de las naciones unidas para la cultura y las artes (UNESCO), desarrolló un estudio cuyo propósito es generar un mapa de zonificación cualitativa del riesgo por inundación y deslizamientos para un sector de la ciudad de Tegucigalpa Honduras, realizado mediante sistemas de información geográfica, en la implementación del software ILWIS.

Los datos de entrada del software varían de acuerdo al tipo de riesgo que se desea modelar bien sea deslizamientos o inundaciones, el proyecto busca orientar los posibles estudios que se realicen por lo que ofrece ejemplos de su uso y modelación para cada uno de los casos, se observa que para el caso de las inundaciones usa las zonas que resultaron inundadas con el huracán Mitch y las zonas que se han visto inundadas anteriormente por diferentes periodos de retorno¹².

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de alcantarillado consiste en una red de tuberías conectadas entre sí, las cuales cuando se genera un evento de lluvia entran en funcionamiento para evacuar las aguas y evitar la acumulación de la misma, en cuanto más urbanizada se encuentre una zona, los volúmenes de agua son mayores ya que el concreto y asfalto forman una capa impermeable ocasionando que toda el agua se deba manejar por medio del sistema de alcantarillado.

¹¹ ZONSEIN, J; Miguel, M.G; de Magalhães, L.P.C; Valentín, M.G; Mascarenhas, F.C.B. (2008). Flood Risk Index as an Urban Management Tool. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.

¹² Montoya, Vargas y Westen, 2000, aplicación de SIG para la evaluación de amenazas y riesgos Tegucigalpa, Honduras, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Países Bajos.

De acuerdo a los antecedentes expuestos en “Modernizan redes de alcantarillado para prevenir inundaciones en Bogotá”¹³, se aprecia que el sistema de alcantarillado del barrio Tunjuelito ha sido renovado parcialmente buscando mitigar el riesgo de inundación, sin embargo, ha presentado inundaciones que se presumen fueron causadas por el colapso del sistema de alcantarillado afectado por las fluctuaciones de los niveles del río. De acuerdo al escenario propuesto, el problema consiste en que los niveles del río superan la cota de descarga del sistema de alcantarillado del barrio Tunjuelito, lo que genera un refluo en el sistema de alcantarillado pluvial.

Con base en la información recopilada, se busca identificar la influencia que tiene el incremento del nivel del agua del río Tunjuelo en el sistema de alcantarillado del barrio Tunjuelito, utilizando el programa de modelación hidráulica SWMM.

¿Cómo es el comportamiento hidráulico del alcantarillado del barrio Tunjuelito cuando se presentan diferentes escenarios influenciados por la lámina de agua del río Tunjuelo?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el funcionamiento hidráulico del alcantarillado del barrio Tunjuelito, dependiendo de los cambios de nivel de la lámina de agua del río Tunjuelo mediante el uso de SWMM.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Identificar y caracterizar el área de drenaje del barrio Tunjuelito respecto al funcionamiento del sistema de alcantarillado.
2. Modelación del sistema de alcantarillado del barrio Tunjuelito mediante el software SWMM con diferentes escenarios.
3. Identificar las posibles zonas de afectación que tendría el área de influencia con cada uno de los niveles de agua del río.

¹³ EL ESPECTADOR. (12 de 3 de 2015). Modernizan redes de alcantarillado para prevenir inundaciones en Bogotá. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/modernizan-redes-de-alcantarillado-prevenir-inundacione-articulo-549079>: <http://www.elespectador.com/noticias>

1.5. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta los continuos problemas que ha presentado la zona de estudio, tales como el del 6 de abril de 2016 por causa de las lluvias, el sistema de alcantarillado colapsó ocasionando inundación en el barrio con una lámina de agua que alcanzó los 40 centímetros.

Adicionalmente se debe considerar la descarga de los colectores pluviales del barrio en el canal de la quebrada Chigüaza, que posteriormente vierte sus aguas al río Tunjuelito.

Este proyecto se realiza para determinar el comportamiento hidráulico del sistema de alcantarillado con el que cuenta actualmente el barrio Tunjuelito, realizando una identificación y caracterización de las redes con el fin de evaluar y analizar su funcionamiento. Teniendo en cuenta las cotas de entrega del sistema, las precipitaciones y los niveles de la quebrada Chigüaza para los periodos de retorno 10, 25, y 100 años, realizará mediante la implementación en el programa de modelación con el fin de determinar las posibles afectaciones en el área de influencia y analizar la capacidad del sistema de alcantarillado.

2. DELIMITACIÓN

El estudio se realiza en la zona comprendida entre la carrera 11 sur y la carrera 16c sur, entre la Av. caracas y la ronda del río, el cual corresponde a la cuenca de drenaje de la red pluvial existente.

El tiempo de desarrollo del proyecto tiene como fecha límite de entrega el día 10 de noviembre del año 2017, y sus resultados se mantendrán mientras no se presente ninguna alteración significativa en los parámetros y variables utilizadas para el análisis.

Se presenta la modelación del sistema de alcantarillado del barrio Tunjuelito mediante el software SWMM, el cual presenta el área de drenaje respecto al funcionamiento del sistema de alcantarillado existente, con los diferentes escenarios presentados, localizando las zonas de afectación que tiene el área de influencia con cada uno de los niveles de agua de la quebrada Chigüaza. Finalmente se realiza un análisis de los resultados para emitir conclusiones y recomendaciones.

El proyecto se limita a evaluar el comportamiento del sistema de alcantarillado pluvial del barrio Tunjuelito, en el sector especificado, con tres diferentes periodos de retorno y de esta manera identificar la zona o puntos de afectación que tendría cada uno de estos escenarios en los que se realizará el análisis.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. MARCO DE REFERENCIAL.

El sistema de alcantarillado pluvial está compuesto por tuberías, sumideros e instalaciones que permiten el rápido desalojo de aguas de lluvia para evitar daños. Su importancia se manifiesta en zonas con altas precipitaciones y superficies poco permeables¹⁴, ligado al desarrollo de la urbanización pues esta incrementa los volúmenes de agua lluvia que escurren superficialmente por la impermeabilidad del concreto y pavimento. Con base en esto, se establece una solución tradicional de recolectar y transportar el volumen de agua mediante colectores capaces de generar una descarga a un afluente natural o artificial ya sea río o quebrada.

En la actualidad el enfoque del problema establece la inundación en las zonas perimetrales a los ríos, para el caso de Bogotá se puede establecer que la cobertura de alcantarillado es solo de 70% en aguas lluvias y 87,6% en aguas negras, esto debido a que se presentan tuberías muy viejas y las redes quedaron pequeñas en zonas donde viven más personas de las que se pueden servir.

Alcantarillado Sanitario: Es la red generalmente de tuberías, a través de la cual se deben evacuar en forma rápida y segura las aguas residuales municipales (domésticas o de establecimientos comerciales) hacia una planta de tratamiento y finalmente a un sitio de vertido donde no causen daños ni molestias¹⁵.

Alcantarillado Pluvial: Es el sistema que capta y conduce las aguas de lluvia para su disposición final, que puede ser por infiltración, almacenamiento o depósitos y cauces naturales¹⁶.

Alcantarillado Combinado: Es el sistema que capta y conduce simultáneamente el 100% de las aguas de los sistemas mencionados anteriormente, pero que dada su disposición dificulta su tratamiento posterior y causa serios problemas de

¹⁴ Mendez Juan. Alcantarillado Pluvial. Diseño De Sistemas De Drenaje. [<https://es.slideshare.net/carlos1237/alcantarillado-pluvial>]. [20/11/17]

¹⁵ SIAPA. (febrero 2014). Cap. 3 alcantarillado sanitario. En Siapa, Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades alcantarillado sanitario. (pág. hoja 15 de 38). México: Siapa.

¹⁶ SIAPA, op. cit. p.22.

contaminación al verterse a cauces naturales y por las restricciones ambientales se imposibilita su infiltración¹⁷.

Alcantarillado Semi-Combinado: Se denomina al sistema que conduce el 100% de las aguas negras que produce un área o conjunto de áreas, y un porcentaje menor al 100% de aguas pluviales captadas en esa zona que se consideran excedencias y que serían conducidas por este sistema de manera ocasional y como un alivio al sistema pluvial y/o de infiltración para no ocasionar inundaciones en las vialidades y/o zonas habitacionales¹⁸.

3.2. MARCO TEÓRICO

Para los recientes avances tecnológicos, los cuales ofrecen facilidades para evaluar los sistemas de alcantarillado involucrando múltiples variables, se optó por implementar el software SWMM, con el fin de involucrar la lámina de agua que genera el caudal de la quebrada Chigüaza, con el funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado.

El SWMM (storm water management model) es un simulador dinámico de precipitaciones que permite evaluar cantidad y calidad de agua principalmente de alcantarillados urbanos, el programa analiza el recorrido de las aguas a través de las distintas estructuras que componen el sistema de alcantarillado y así mismo permite determinar los niveles de agua y caudales de cada una de ellas.

El programa está dividido por módulos computacionales, para el presente estudio se utilizará el módulo Extran, el cual consiste en simular la transformación de lluvia en escorrentía hasta la entrada en la red de drenaje y Runoff el cual se basa en los datos del Extran para modelar el flujo de agua a través de los conductos, nodos y almacenamientos.

3.2.1. Módulo Extran

Reproduce un flujo gradualmente variado permitiendo modelar las condiciones de contorno deseadas como orificios, compuertas, depósitos, entre otros. El módulo

¹⁷ SIAPA. op. cit. p.22.

¹⁸ SIAPA. op. cit. p.22.

Extran combina las ecuaciones de continuidad y conservación de cantidad de movimiento en una sola que resuelve todos los conductos en cada intervalo de tiempo, la ecuación es la siguiente.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + g * A \frac{\partial H}{\partial x} + g * A * S_f = 0$$

Ecuación 1. Combinación de Ecuación de Continuidad y Conservación de Cantidad de Movimiento.

Donde:

g = gravedad

A = área de la sección

H = cota piezométrica (h+z)

Q = caudal

z = cota solera

x = distancia a lo largo del conducto

h = calado (altura lámina de agua)

t = tiempo

S_f = pendiente de fricción según Manning

V = velocidad media

Las condiciones que se deben cumplir para que el sistema sea estable numéricamente son:

Condición de Courant: donde el incremento de tiempo está limitado al tiempo requerido por una onda dinámica para propagarse en la longitud del conducto.

$$\Delta t \leq \frac{L}{\sqrt{g * D}}$$

Ecuación 2. Condición Courant

Donde:

Δt = incremento del tiempo

L = longitud del conducto

g = gravedad

D = calado máximo del conducto (diámetro de tubería)

$$\Delta t \leq 0,1 * A_s \frac{\Delta H_{max}}{\sum Q}$$

Ecuación 3. Condición Sobre Nodos

Donde:

ΔH_{max} = elevación máxima de agua en Δt

$\sum Q$ = flujo neto de entrada al nodo

A_s = área superficial del nodo

3.2.2. Módulo Runoff

Este módulo tiene por función los cálculos de escorrentía basados en un modelo de depósitos modificado con una onda cinemática, el modelo divide la cuenca en zonas en función de los porcentajes de impermeabilidad y retención introducidos. La escorrentía es generada considerando las zonas como depósitos no lineales.

$$Q = \frac{W}{n} (p - p_p)^{5/3} * S^{1/2}$$

Ecuación 4. Caudal de Salida.

Donde:

Q = caudal de salida de la Subcuenca

W = ancho de la Subcuenca

n = coeficiente de rugosidad de Manning

p = profundidad del agua

p_p = profundidad de retención superficial.

S = pendiente

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dp}{dt} = A * i - Q$$

Ecuación 5. Ecuación de Continuidad.

Donde:

V = volumen de agua en la Subcuenca

P = profundidad del agua o calado

t = tiempo

A = área de la Subcuenca

i = lluvia neta (precipitación menos infiltración y evaporación)

Q = caudal de salida de la Subcuenca

3.2.3. Criterios De Diseño De Alcantarillados.

En las tuberías de la red de atarjeas solo debe presentarse la condición de flujo a superficie libre. Para simplificar el diseño se consideran condiciones de flujo establecido.

La fórmula de continuidad para un escurrimiento continuo permanente es:

$$Q=VA$$

Ecuación 6. Formula de Continuidad

Donde:

Q: Es el gasto en m³/s.

V: Es la velocidad en m/s.

A: Es el área transversal del flujo en m

3.2.4. Fórmula de Manning.

Para el cálculo hidráulico del alcantarillado se utiliza la fórmula de Manning.

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

Ecuación 7. Formula de Manning

Donde:

V: Es la velocidad en m/s.

r: Es el radio hidráulico, en m.

S: Es la pendiente del gradiente hidráulico, adimensional.

n: Es el coeficiente de fricción.

3.2.5. El radio hidráulico

$$r = A / Pm$$

Ecuación 8. Radio Hidráulico

Dónde:

A: Es el área transversal del flujo, en m

Pm: Es el perímetro mojado, en m²

3.2.6. Precipitación Promedio En Una Cuenca

Un primer factor de gran importancia para la estimación de los parámetros hidrológicos, es la estimación de la precipitación media en un lapso de tiempo y distribución espacial dentro de la cuenca. Para calcular la precipitación promedio en una cuenca, es necesario analizar la serie de datos de precipitaciones disponibles, al menos por 30 años de las estaciones meteorológicas existentes dentro de la cuenca y su periferia. A partir de dicha información se puede ponderar la aportación espacial de cada sitio a través de los siguientes métodos: aritmético, Thiessen o curvas Isoyetas¹⁹.

3.2.7. Las Inundaciones

Son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales,

¹⁹ MOYANO, M. C. (2005). Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Chile: Editorial Del Norte.

ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas²⁰.

4. METODOLOGÍA

En la fase inicial del proyecto se consultaron fuentes digitales y físicas del comportamiento hidráulico del río Tunjuelo y de la zona de análisis. En virtud de lo anterior se identificaron las estaciones pluviométricas más cercanas a la zona de estudio, con los datos recolectados se determinaron los parámetros necesarios para el estudio, paralelamente se identificó la cuenca de drenaje del sistema de alcantarillado pluvial existente, esto con el fin de delimitar la zona de estudio teniendo en cuenta las redes existentes.

Una vez se determinaron los parámetros necesarios, se realiza una visita de campo con el fin de cotejar la información obtenida previamente, finalmente se procede a realizar la modelación hidráulica por medio del software SWMM, y en base a los resultados obtenidos realizar los análisis y conclusiones pertinentes.

4.1. REDES ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTES.

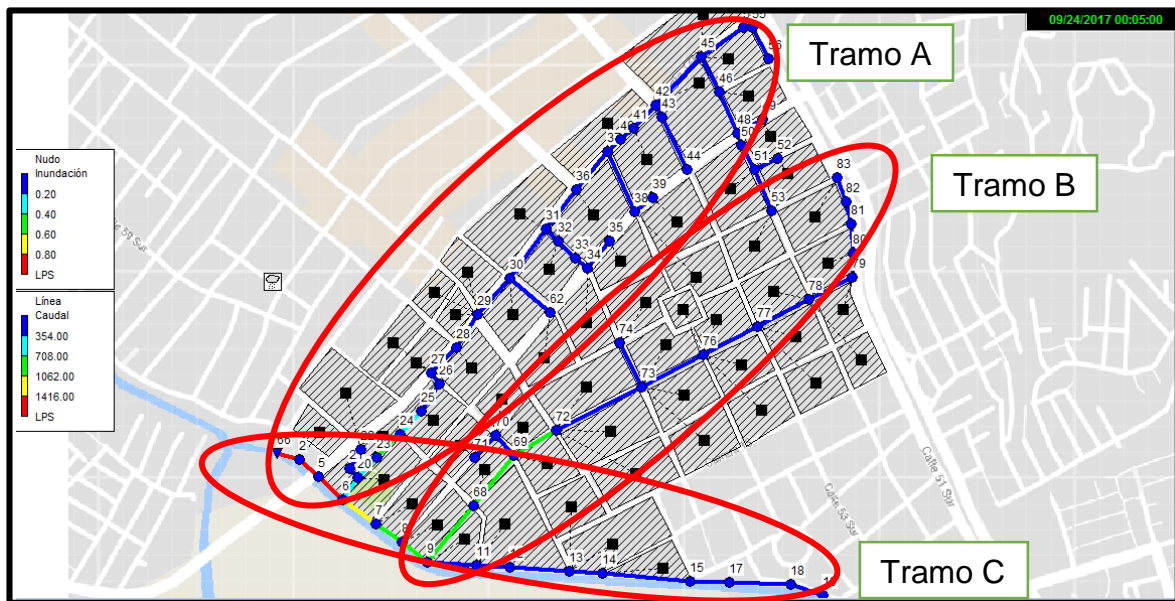
El alcantarillado pluvial del barrio Tunjuelito²¹ se compone de dos redes principales que tienen como punto de entrega final en la quebrada Chigüaza. Actualmente el alcantarillado del barrio Tunjuelito se ha modificado por cuestiones de renovación de las redes, esto con el fin de prevenir inundaciones. Esta reforma contempla la construcción de alcantarillado, aliviaderos y reboses, para controlar los caudales en excesos y poder descargar directamente en el río.

²⁰ IDEAM. Cerca de 12 millones de colombianos están en riesgo por amenaza de inundación. [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/cerca-de-12-millones-de-colombianos-estan-en-riesgo-por-amenaza-de-inundacion]. [20/11/17]

²¹ EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Plano Alcantarillado Pluvial Barrio Tunjuelito. EAAB.

El primer colector se divide en 3 tramos principales que corresponden a la recolección de las redes de aguas lluvias del costado norte del barrio Tunjuelito. El primer tramo pluvial tiene su trazado principal sobre la Avenida Tunjuelito, iniciando desde la Avenida Caracas hasta el colector de 1m de diámetro que va paralelo al canal de la quebrada Chigüaza. El segundo tramo tiene su trazado comprendido sobre carrera 14 sur, iniciando desde la Avenida Caracas y empalmado sus aguas al colector de 1m de diámetro que se encuentra paralelo al canal de la quebrada Chigüaza. El tercer tramo va paralelo al canal de la quebrada Chigüaza e inicia la recolección de aguas lluvias desde la carrera 13 sur hasta el vertido de sus aguas a este canal a la altura de la intersección de la avenida Tunjuelito y la quebrada Chigüaza.

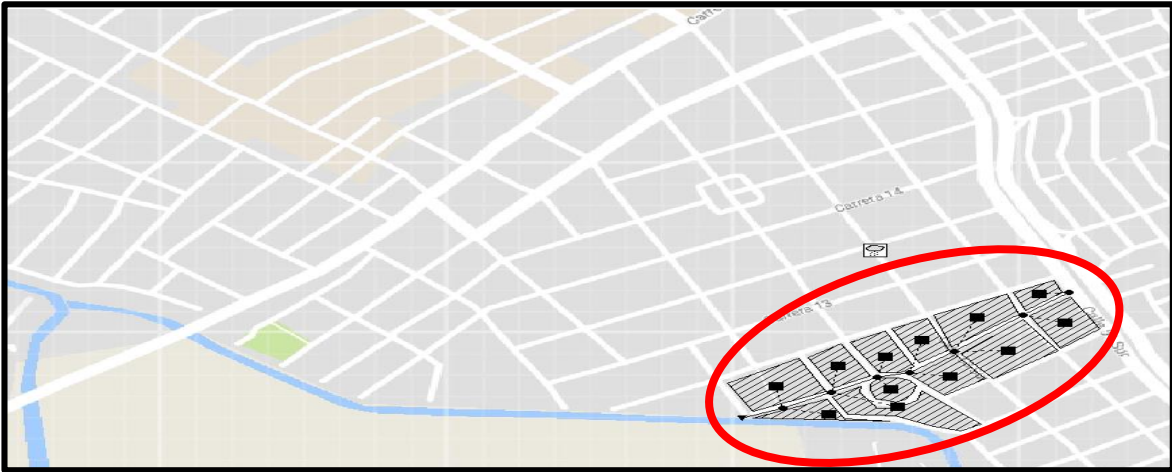
Ilustración 1. Distribución Alcantarillado Pluvial Colector 1. Barrio Tunjuelito



(Autores., 2017)

La segunda red de drenaje del sistema de alcantarillado pluvial del barrio Tunjuelito está ubicada en el costado sur del barrio Tunjuelito, se encuentra a lo largo de la carrera 13 sur iniciando en la Avenida Caracas y desembocando en la quebrada Chigüaza. Sobre esta misma calle, en su entrega cuenta con una válvula antirreflujo para evitar el retorno de caudales al momento que la lámina de agua del río presente un incremento en su altura, ocasionado por aportes adicionales de caudal que se pueden presentar tras fuertes lluvias, superando la cota clave del colector de entrega y generando la interrupción en el flujo del alcantarillado.

Ilustración 2. Distribución Alcantarillado Pluvial Colector 2. Barrio Tunjuelito



(Autores., 2017)

La quebrada Chigüaza presenta un canal artificial el cual se construyó en concreto reforzado, con una sección rectangular cuyas dimensiones corresponden a una base de 12 metros, y una altura de 3 metros con una longitud de 800 metros, presenta diferentes pendientes en el recorrido las cuales oscilan entre 0,21% y 1,23%.

Ilustración 3. Visita Técnica Quebrada Chiguaza



(Autores., 2017)

En la visita de campo se identifican las descargas de los colectores pluviales al canal de la quebrada Chigüaza. Se observa que el colector número uno, pese a que el nivel del río es bajo presenta una descarga a tubo lleno.

Ilustración 4. Descarga Colector 1 En Quebrada Chiguaza



(Autores., 2017)

En la descarga del colector número dos se aprecia la válvula antirreflujo, la cual impide el ingreso de agua a la red cuando la altura de la lámina de agua de la quebrada sobrepasa la descarga, además se aprecia la acumulación de basuras en la compuerta.

Ilustración 5. Descarga Colector 2 En Quebrada Chiguaza

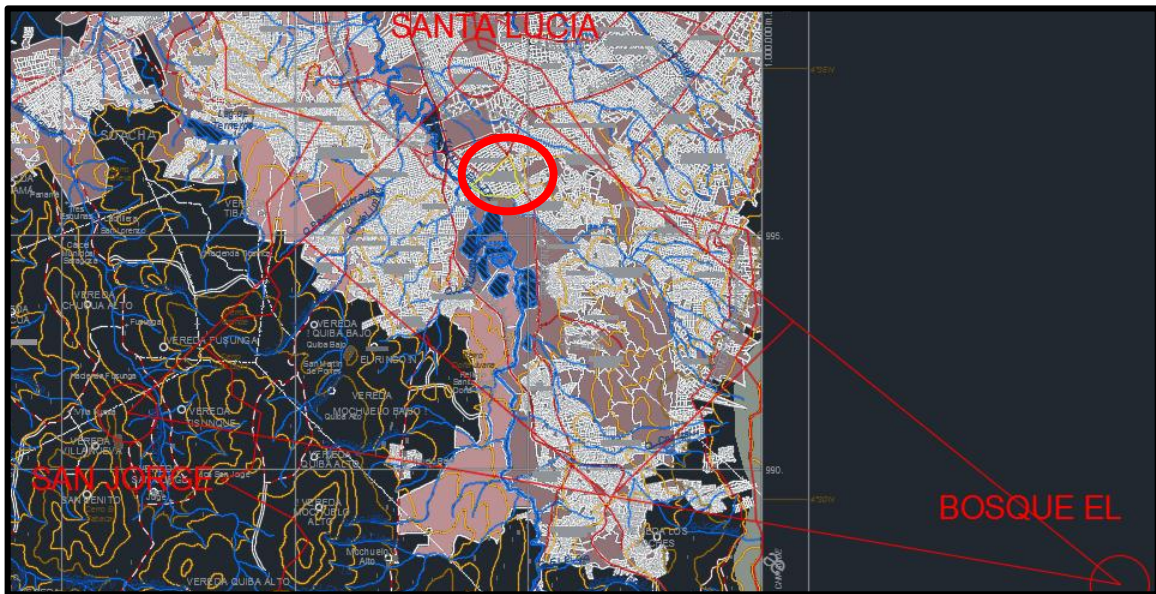


(Autores., 2017)

4.2. HIDROLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Para la zona de estudio se ubicaron las tres estaciones más cercanas con el fin de determinar la precipitación media de la cuenca del barrio Tunjuelito. El cálculo se realizó mediante los polígonos de Thiessen. Una vez realizado el trazado de las mediatrices para determinar el porcentaje de área aferente a cada estación, se obtuvo que la totalidad del área se encontraba en un solo polígono, de acuerdo con estos resultados se toma únicamente los datos de la estación de Santa Lucía, la cual cuenta con datos desde 1956 hasta 2017, para realizar el correspondiente análisis hidrológico.

Ilustración 6. Distribución estaciones hidrológicas Polígono de Thiessen



(Autores., 2017)

Para obtener los datos ausentes de las series históricas de precipitación, se genera la iteración entre las estaciones de El Bosque, San Jorge y Santa Lucía por el método de Proporción Normal²². Este método consiste en encontrar los datos con los que no cuentan las estaciones hidrológicas, mediante la ecuación de proporción normal, aplicada de la siguiente manera:

²² JIMENEZ Henry. 1986. Hidrología Básica 1. Colombia.

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right]$$

Ecuación 9. Proporción Normal - Calculo de Precipitación

Donde:

P_x = Dato faltante de la precipitación.

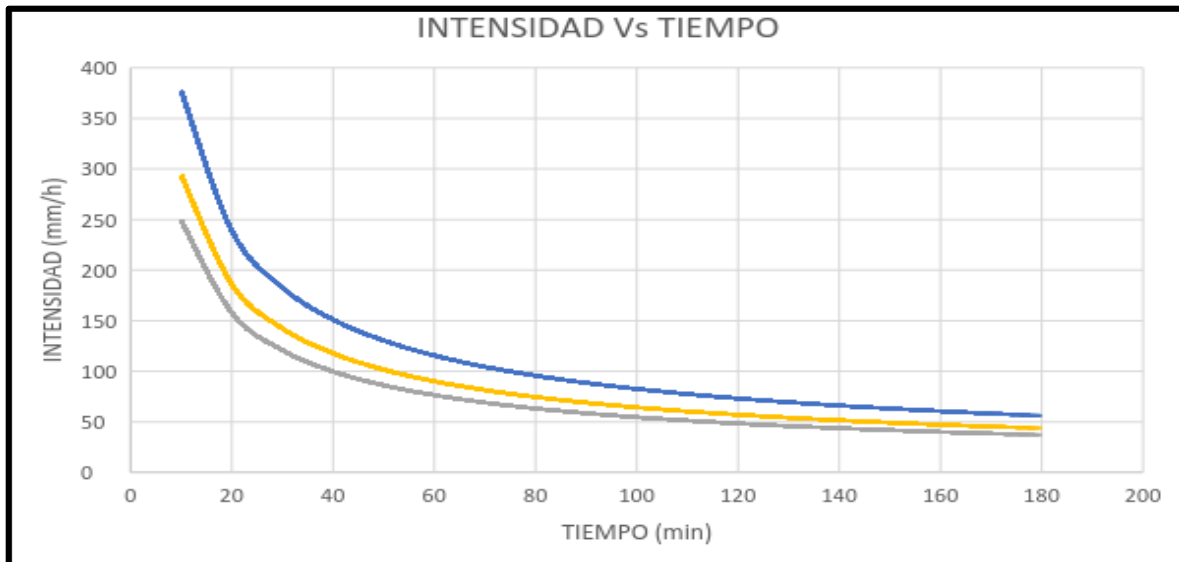
N_A , N_B y N_C = Precipitación mensual normal de las estaciones.

P_A , P_B y P_C = Precipitación de las 3 estaciones índices durante el mismo periodo de tiempo faltante.

N_x = Precipitación anual normal.

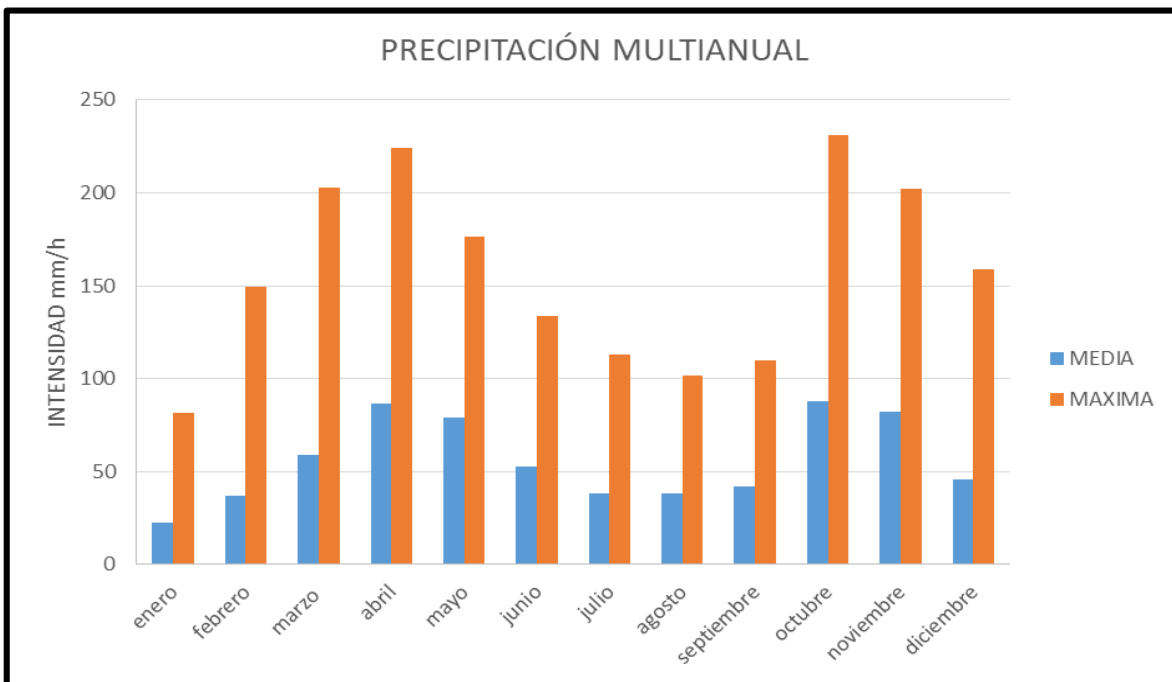
Conforme a lo anterior se realizó la curva de intensidad, duración y frecuencia para diferentes periodos de retorno, con ellos se realizó el hietograma o tormenta de diseño aplicado solo para la cuenca del barrio Tunjuelito.

Ilustración 7. Curva De Intensidad, Duración Y Frecuencia.



(Autores., 2017)

Ilustración 8. Ilustración precipitación media y máxima multianual de 1957 al 2017 en la Estación Santa Lucia



(Autores., 2017)

En la gráfica de precipitación media multianual, se identifican dos temporadas de lluvia en función de los meses, estas se presentan en dos rangos comprendidos así, marzo a mayo y octubre a noviembre. Los valores pico que presentan son del orden de 230 mm/h el cual se presenta para las dos temporadas.

Para determinar los niveles de la lámina de agua en el canal de la quebrada Chigüaza, se recurrió al estudio realizado para la “adecuación del cauce de la quebrada Chigüaza”²³, del cual se obtuvieron los caudales para los periodos de retorno a analizar.

²³ EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Diseño de la adecuación del cauce de la quebrada Chigüaza. Estudios y Asesorías Ltda. Ingenieros consultores. (1996).

Tabla 1. Resumen Caudales Vs Lámina de Agua

colector	pendiente (%)	periodo de retorno	caudal (m3/s)	lamina de agua (m)
1	0.030%	10	60.2	1.25
		25	69.4	1.49
		100	107	1.82
2	0.021%	10	60.2	1.4
		25	69.4	1.67
		100	107	2.05

(Autores., 2017)

Debido a que los caudales del diseño de la Quebrada Chigüaza superan los 20 años, se hace necesario obtener caudales más recientes, puesto que las alteraciones que se han presentado en los eventos climatológicos pueden afectar significativamente los caudales. Se realiza una actualización de los caudales en los periodos de retorno considerados para el proyecto, tomando como base el estudio de “calibración de los modelos hidrológico e hidráulico para el sistema de alerta temprana para inundación por desbordamiento para la quebrada Chigüaza”²⁴ obteniendo un aumento entre el 2% al 18% en la magnitud de los caudales.

Tabla 2. Comparación Caudales De Estudio Diseño Vs Estudio Calibración.

COMPARACION DE CAUDALES DE ESTUDIO DISEÑO Vs ESTUDIO CALIBRACION				
PERIDO DE RETORNO	UNIDAD	10	25	100
DISEÑO DE ADECUACION DEL CAUCE DE LA QUEBRADA CHIGUAZA - 1996	M3/S	60.2	79.1	107
ALTURA LAMINA DE AGUA EN EL CANAL DE LA QUEBRADA CHIGUAZA - 1996	M	1.25	1.49	1.82
CALIBRACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO PARA LA QUEBRADA CHIGUAZA - 2015	M3/S	61.6	<u>89.57</u>	131.6
ALTURA LAMINA DE AGUA EN EL CANAL DE LA QUEBRADA CHIGUAZA - 2015	M	1.27	1.62	2.09
INCREMENTO ALTURA LAMINA DE AGUA	M	0.02	0.13	0.27

(Autores., 2017)

²⁴ MONTAÑA Luis, Calibración De Los Modelos Hidrológico E Hidráulico Para El Sistema De Alerta Temprana Para Inundación Por Desbordamiento Para La Quebrada Chiguaza. Bogotá D.C.2015. Trabajo De Grado. (Magister en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.

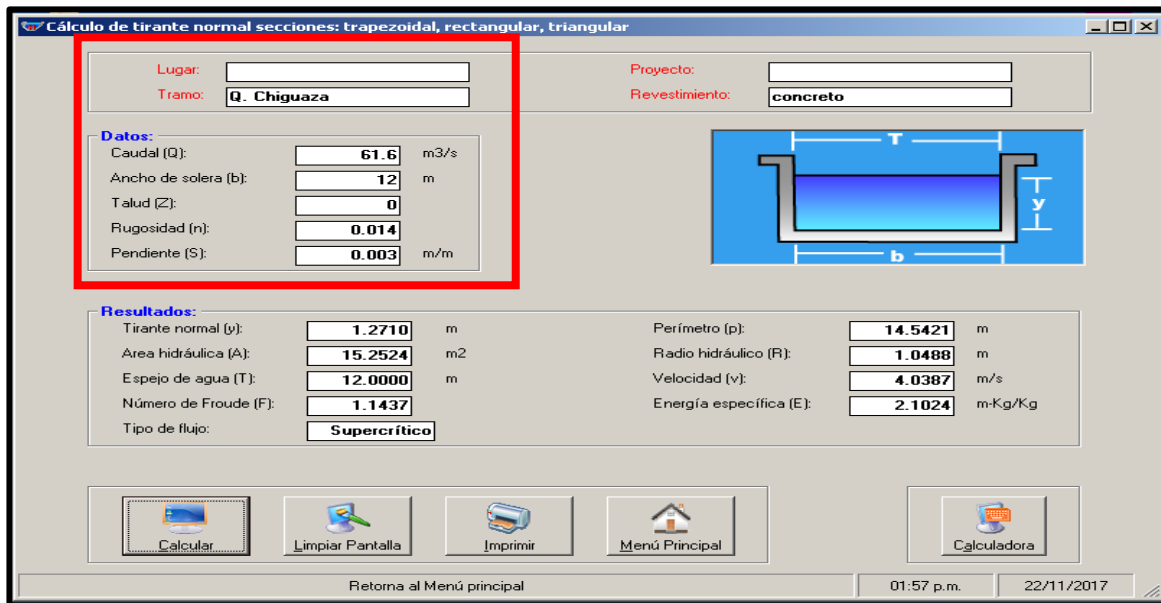
En la tabla número 2 se realiza el resumen de los caudales encontrados en los años correspondientes al diseño del canal de la Quebrada y la calibración de caudales. Debido a que el estudio de calibración no considera el periodo de retorno a 25 años, se ve la necesidad de interpolar este valor con respecto al valor encontrado en el diseño de adecuación del cauce de la quebrada Chiguaza²⁵. Estos valores se pueden identificar en la tabla mencionada.

Para la modelación, se consideraron los caudales más críticos que corresponden al estudio de la calibración del modelo hidráulico para la quebrada Chiguaza²⁶ y el caudal correspondiente a la interpolación, el cual fueron la base para determinar las alturas de la lámina de agua en el canal de la Quebrada Chigüaza.

Mediante la implementación del software H-CANALES y los datos de sección transversal del canal, pendiente y caudal de la Quebrada Chigüaza se logró determinar la altura de la lámina de agua para cada uno de los caudales, que serán utilizados en los tres periodos de diseño establecidos de 10, 25, y 100 años.

Para la sección del canal se tomó el plano “Canalización Quebrada la Chigüaza” ²⁷, este contempla dimensiones, pendientes por tramos, sección transversal, entre otros.

Ilustración 9. Modelación Caudal Período Retorno 10 Años



(Autores., 2017)

²⁵ EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, op. cit, p.34

²⁶ MONTAÑA, op. cit, p.35

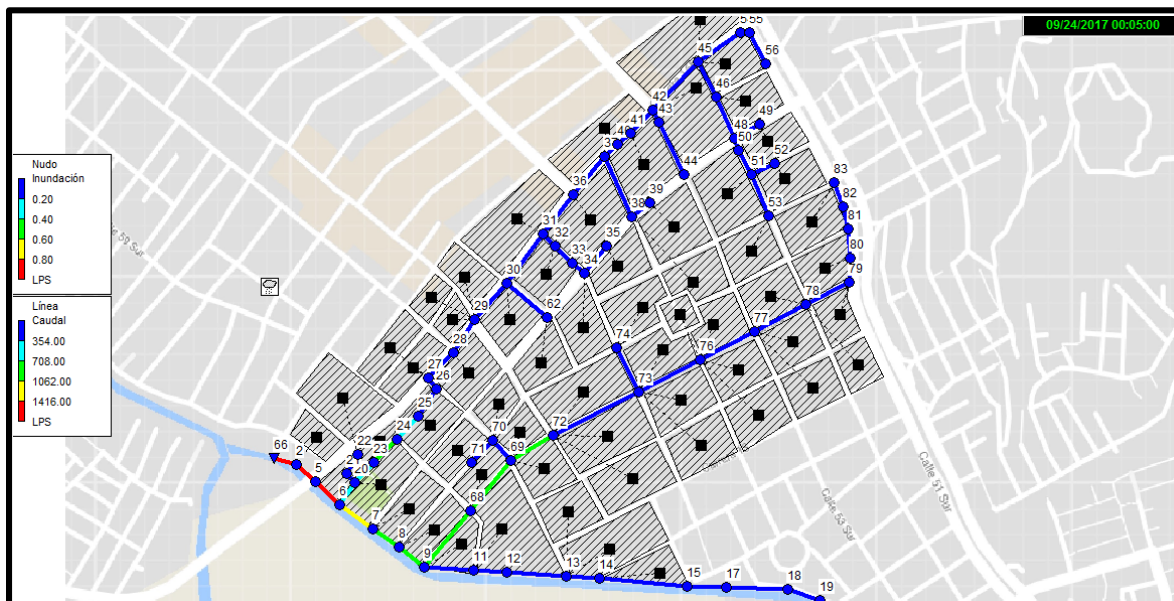
²⁷ EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Canalización Quebrada La Chiguaza. ID 01-1345. (2009)

En la ilustración presentada se resaltan los datos de entrada, los demás datos corresponden a los resultados de la simulación del software.

4.3. MODELACIÓN EN SWMM.

Una vez realizada la caracterización primaria de datos se procede a realizar el modelado de la red en el software. Se realizaron modelaciones independientes para cada periodo de retorno, dado que cada periodo de retorno presenta condiciones de diseño distintas tales como la altura de la lámina de agua. Para cada uno de estos escenarios se obtiene un informe donde se aprecian las condiciones de operación del sistema.

Ilustración 10. Modelación del alcantarillado e ingreso de datos.



(Autores., 2017)

5. RESULTADOS

5.1. COLECTOR No 1 BARRIO TUNJUELITO.

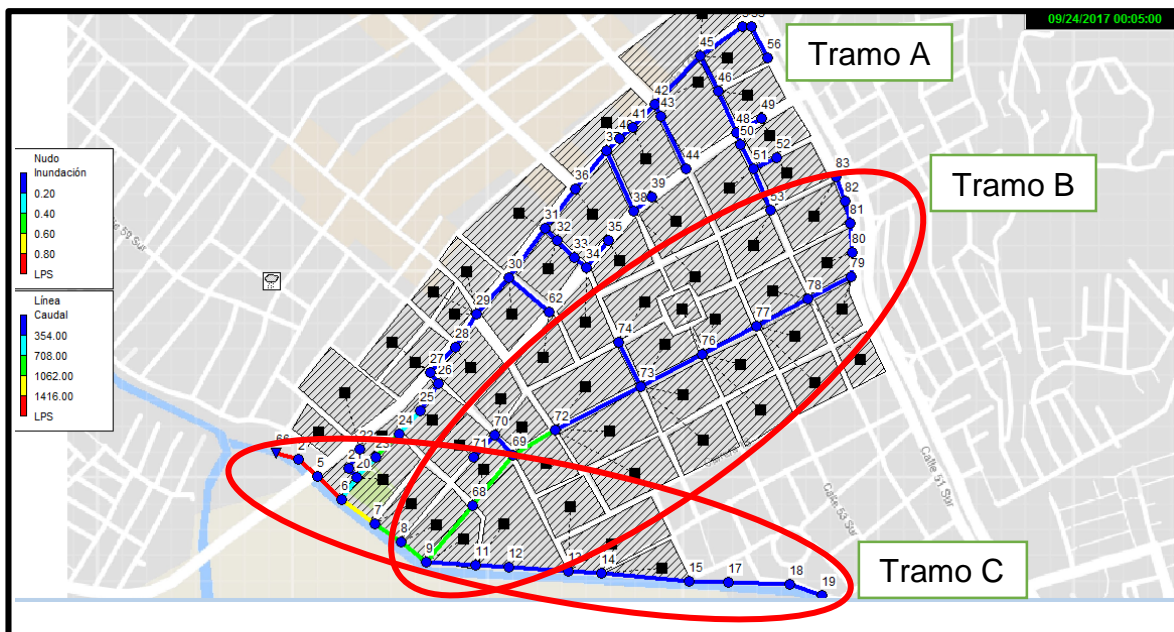
El presente colector posee tres tramos representativos los cuales se analizaron de forma independiente.

Tramo A: ubicado a lo largo de la carrera 16b sur iniciando sobre la Avenida Caracas y descargando en el canal de la Quebrada Chigüaza,

Tramo B: ubicado a lo largo de la carrera 14b sur iniciando sobre la Avenida Caracas y descargando en el canal de la Quebrada Chigüaza a la altura de la carrera 16c.

Tramo C: Ubicado en paralelo a la Quebrada Chigüaza iniciado desde la carrera 11 a sur y descargando en el canal de la Quebrada Chigüaza a la altura de la carrera 16c.

Ilustración 11. Distribución Alcantarillado Pluvial Colector 1. Barrio Tunjuelito

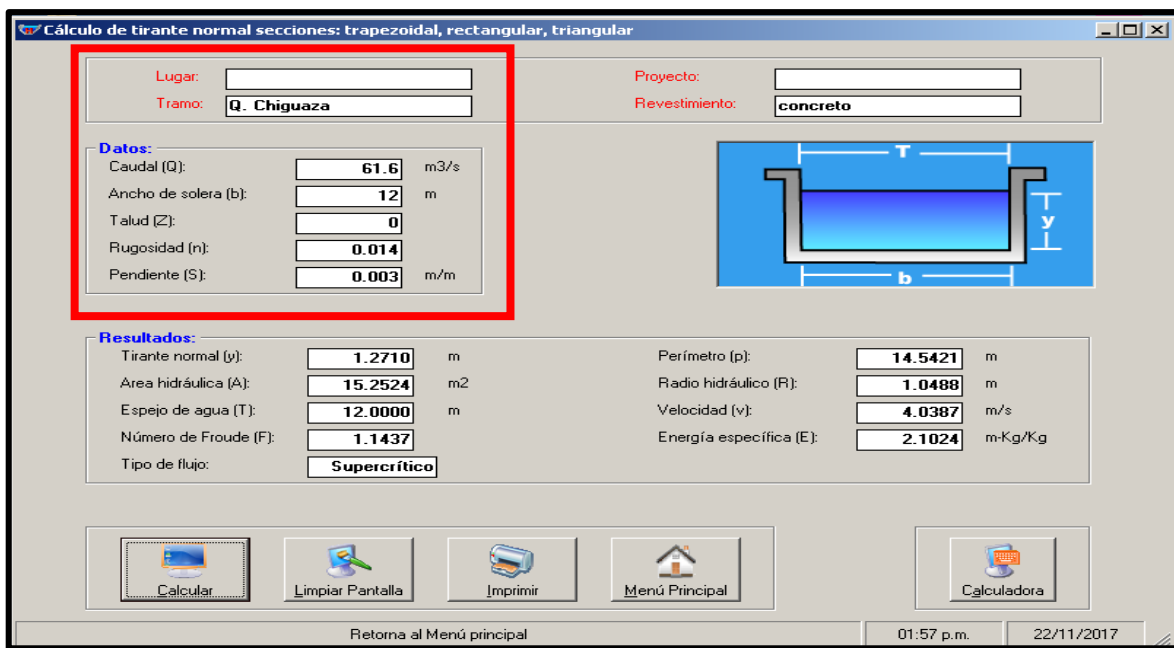


(Autores., 2017)

Para proceder a evaluar el alcantarillado pluvial del barrio Tunjuelito, se ubican los pozos en el plano de fondo de acuerdo a la información obtenida en el acueducto²⁸. Una vez ubicados los pozos con su respectiva cota fondo, se involucra la profundidad real del mismo, con el fin de que el programa pueda evaluar si el pozo está en la capacidad de controlar los caudales que se puedan presentar en exceso.

Se inicia con el trazado de los colectores entre pozos teniendo en cuenta el sentido del flujo. Para cada uno de estos tramos se ingresan los valores de cotas bateas, longitudes y diámetro de la tubería existente con base al levantamiento de redes con que cuenta EAB-ESP. Adicional a esto se representan las áreas de drenaje y se cargan a un pozo cercano para su respectivo análisis. Para realizar la modelación con el programa se debe tener en cuenta la información de precipitación de la estación hidrológica teniendo en cuenta los periodos de lluvia, para este caso la información proviene de la estación hidrológica de Santa Lucia. (Ver Numeral 4.2)

Ilustración 12. Modelación Caudal Periodo Retorno 10 Años



(Autores., 2017)

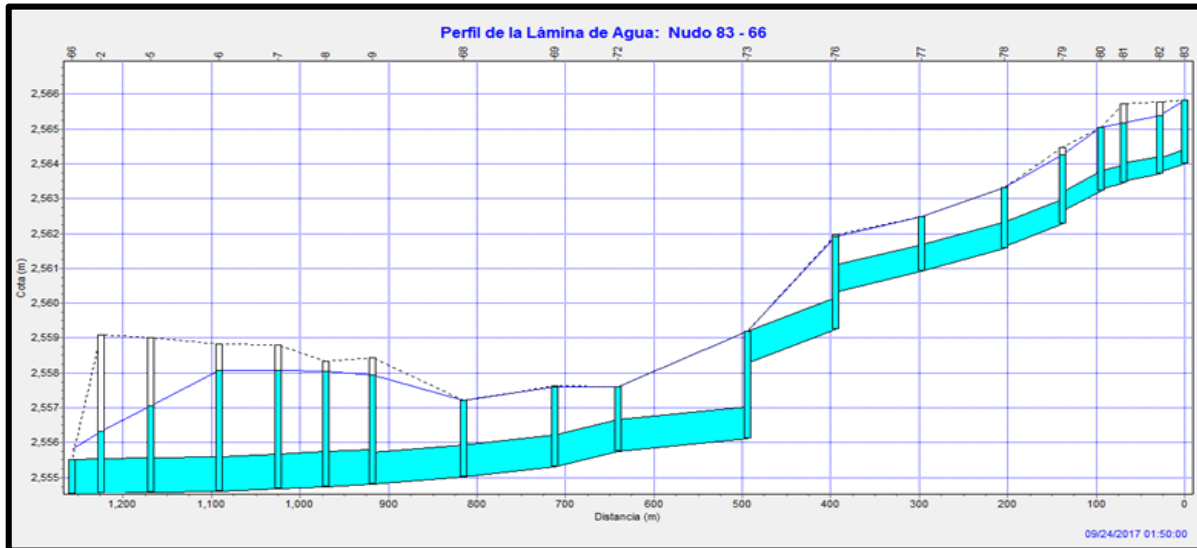
En la ilustración presentada se resaltan los datos de entrada, los demás datos corresponden a los resultados de la simulación del software.

²⁸ Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá Plano Alcantarillado Pluvial Barrio Tunjuelito. EAAB

Para efectos de encontrar la lámina de agua en la sección del canal de la Quebrada Chigüaza, se realiza la modelación mediante el software HCANALES, ingresando los valores de la sección del canal como lo son caudal, ancho, rugosidad y pendiente²⁹, con el fin de obtener la altura de la lámina de agua y poder ingresar este valor en SWWM en el vertedero.

Para esta modelación se tomaron los caudales de diseño presentados en la calibración de los modelos hidrológico e hidráulico para el sistema de alerta temprana para inundación por desbordamiento de la Quebrada Chigüaza³⁰. El cálculo se genera para los períodos de retorno de 10, 25 y 100 años respectivamente. Se tiene en cuenta los dos primeros periodos de retorno debido a que los alcantarillados se diseñan para 10 años. Para 25 años, se genera para identificar un nivel ya crítico para el sistema y 100 años para dimensionar el peor escenario posible.

Ilustración 13. Perfil Lámina De Agua En Colector 1 Tramo B Período Retorno 10 Años



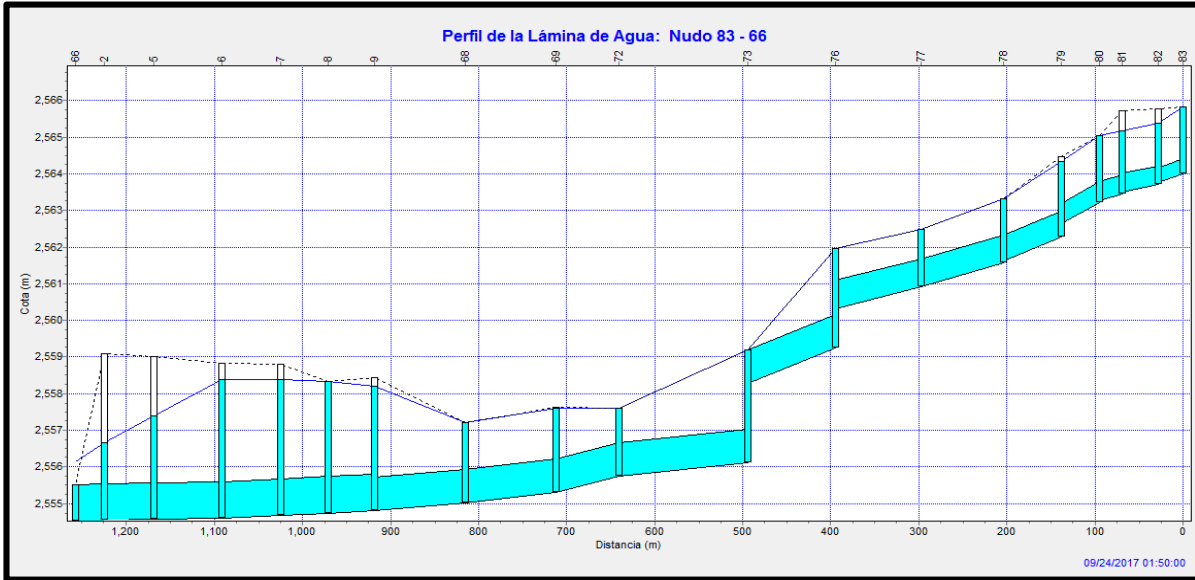
(Autores., 2017)

En el descole existente de este colector, el vertedero se encuentra trabajando bajo el nivel de agua mínimo del canal de la Quebrada Chigüaza, esto de acuerdo a la visita de campo efectuada para corroborar los descoles y el estado actual de la red de alcantarillado.

²⁹ EAAB. (2009) Canalización Quebrada La Chiguaza. ID 01-1345 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

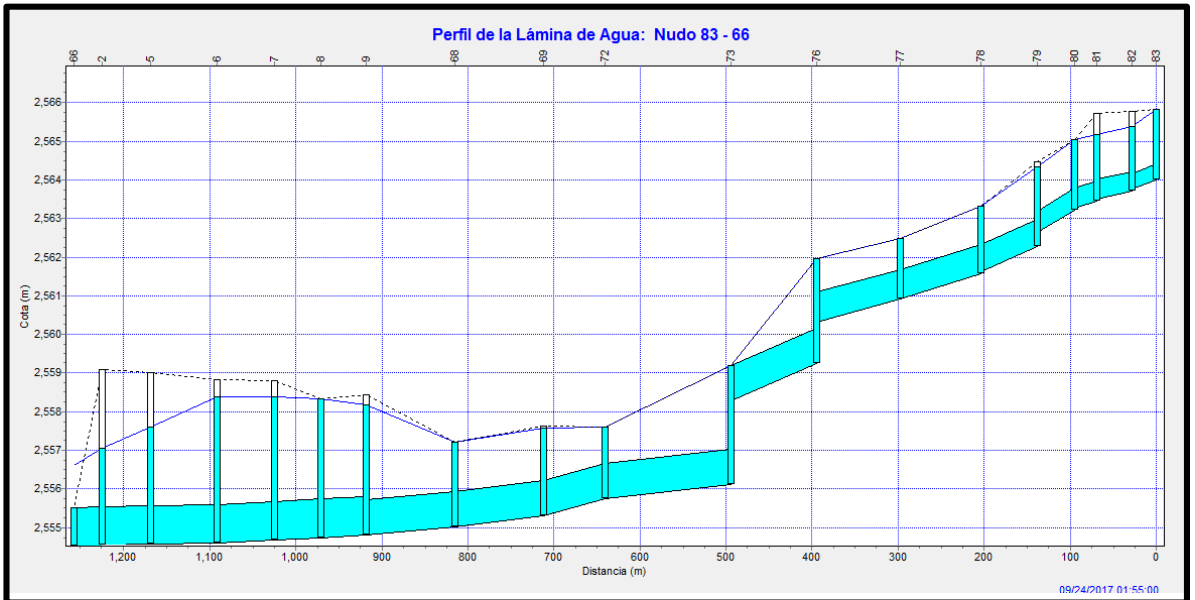
³⁰ MONTAÑA Luis, Calibración De Los Modelos Hidrológico E Hidráulico Para El Sistema De Alerta Temprana Para Inundación Por Desbordamiento Para La Quebrada Chiguaza. Bogotá D.C.2015. Trabajo De Grado. (Magister en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.

Ilustración 14. Perfil lámina de agua en colector 1 tramo B período retorno 25 años



(Autores., 2017)

Ilustración 15. Perfil lámina de agua en colector 1 tramo B período retorno 100 años



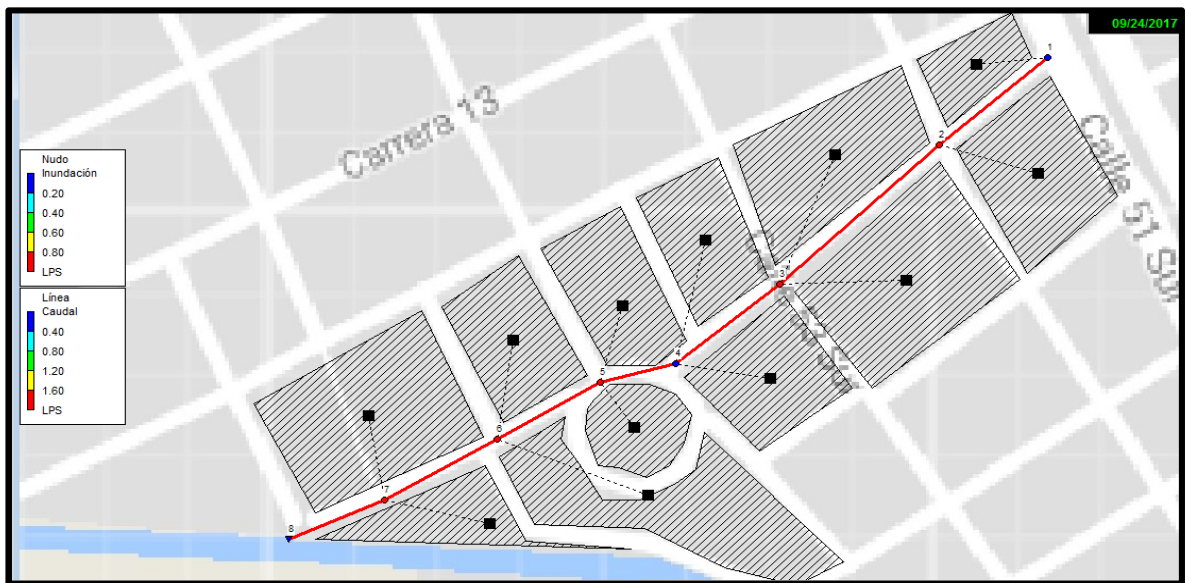
(Autores., 2017)

Los perfiles de lámina de agua expuestos para los períodos de retorno de 10, 25 y 100 años respectivamente, muestran el comportamiento de la lámina de agua en función de las cotas del terreno y los niveles que alcanza bajo los diferentes eventos de lluvia, de igual forma permite apreciar la profundidad de cada uno de los pozos y la máxima altura de la lámina de agua en cada uno de estos.

5.2. COLECTOR No 2 BARRIO TUNJUELITO.

Se presentan los resultados del colector 2 del alcantarillado pluvial del barrio Tunjuelito ubicado a lo largo de la carrera 12 sur, iniciando sobre la Avenida Caracas y descargando en el canal de la Quebrada Chigüaza. Este colector cuenta con una descarga independiente, lo que genera su modelación independiente.

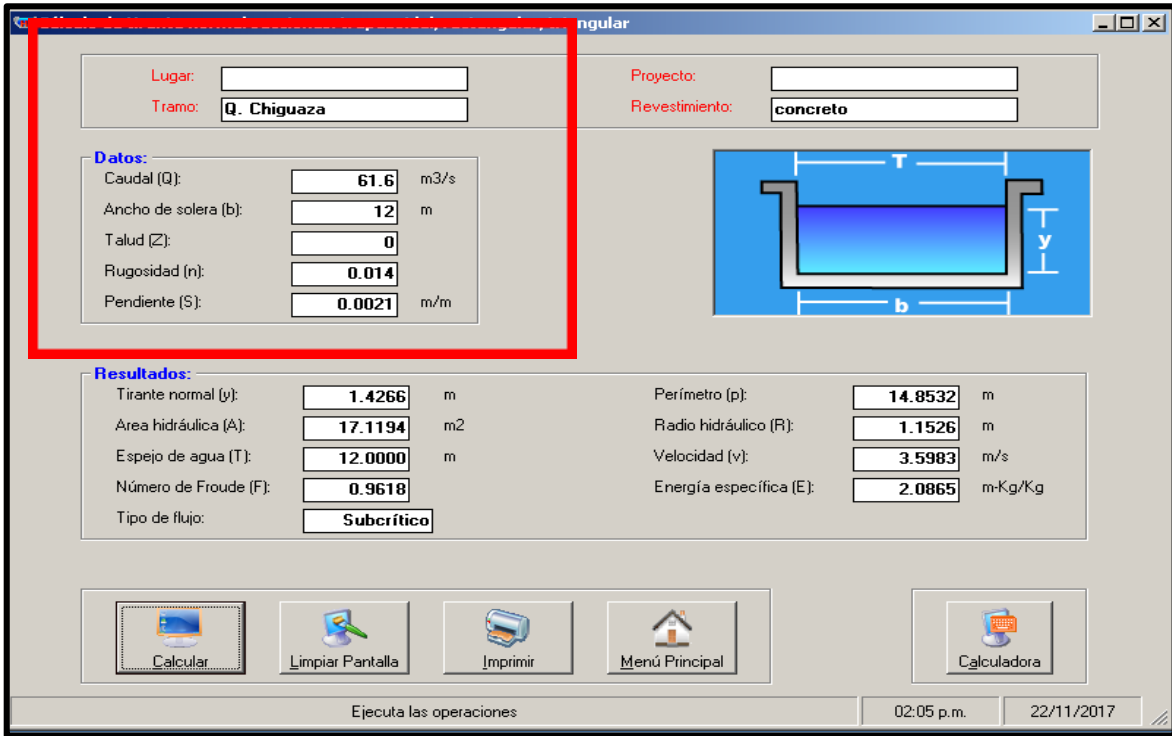
Ilustración 16. Distribución Alcantarillado Pluvial Barrio Tunjuelito Colector 2.



(Autores., 2017)

Este colector está conformado con un colector principal del cual se derivan las estructuras de recolección, para funcionalidad del colector se encontró que en su descole tiene instalada una válvula antirreflujo en acero, lo que permite controlar el refluo cuando el caudal del canal aumenta considerablemente.

Ilustración 17. Modelación Caudal Periodo Retorno 10 Años



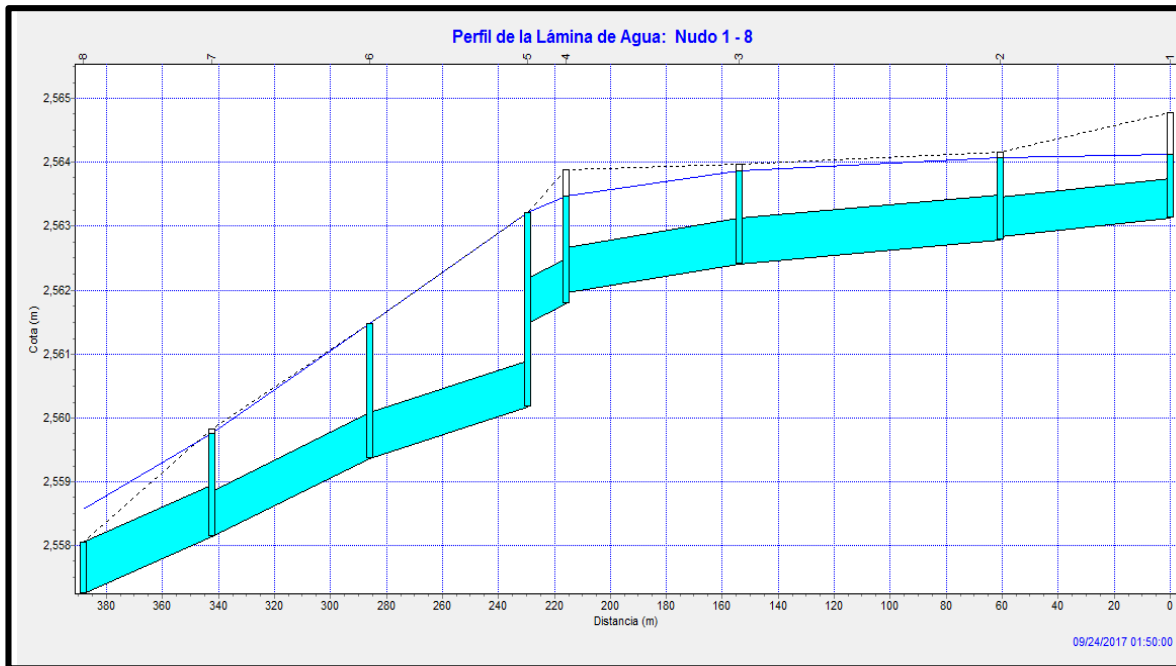
(Autores., 2017)

En la ilustración 17, se resaltan los datos de entrada, los demás datos corresponden a los resultados de la simulación del software.

El colector 2 trabaja con los caudales de 61.6, 89,6 y 131.6 m³/s, correspondiente a cada período de retorno teniendo en cuenta que el descole de este, se evalúa con una pendiente diferente de la sección de descarga. Para este caso corresponde al 0.021% de acuerdo con la información de Canalización Quebrada La Chiguaza³¹.

³¹ EAAB. (2009) Canalización Quebrada La Chiguaza. ID 01-1345 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Ilustración 18. Perfil Lámina De Agua En Colector 2 en período de retorno de 10 años.



(Autores., 2017)

La ilustración 18, permite apreciar el comportamiento de la lámina de agua en función de las cotas del terreno y los niveles que alcanza bajo un evento de lluvia para los períodos de retorno de 10, 25 y 100 años, esto a razón que en los 3 casos de análisis la tubería presenta inundación, además se tiene en cuenta el volumen de inundación a variar con respecto al período analizado³².

³² EAAB. (2009) Canalización Quebrada La Chiguaza. ID 01-1345 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

6. ANÁLISIS

El Modelo de gestión de aguas pluviales de la EPA (SWMM) se utiliza en todo el mundo para la planificación, el análisis y el diseño relacionados con la escorrentía de aguas pluviales, alcantarillados combinados y sanitarios entre otros sistemas de drenaje en áreas urbanas; adicionalmente permite la simulación de calidad del agua hidrológica e hidráulica. Se usa para la simulación de evento único a largo plazo de la cantidad y calidad de escorrentía de áreas principalmente urbanas. El componente de escorrentía opera en una colección de áreas de subcuencas que reciben precipitación, generan cargas de escorrentía y contaminantes. La porción de enrutamiento transporta esta escorrentía a través de un sistema de tuberías y canales³³.

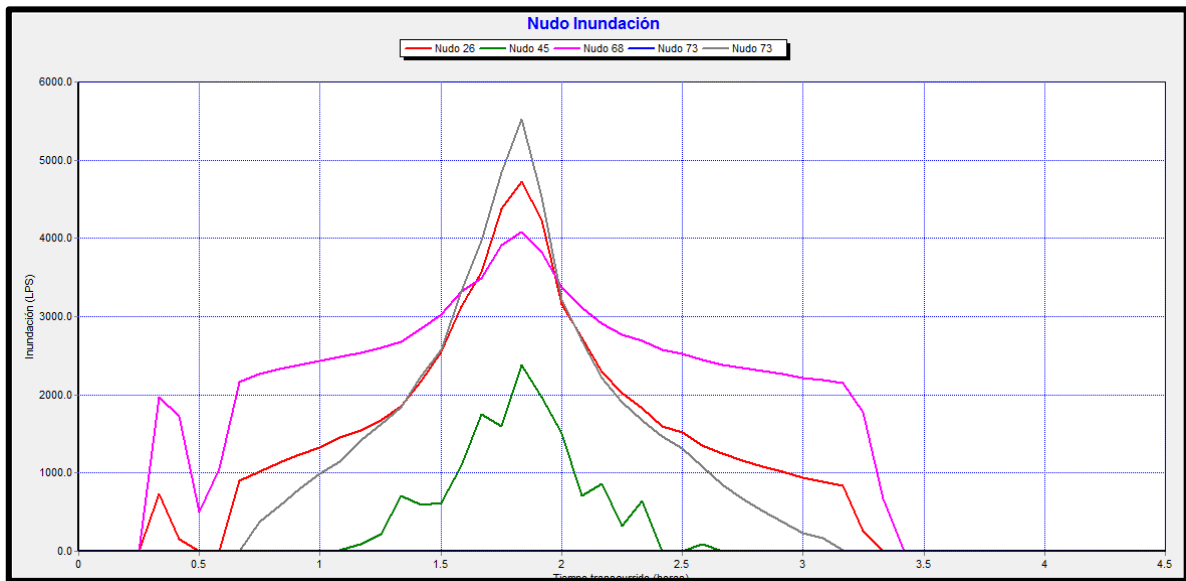
6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS COLECTOR 1.

Para el alcantarillado pluvial del barrio Tunjuelito, con base en la modelación mediante el software SWMM se observa comportamientos en la tubería para ser analizado en cada uno de los períodos de retorno propuestos.

³³ Model-Swmm. [En línea]. [7 de noviembre 2017] (<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>)

6.1.1. Período De Retorno 10 Años

Ilustración 19. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 1. Período Retorno 10 Años



(Autores., 2017)

Para el colector 1, en el período de retorno de 10 años, se extrae el diagrama de inundación correspondiente a los nodos más propensos a generar rebose tras el evento de lluvia analizado, demostrado en los nodos 26, 45, 68, 72 y 73 que corresponden a los más críticos. En la Ilustración 19, permite apreciar el instante de tiempo en el que inicia la inundación para este caso de 00:20 horas, además de obtener el caudal máximo de 5.500 lt/s respecto a cada pozo analizado.

La inundación crítica en el barrio se presenta en el rango de tiempo comprendido entre 0.25 a 3.4 horas del evento de lluvia.

Ilustración 20. Informe de estado período de retorno 10 años

```

*****
Resumen de Inundación en Nudos
*****
Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.
-----

```

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
11	2.99	2180.79	0 01:50	7.226	0.00
13	3.09	2439.98	0 01:50	9.394	0.00
14	2.51	409.20	0 01:50	0.941	0.00
15	0.03	344.46	0 02:31	0.004	0.00
17	0.01	33.31	0 00:17	0.000	0.00
18	0.01	156.45	0 02:31	0.001	0.00
22	2.01	1257.81	0 01:50	2.465	0.00
24	0.23	533.42	0 01:51	0.209	0.00
26	2.82	4797.44	0 01:50	18.424	0.00
31	0.58	1745.26	0 01:50	1.562	0.00
32	2.61	1296.11	0 01:50	5.425	0.00
33	2.64	100.42	0 00:39	0.769	0.00
34	2.76	1191.65	0 01:50	5.232	0.00
35	2.79	790.40	0 01:50	2.477	0.00
36	1.71	1893.61	0 01:50	4.277	0.00
37	2.55	663.98	0 01:51	4.567	0.00
38	2.98	981.66	0 01:50	4.076	0.00
39	2.93	1167.91	0 01:50	3.684	0.00
40	0.43	535.32	0 01:50	0.402	0.00
41	1.78	1378.93	0 01:50	3.233	0.00
42	1.08	913.52	0 01:50	1.301	0.00
44	0.01	221.17	0 00:37	0.003	0.00
45	1.46	2906.69	0 01:50	4.727	0.00
46	0.46	364.36	0 01:50	0.275	0.00
48	0.01	21.62	0 02:26	0.001	0.00
49	2.76	806.18	0 01:50	3.487	0.00
50	2.39	497.63	0 01:44	3.046	0.00
51	1.01	855.51	0 01:50	1.121	0.00
52	2.78	1098.91	0 01:50	4.273	0.00
53	2.84	1124.28	0 01:50	4.792	0.00
54	0.21	906.31	0 02:18	0.434	0.00
56	0.03	20.37	0 01:56	0.002	0.00
62	0.68	550.55	0 01:50	0.590	0.00
68	3.09	4173.14	0 01:51	27.706	0.00
70	2.68	532.36	0 01:50	1.726	0.00
71	2.19	528.55	0 01:50	1.066	0.00
72	2.99	7090.08	0 01:50	35.530	0.00
73	2.49	5546.44	0 01:50	16.308	0.00
74	0.05	433.68	0 00:16	0.006	0.00
77	1.42	2022.50	0 01:50	3.112	0.00
78	1.14	1551.53	0 01:50	2.645	0.00
80	0.44	579.28	0 01:50	0.445	0.00
83	0.82	760.14	0 01:50	0.984	0.00

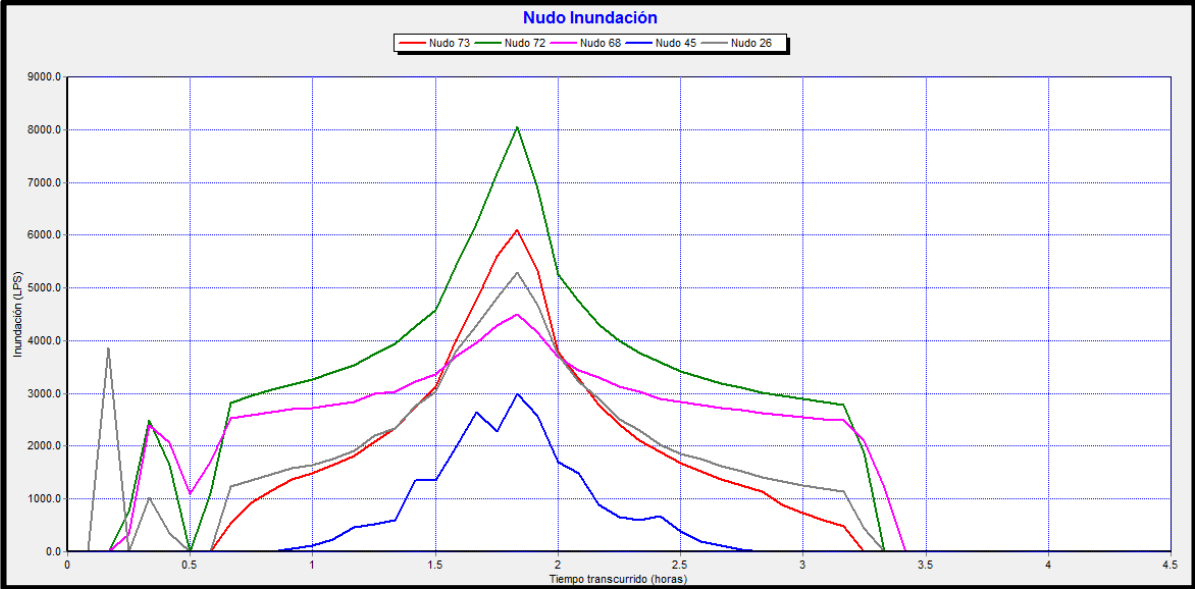
(Autores., 2017)

De acuerdo al informe de estado expuesto en la ilustración 20, los pozos que presentan un mayor volumen de inundación se encuentran en la parte del deprimido del barrio Tunjuelito. Además, el tiempo crítico de inundación está concebido a las 01:70 horas del evento de lluvia y presentan el mayor tiempo de estancamiento de aguas tras la inundación con un tiempo estimado de 03:00 horas.

Conforme a lo observado en el perfil de lámina de agua para el tramo comprendido entre los nodos 86 a 66, se evidencia que los nodos ubicados en la parte alta y algunos de ellos con cotas menores presentan inundación, esto indica que la tubería no tiene la capacidad de evacuar el volumen de agua generado por el evento de lluvia.

6.1.2. Período De Retorno 25 Años.

Ilustración 21. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 1. Período Retorno 25 Años



(Autores., 2017)

Para el colector 1, en el período de retorno de 25 años ratifica que la inundación se presenta a escasos minutos del evento de lluvia iniciando a las 00:10 horas; De igual forma al cotejar los caudales de inundación con el periodo de retorno anterior se evidencia un incremento de aproximadamente el 12%. Aún mantiene los nodos de inundación críticos.

Ilustración 22. . Informe de estado período de retorno 25 años

```

*****
Resumen de Inundación en Nudos
*****
Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada
-----

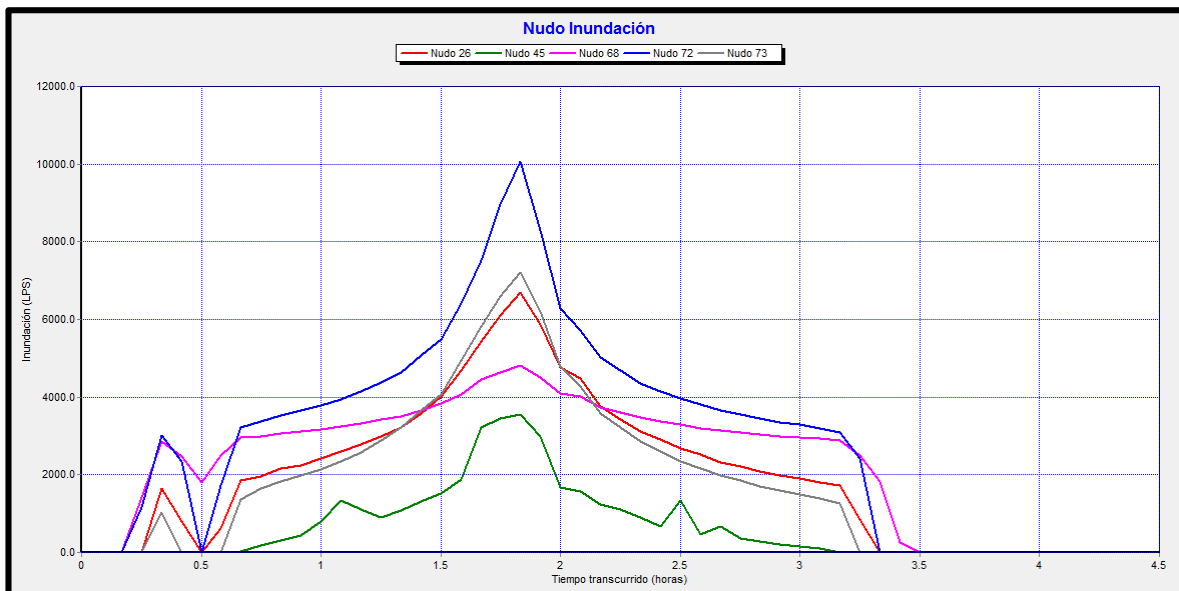
```

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10^6 ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
8	0.02	134.94	0 00:10	0.007	0.00
9	0.01	85.34	0 00:10	0.000	0.00
11	3.05	2629.18	0 01:49	8.889	0.00
13	3.11	2887.94	0 01:49	11.080	0.00
14	2.63	502.65	0 01:49	1.276	0.00
15	0.01	95.42	0 00:15	0.001	0.00
17	0.01	68.39	0 02:28	0.000	0.00
22	2.51	1570.17	0 01:49	3.504	0.00
24	0.38	1038.60	0 01:50	0.686	0.00
25	0.01	881.23	0 00:15	0.002	0.00
26	2.90	5305.84	0 01:49	22.809	0.00
31	0.78	2516.13	0 01:49	2.632	0.00
32	2.71	1469.57	0 01:49	6.572	0.00
33	2.72	98.97	0 00:38	0.794	0.00
34	2.84	1385.37	0 01:49	6.038	0.00
35	2.86	950.52	0 01:49	3.065	0.00
36	2.58	2542.09	0 01:49	8.573	0.00
38	3.02	1213.30	0 01:49	5.295	0.00
39	2.98	1404.62	0 01:49	4.553	0.00
40	1.40	1067.33	0 01:49	1.662	0.00
41	2.52	1625.48	0 01:49	5.445	0.00
42	1.45	1182.12	0 01:49	1.954	0.00
44	0.01	229.78	0 00:17	0.004	0.00
45	1.91	3403.72	0 01:48	6.892	0.00
46	0.62	527.04	0 01:49	0.490	0.00
48	0.01	37.20	0 02:29	0.000	0.00
49	2.83	937.25	0 01:49	4.011	0.00
50	1.34	54.95	0 02:29	0.119	0.00
51	2.64	1700.54	0 01:49	6.575	0.00
52	2.85	1182.25	0 01:49	4.140	0.00
53	2.90	1280.01	0 01:49	5.311	0.00
54	0.19	1170.32	0 01:12	0.369	0.00
62	0.91	714.21	0 01:49	0.915	0.00
68	3.15	4513.50	0 01:49	31.838	0.00
70	2.76	636.78	0 01:49	2.130	0.00
71	2.55	654.72	0 01:48	1.482	0.00
72	3.04	8156.94	0 01:49	39.891	0.00
73	2.59	6169.30	0 01:49	21.202	0.00
74	0.18	311.88	0 00:14	0.075	0.00
76	0.13	427.45	0 01:49	0.096	0.00
77	1.90	2415.31	0 01:49	4.572	0.00
78	1.48	1892.19	0 01:49	3.767	0.00
80	0.61	1800.79	0 00:10	0.878	0.00
83	1.11	967.30	0 01:49	1.478	0.00

(Autores., 2017)

6.1.3. Período De Retorno 100 Años

Ilustración 23. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 1. Período Retorno 100 Años



(Autores., 2017)

Para el colector 1, en el período de retorno de 100 años se extrae el diagrama de inundación correspondiente a los nodos previamente identificados en los períodos anteriores como críticos. La ilustración 23 permite apreciar el instante de tiempo en que inicia la inundación, para este caso inicia a las 00:15 horas. Además, se obtiene el caudal máximo correspondiente a 10.000 lt/s en un tiempo de 1,9 horas.

La inundación crítica en período de retorno de 100 años en el barrio, se presenta en el rango de tiempo comprendido entre 00:15 a 03:50 horas del evento de lluvia contemplando un caudal de 10.000 lt/s.

Ilustración 24. Informe de estado período de retorno 100 años

```

*****
Resumen de Inundación en Nudos
*****

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.
-----

```

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
8	0.32	1171.75	0 01:50	0.697	0.00
11	3.11	3400.60	0 01:50	11.960	0.00
13	3.16	3700.29	0 01:50	14.192	0.00
14	2.74	671.38	0 01:50	1.901	0.00
15	0.03	206.07	0 02:47	0.005	0.00
22	2.66	2105.03	0 01:50	5.570	0.00
24	0.47	1421.72	0 01:50	1.158	0.00
26	2.97	6704.77	0 01:50	31.254	0.00
28	0.01	81.47	0 01:49	0.003	0.00
31	1.12	3785.99	0 01:50	5.017	0.00
32	2.80	1783.95	0 01:50	8.224	0.00
33	2.83	98.56	0 00:18	0.824	0.00
34	2.90	1736.53	0 01:50	7.426	0.00
35	2.94	1240.70	0 01:50	4.164	0.00
36	2.72	3161.36	0 01:50	12.001	0.00
37	0.01	43.46	0 00:16	0.001	0.00
38	3.06	1520.20	0 01:50	6.536	0.00
39	3.03	1833.82	0 01:50	6.178	0.00
40	2.08	1498.44	0 01:50	2.912	0.00
41	2.68	2072.56	0 01:50	7.610	0.00
42	2.12	1675.39	0 01:50	3.406	0.00
44	0.01	273.91	0 00:35	0.006	0.00
45	2.49	4439.62	0 01:49	10.357	0.00
46	0.92	821.88	0 01:50	0.994	0.00
49	2.92	1174.78	0 01:50	4.983	0.00
50	1.02	18.23	0 01:05	0.028	0.00
51	2.78	2193.51	0 01:50	8.848	0.00
52	2.93	1519.62	0 01:50	5.393	0.00
53	2.98	1613.97	0 01:50	6.616	0.00
54	0.19	1181.91	0 00:47	0.524	0.00
56	0.02	28.85	0 01:45	0.002	0.00
58	1.88	1857.69	0 01:50	1.669	0.00
68	3.24	4803.06	0 01:50	37.180	0.00
69	0.01	7.06	0 01:49	0.000	0.00
70	2.86	826.94	0 01:50	2.863	0.00
71	2.70	883.38	0 01:50	2.323	0.00
72	3.09	10065.84	0 01:50	47.615	0.00
73	2.73	7217.15	0 01:50	28.991	0.00
74	0.37	541.73	0 01:50	0.351	0.00
76	0.31	1400.40	0 01:50	0.779	0.00
77	2.52	3006.65	0 01:50	7.473	0.00
78	2.24	2491.26	0 01:50	6.325	0.00
79	0.03	24.41	0 01:50	0.002	0.00
80	0.91	1289.87	0 01:50	1.594	0.00
83	1.68	1342.87	0 01:50	2.592	0.00

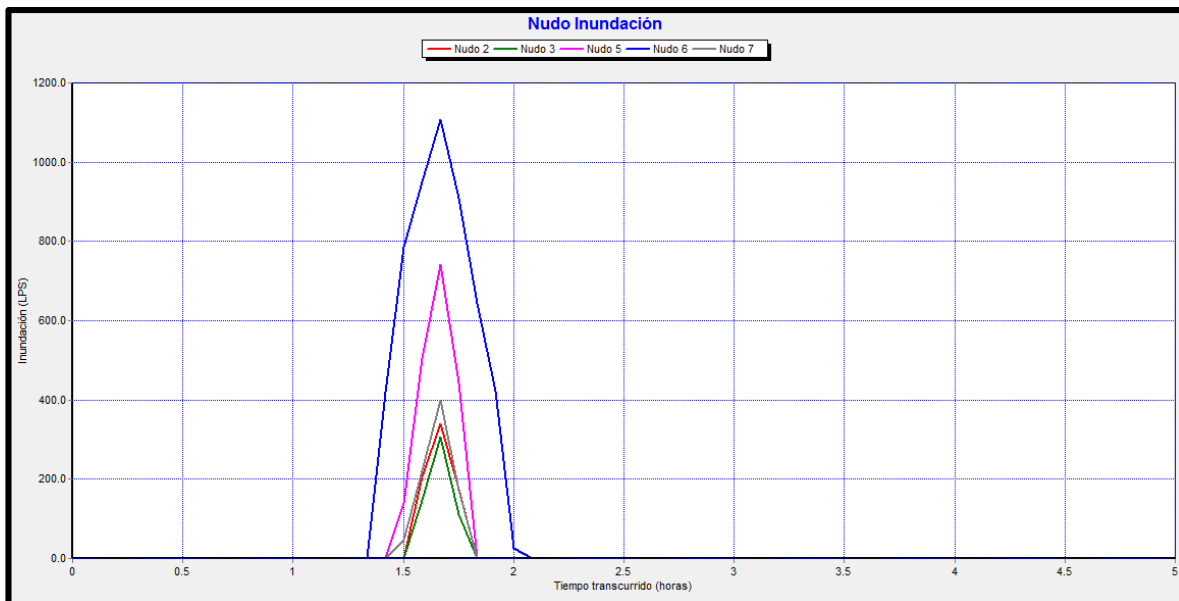
(Autores., 2017)

Para el período de retorno de 100 años se evidencia que los nodos propensos a inundación corresponden a los señalados en el informe de estado (ver Ilustración 24). Vale resaltar que estos mismos nodos respecto al período de 25 años presentan un incremento de inundación del 42%. Con esto se establece que los nodos son reiterativos en las zonas propensas a la inundación.

6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS COLECTOR 2.

6.1.1. Período De Retorno 10 Años.

Ilustración 25. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 2. Período Retorno 10 Años.



(Autores., 2017)

Para el colector 2, en el período de retorno de 10 años, se extrae el diagrama de inundación correspondiente a los únicos nodos que generan rebose tras el evento de lluvia analizado. La ilustración 25, permite apreciar el instante de tiempo en el que inicia la inundación comprendido entre 01:12 a 02:05 horas, tiempo en el que el colector pluvial no está en la capacidad de evacuar el caudal máximo de 1.100 lt/s respecto al aporte generado por el evento de lluvia.

Ilustración 26. Informe de estado período de retorno 10 años

```

*****
Resumen de Inundación en Nudos
*****

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.
-----

```

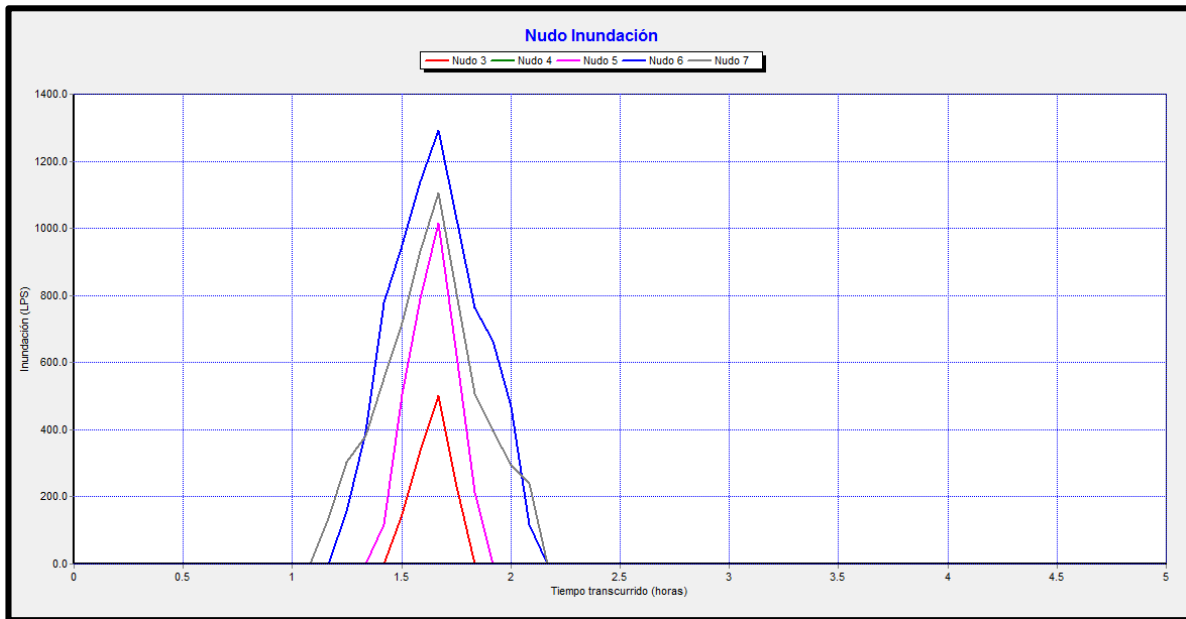
Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
2	0.30	338.75	0 01:40	0.220	0.00
3	0.27	534.72	0 01:59	0.166	0.00
5	0.35	741.00	0 01:40	0.562	0.00
6	0.66	3323.70	0 03:15	1.604	0.00
7	0.34	2320.69	0 00:11	0.257	0.00

(Autores, 2017)

Para el período de retorno de 10 años en el colector 2, el nudo con inundación pico corresponde al señalado en el informe de estado. Vale resaltar que los nodos 1 y 4 no presentan inundación puesto que los favorece la cota rasante, que impide su reboce; Pese a que los pozos no se inundan de acuerdo al informe de estado se evidencia que la tubería se encuentra trabajando en sobrecarga, lo que indica que el sistema funciona a presión.

6.1.2. Período De Retorno 25 Años.

Ilustración 27. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 2. Periodo Retorno 25 Años



(Autores., 2017)

Para el colector 2 en el período de retorno de 25 años, se extrae el diagrama de inundación correspondiente a los 5 nodos que generan mayor rebose tras el evento de lluvia analizado. Este período tiene un aumento estimado del 10% respecto al período de retorno de 10 años.

La ilustración 27 permite apreciar el instante de tiempo en el que inicia la inundación, además de obtener el caudal máximo de 1.300 lt/s. El tiempo de inundación está comprendido entre 01:10 a 02:10 horas, tiempo en el que el colector pluvial no está en la capacidad de evacuar el aporte generado por el evento de lluvia.

Ilustración 28. Informe de estado período de retorno 25 años

```

*****
Resumen de Inundación en Nudos
*****

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.
-----

```

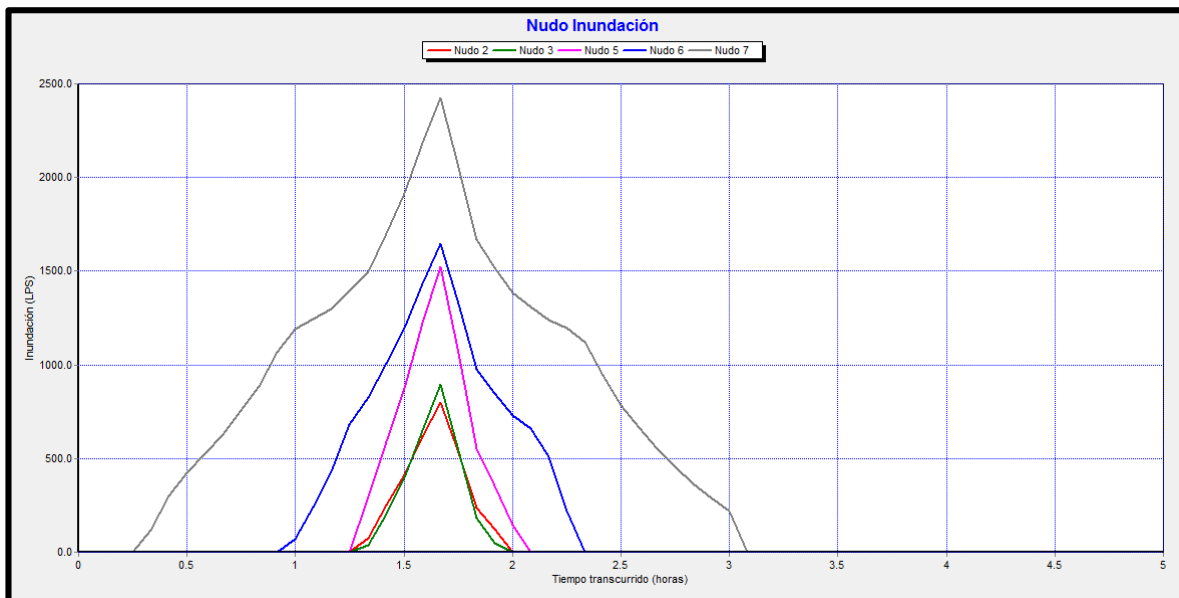
Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
1	0.01	375.50	0 00:13	0.002	0.00
2	0.40	498.78	0 01:40	0.416	0.00
3	0.37	501.45	0 01:40	0.361	0.00
4	0.02	578.69	0 00:12	0.035	0.00
5	0.52	5116.66	0 00:13	1.337	0.00
6	0.90	4013.48	0 03:16	2.335	0.00
7	1.09	2651.63	0 00:11	2.083	0.00

(Autores., 2017)

Para este período, el colector presenta reboso por sus 7 nodos, lo que manifiesta que el colector se encuentra colapsado. Las inundaciones son de menor magnitud en cuanto a caudal de reboso y el tiempo en que se presenta el inicio de la inundación es similar al período de retorno de 25 años el cual oscila entre 1:15 hora y 1:30 hora. Para el presente período el pozo que presenta un incremento en el caudal de inundación cambia del 6 al 5 respecto al período de retorno de 10 años.

6.1.3. Período De Retorno 100 Años

Ilustración 29. Diagrama De Inundación Por Nodos Colector 2. Período Retorno 100 Años



(Autores., 2017)

Para este período de retorno, el diagrama de inundación correspondiente a los únicos nodos que generan rebose tras el evento de lluvia analizado, este tiene un aumento estimado del 75% respecto al período de retorno de 25 años.

La ilustración 29 permite apreciar el instante de tiempo en el que inicia la inundación, además de obtener el caudal máximo de 2400 lt/s aproximados. El tiempo de inundación está comprendido entre 0.25 a 3.1 horas, tiempo en el que el colector pluvial no está en la capacidad de evacuar el aporte generado por el evento de lluvia.

Se deduce que el colector sigue trabajando a presión y no está en la capacidad de poder drenar las aguas lluvias de las áreas aferentes cargadas a este colector. Se puede concluir que el aumento del caudal de inundación se ve afectado en parte por la válvula antirreflujo que va estar sellada cuando la lámina de agua de la Quebrada Chiguaza se encuentre por encima de la cota clave de colector de entrega.

Ilustración 30. Informe de estado período de retorno 100 años

```

*****
Resumen de Inundación en Nudos
*****

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.
-----

```

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
2	0.67	801.58	0 01:40	0.913	0.00
3	0.62	893.28	0 01:40	0.879	0.00
5	0.78	1525.51	0 01:40	1.982	0.00
6	1.37	4841.04	0 03:21	4.178	0.00
7	2.75	2678.20	0 00:11	10.655	0.00

(Autores., 2017)

Para este período el colector continúa presentando rebose por 5 de sus 7 nodos, lo que reitera que el mismo se encuentra colapsado. La inundación para este se ve reflejada en el pozo 6, el cual aumento en un 5% a diferencia del período de retorno de 25 años. El pozo 5 ya no es el más crítico para el período de retorno de 100 años.

7. CONCLUSIONES.

Conforme a los análisis realizados se logra evidenciar, que el sistema de alcantarillado pluvial no está en la capacidad hidráulica para evacuar las aguas de todos los eventos de lluvia, esto a razón del rebose generado en el 70% de los pozos identificados en los informes de estados de SWMM y la condición de sobre carga de la totalidad de la red.

El alcantarillado pluvial del barrio Tunjuelito se compone de dos redes principales que tienen como punto de entrega final en la Quebrada Chiguaza. (Su distribución está descrita en el numeral 4.1 y se identifica en la Tabla No 2).

Tabla 2. Ubicación Redes Pluviales

COLECTOR	TRAMO	INICIA	TRAZADO	ENTREGA
1	A	Av Caracas	Av Tunjuelito	Tramo C
	B	Av Caracas	Carrera 14 Sur	Tramo C
	C	Carrera 13 Sur	Diagonal 54 Sur	Av Tunjuelito Con Quebrada Chiguaza
2		Av Caracas	Carrera 12 Sur	Carrera 12 A la Altura de la Quebrada

(Autores., 2017)

De acuerdo a las modelaciones del alcantarillado pluvial para el barrio Tunjuelito bajo los diferentes escenarios analizados, se logró determinar que la lámina de agua en el descole de los colectores no tiene repercusiones de importancia para el normal funcionamiento del sistema. Sin embargo, la red analizada no tiene la capacidad para drenar el caudal de lluvia generado para los 3 períodos de retorno.

El alcantarillado pluvial del barrio Tunjuelito está conformado por un total de 74 pozos de los cuales 50 en promedio presentan inundación en los períodos de retorno de 10, 25 y 100 años, lo que hace referencia a que el 68% de los pozos que conforman el alcantarillado pluvial, presentan inundación por no estar en la capacidad de evacuar estas aguas al canal de la Quebrada Chiguaza. (Ver tabla No 3).

Tabla 3. Numero Pozos Que Presentan Inundación

No POZOS QUE PRESENTAN INUNDACION						
COLECTOR	No POZOS	PERIODO DE RETORNO			PROM	% POZOS INUNDADOS
		10	25	100		
1	67	43	44	45	44	66%
2	7	5	7	5	6	86%

(Autores., 2017)

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la EAB-ESP reevaluar el diseño del sistema de alcantarillado ya que en la modelación con período de retorno de 10 años las redes presentan colapso.

De igual manera se recomienda realizar un mayor control a los proyectos que se construyen en la Corredor Ecológico de Ronda - CER de los ríos y quebradas, ya que estas zonas son vulnerables a los cambios que pueda presentar el río o quebrada en su cauce por efectos naturales o antrópicos.

Se recomienda a la EAB-ESP realizar mantenimientos a las redes de alcantarillado y a sus estructuras de recolección (sumideros) ya que en la visita de campo se observó acumulación de basuras y sedimentos.

Al haber realizado la evaluación con información secundaria, se considera conveniente una recolección de datos primaria con el fin de verificar la información utilizada.

9. BIBLIOGRAFIA.

ROBAYO MEJÍA Leidy Alejandra. Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito, desarrollado a través de sistemas de información geográfica, Bogotá. 2014. Trabajo de grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Ingeniería civil.

MONTAÑA FORERO Luis Esteban. Calibración de los modelos hidrológico e hidráulico para el sistema de alerta temprana para inundación por desbordamiento para la quebrada Chiguaza. Bogotá. 2015. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Ingeniería civil.

HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ Leila Constanza. Una metodología de evaluación del riesgo público por inundación por falla del sistema de alcantarillado pluvial - caso de la cuenca del río Salitre, Bogotá. Bogotá. 2012. Tesis de investigación (Magister en Ingeniería en Recursos Hidráulicos). Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería.

BARRETO TORRES Juan Pablo. Pronostico de inundaciones en la cuenca baja del río Tunjuelo por medio del uso de tecnologías Geoespaciales. Bogotá. 2017. Tesis de grado para optar el título de ingeniero Ambiental. Universidad Santo Tomás. División de ingenierías. Ingeniería Ambiental.

WESTEN Cees van, MONTOYA DE HORN Lorena y VARGAS FRANCO Rubén. Aplicación de SIG para la evaluación de amenazas y riesgos: Tegucigalpa, honduras.

SÁNCHEZ Luis Alejandro. Propuesta de un nuevo enfoque para evaluar la peligrosidad por inundaciones pluviales. En: Tecnología y ciencias del Agua, vol. V núm. 6, noviembre - diciembre de 2014.

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA. EAAB. Diseño de adecuación del cauce de la quebrada Chiguaza. Estudios y Asesorías Ltda. 1996.

EL ESPECTADOR. (12 de 3 de 2015). Modernizan redes de alcantarillado para prevenir inundaciones en Bogotá. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/modernizan-redes-de-alcantarillado-prevenir-inundacione-articulo-549079>: <http://www.elespectador.com/noticias>

EL ESPECTADOR. (6 de 4 de 2016). Tunjuelito inaugura temporada de inundaciones en Bogotá en 2016. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/tunjuelito-inaugura-temporada-de-inundaciones-bogota-20-articulo-625693>: <http://www.elespectador.com/noticias>

EL TIEMPO. (29 de 4 de 2007). Con inauguración de presa Cantarrana, se acaba pesadilla de inundaciones para un millón de personas. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3535978>: <http://www.eltiempo.com/>

EAAB. (2003). Sistema de información geográfica unificado empresarial SIGUE. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. <http://www.acueducto.com.co>

EAAB. (2011a). Modelo integrado de drenaje urbano de Bogotá. Documento de la Dirección de Ingeniería Especializada.

PUBLIMETRO. (24 de 1 de 2014). Al fin Tunjuelito le dice adiós a las inundaciones. Obtenido de <https://www.publimetro.co/co/loultimo/2014/01/24/tunjuelito-les-dice-adios-inundaciones.html>: <https://www.publimetro.co/co/>

RINCON, V. (2007). Control De Inundaciones Del Rio Tunjuelito. Obtenido de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/azimut/article/view/4041/6076>: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/>

GUTIERREZ Sally C. (2005). Manual de usuario de SWMM V5.0. US: National Risk Management Laboratory.

SIAPA. (febrero 2014). Cap. 3 alcantarillado sanitario. En Siapa, Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades alcantarillado sanitario. (pág. hoja 15 de 38). México: Siapa.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio, tesis y otros trabajos de grado. Quinta Actualización. Bogotá. ICONTEC, 2002.

ZONSEIN, J; Miguel, M.G; de Magalhães, L.P.C; Valentín, M.G; Mascarenhas, F.C.B. (2008). Flood Risk Index as an Urban Management Tool. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.

EAAB. (2003). Redes Pluviales Alcantarillado Barrio Tunjuelito. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

JIMENEZ Henry. 1986. Hidrología Básica 1. Colombia.

EAAB. (1996). Estudios y Asesorías Ltda. Ingenieros consultores. Diseño de la adecuación del cauce de la quebrada Chiguaza. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

MONTAÑA Luis, Calibración De Los Modelos Hidrológico E Hidráulico Para El Sistema De Alerta Temprana Para Inundación Por Desbordamiento Para La Quebrada Chiguaza. Bogotá D.C.2015. Trabajo De Grado. (Magister en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.

CRAWFORD, D.A. Flood Risk Assessment. 2010.

ANNUNZIATO Siviglia, ALESSANDRO Stocchino y MARCO Colombini. Design of Flood Control Systems on the Vara River by Numerical and Physical Modeling. Italy. 2009.

ANEXO

Anexo. 2 Intensidad de Lluvia de Acuerdo a Paridos de Retorno.

TIEMPO (min)	intensidad		
	10	25	100
10	249.20	293.89	377.18
20	157.71	185.99	238.71
30	120.68	142.32	182.66
40	99.81	117.71	151.07
50	86.15	101.59	130.39
60	76.38	90.07	115.60
70	68.99	81.36	104.42
80	63.17	74.50	95.61
90	58.45	68.93	88.46
100	54.52	64.30	82.52
110	51.20	60.38	77.49
120	48.34	57.01	73.16
130	45.85	54.07	69.40
140	43.66	51.49	66.09
150	41.72	49.20	63.14
160	39.98	47.15	60.51
170	38.41	45.30	58.14
180	36.99	43.62	55.98

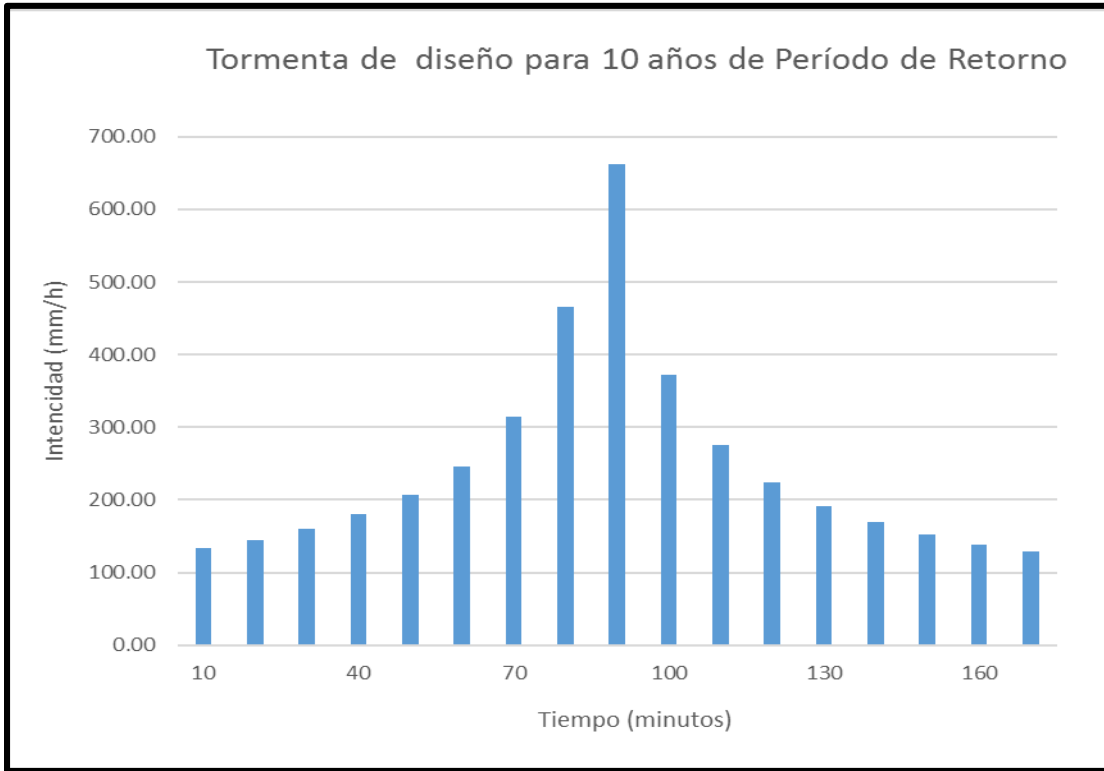
(Autores., 2017)

Anexo. 3. Intensidad Lluvia de Diseño 10 Años.

Tormenta de Diseño					
Duración (minutos)	Intencidad (mm/min)	Lluvia Acum. (mm)	Int Bloque (mm/min)	Int Bloque Ordenado	mm/h
10	249.20	41.53			
20	157.71	52.57	11.04	2.22	133.22
30	120.68	60.34	7.77	2.42	145.08
40	99.81	66.54	6.20	2.67	160.03
50	86.15	71.79	5.24	2.99	179.57
60	76.38	76.38	4.59	3.44	206.49
70	68.99	80.49	4.11	4.11	246.59
80	63.17	84.23	3.74	5.24	314.70
90	58.45	87.67	3.44	7.77	466.24
100	54.52	90.87	3.20	11.04	662.27
110	51.20	93.86	2.99	6.20	372.03
120	48.34	96.68	2.82	4.59	275.45
130	45.85	99.34	2.67	3.74	224.31
140	43.66	101.88	2.53	3.20	191.85
150	41.72	104.30	2.42	2.82	169.09
160	39.98	106.61	2.31	2.53	152.10
170	38.41	108.83	2.22	2.31	138.83
180	36.99	110.97	2.14	2.14	128.14

(Autores., 2017)

Anexo. 4. Tormenta de Diseño 10 Años Período de Retorno



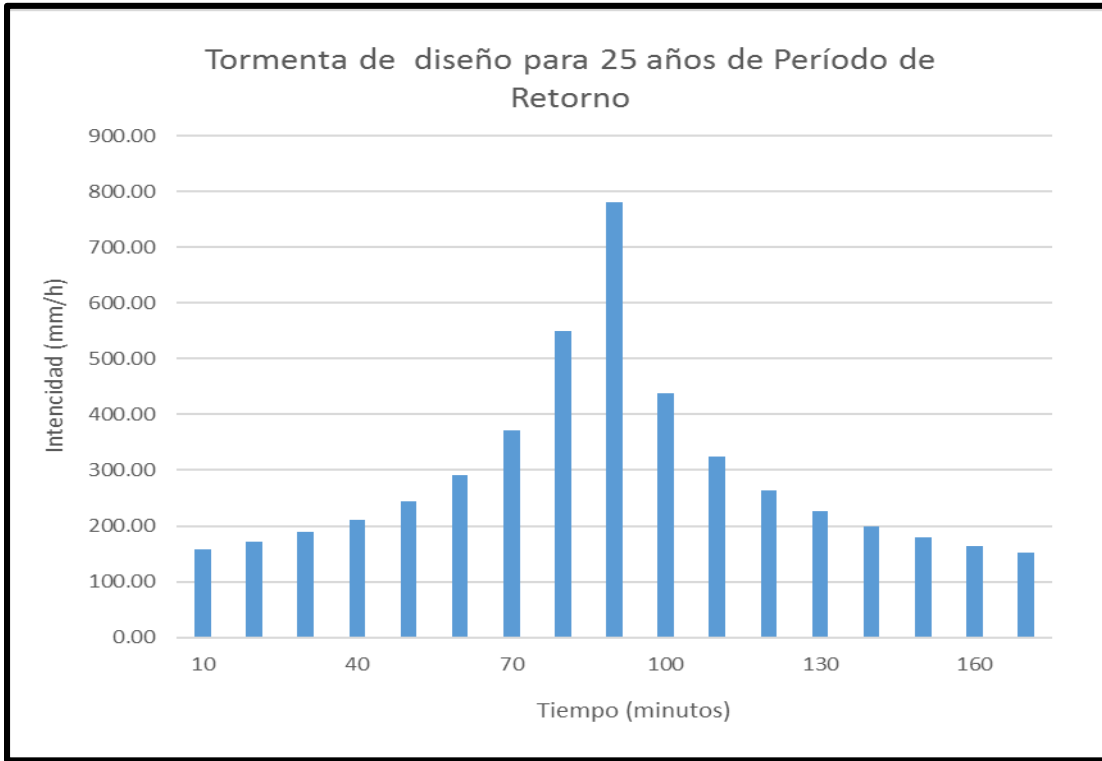
(Autores., 2017)

Anexo. 5. Intensidad Lluvia de Diseño 25 años.

Tormenta de Diseño					
Duración (minutos)	Intencidad (mm/min)	Lluvia Acum. (mm)	Int Bloque (mm/min)	Int Bloque Ordenado	mm/h
10	293.89	48.98			
20	185.99	62.00	13.02	2.62	157.11
30	142.32	71.16	9.16	2.85	171.10
40	117.71	78.47	7.31	3.15	188.72
50	101.59	84.66	6.19	3.53	211.77
60	90.07	90.07	5.41	4.06	243.51
70	81.36	94.92	4.85	4.85	290.81
80	74.50	99.33	4.41	6.19	371.13
90	68.93	103.39	4.06	9.16	549.85
100	64.30	107.16	3.77	13.02	781.02
110	60.38	110.69	3.53	7.31	438.74
120	57.01	114.01	3.32	5.41	324.85
130	54.07	117.16	3.15	4.41	264.53
140	51.49	120.15	2.99	3.77	226.25
150	49.20	123.00	2.85	3.32	199.41
160	47.15	125.73	2.73	2.99	179.37
170	45.30	128.35	2.62	2.73	163.73
180	43.62	130.86	2.52	2.52	151.12

(Autores., 2017)

Anexo. 6. Tormenta de Diseño 25 Años Período de Retorno



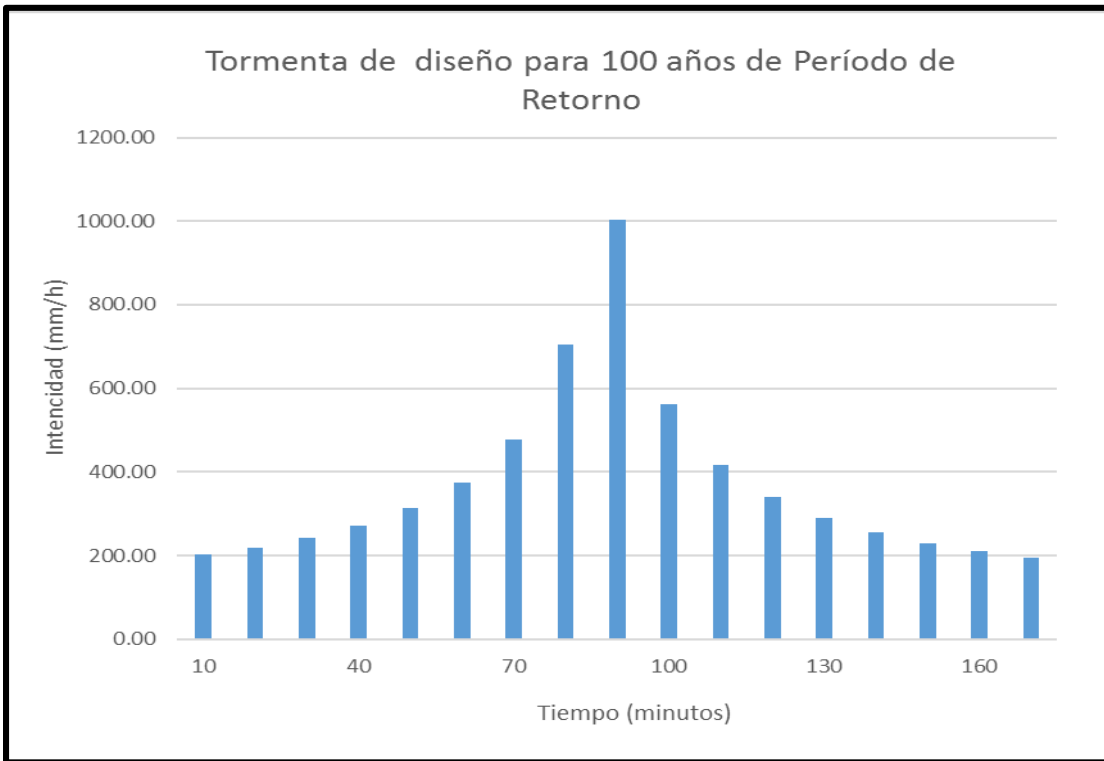
(Autores., 2017)

Anexo. 7. Intensidad Lluvia De Diseño 100 Años..

Tormenta de Diseño					
Duración (minutos)	Intencidad (mm/min)	Lluvia Acum. (mm)	Int Bloque (mm/min)	Int Bloque Ordenado	mm/h
10	377.18	62.86			
20	238.71	79.57	16.71	3.36	201.63
30	182.66	91.33	11.76	3.66	219.59
40	151.07	100.72	9.38	4.04	242.21
50	130.39	108.66	7.94	4.53	271.78
60	115.60	115.60	6.95	5.21	312.53
70	104.42	121.82	6.22	6.22	373.23
80	95.61	127.48	5.66	7.94	476.31
90	88.46	132.69	5.21	11.76	705.69
100	82.52	137.53	4.84	16.71	1002.39
110	77.49	142.06	4.53	9.38	563.09
120	73.16	146.33	4.27	6.95	416.92
130	69.40	150.36	4.04	5.66	339.50
140	66.09	154.20	3.84	4.84	290.37
150	63.14	157.86	3.66	4.27	255.93
160	60.51	161.36	3.50	3.84	230.21
170	58.14	164.72	3.36	3.50	210.13
180	55.98	167.95	3.23	3.23	193.95

(Autores., 2017)

Anexo. 8. Tormenta de Diseño 100 Años Período de Retorno.



(Autores., 2017)

Anexo. 9. Resumen del informe del colector 1, para un periodo de retorno de 10 años

```
STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 vE (Build 5.0.018 vE)
Traducido por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos
Universidad Politécnica de Valencia
-----

*****
NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se
basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos
de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el
informe.
*****

*****
Opciones de Análisis
*****
Unidades de Caudal ..... LPS
Modelos utilizados:
  Lluvia/Escoorrentía ..... SI
  Deshielo de Nieve ..... NO
  Flujo Subterráneo ..... NO
  Cálculo Hidráulico ..... SI
  Permitir Estancamiento . SI
  Calidad del Agua ..... NO
Método de Infiltración ..... GREEN_AMPT
Método de Cálculo Hidráulico .... DYNWAVE
Fecha de Comienzo ..... SEP-24-2017 00:00:00
Fecha de Finalización ..... SEP-24-2017 04:00:00
Días Previos sin Lluvia ..... 0.0
Report Time Step ..... 00:05:00
Intervalo para Tiempo de Lluvia . 00:10:00
Intervalo para Tiempo Seco ..... 01:00:00
Intervalo de Cálculo Hidráulico . 60.00 s

*****
Resumen de Elementos
*****
Número de Pluviómetros .... 1
Número de Subcuencas ..... 60
Número de Nudos ..... 67
Número de Líneas ..... 66
Número de Contaminantes ... 0
Número de Usos del Suelo .. 0
```

 Resumen de Inundación en Nudos

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
11	2.99	2180.79	0 01:50	7.226	0.00
13	3.09	2439.98	0 01:50	9.394	0.00
14	2.51	409.20	0 01:50	0.941	0.00
15	0.03	344.46	0 02:31	0.004	0.00
17	0.01	33.31	0 00:17	0.000	0.00
18	0.01	156.45	0 02:31	0.001	0.00
22	2.01	1257.81	0 01:50	2.465	0.00
24	0.23	533.42	0 01:51	0.209	0.00
26	2.82	4797.44	0 01:50	18.424	0.00
31	0.58	1745.26	0 01:50	1.562	0.00
32	2.61	1296.11	0 01:50	5.425	0.00
33	2.64	100.42	0 00:39	0.769	0.00
34	2.76	1191.65	0 01:50	5.232	0.00
35	2.79	790.40	0 01:50	2.477	0.00
36	1.71	1893.61	0 01:50	4.277	0.00
37	2.55	663.98	0 01:51	4.567	0.00
38	2.98	981.66	0 01:50	4.076	0.00
39	2.93	1167.91	0 01:50	3.684	0.00
40	0.43	535.32	0 01:50	0.402	0.00
41	1.78	1378.93	0 01:50	3.233	0.00
42	1.08	913.52	0 01:50	1.301	0.00
44	0.01	221.17	0 00:37	0.003	0.00
45	1.46	2906.69	0 01:50	4.727	0.00
46	0.46	364.36	0 01:50	0.275	0.00
48	0.01	21.62	0 02:26	0.001	0.00
49	2.76	806.18	0 01:50	3.487	0.00
50	2.39	497.63	0 01:44	3.046	0.00
51	1.01	855.51	0 01:50	1.121	0.00
52	2.78	1098.91	0 01:50	4.273	0.00
53	2.84	1124.28	0 01:50	4.792	0.00
54	0.21	906.31	0 02:18	0.434	0.00
56	0.03	20.37	0 01:56	0.002	0.00
62	0.68	550.55	0 01:50	0.590	0.00
68	3.09	4173.14	0 01:51	27.706	0.00
70	2.68	532.56	0 01:50	1.726	0.00
71	2.19	528.55	0 01:50	1.066	0.00
72	2.99	7090.08	0 01:50	35.530	0.00
73	2.49	5546.44	0 01:50	16.308	0.00
74	0.05	433.68	0 00:16	0.006	0.00
77	1.42	2022.50	0 01:50	3.112	0.00
78	1.14	1551.53	0 01:50	2.645	0.00
80	0.44	579.28	0 01:50	0.445	0.00
83	0.82	760.14	0 01:50	0.984	0.00

 Resumen de Caudal en Líneas

Línea	Tipo	Caudal Máximo LPS	Instante Caudal Máx días hr:min	Veloc. Máxima m/sec	Caudal Máx/ Lleno	Nivel Máx/ Lleno
1	CONDUIT	28.88	0 02:31	0.77	0.18	0.61
2	CONDUIT	212.79	0 02:27	4.01	1.85	1.00
3	CONDUIT	270.04	0 00:17	1.52	1.10	1.00
5	CONDUIT	107.28	0 00:15	1.50	1.20	1.00
6	CONDUIT	97.04	0 00:13	1.34	0.71	1.00
7	CONDUIT	111.19	0 00:12	1.63	1.07	1.00
8	CONDUIT	100.42	0 00:14	1.38	0.64	1.00
10	CONDUIT	2560.93	0 00:52	3.90	2.10	1.00
11	CONDUIT	1612.50	0 00:02	2.69	1.42	1.00
12	CONDUIT	1674.22	0 00:02	2.32	1.49	1.00
13	CONDUIT	1634.99	0 00:02	2.25	1.61	1.00
14	CONDUIT	3632.32	0 01:51	4.62	5.94	1.00
15	CONDUIT	3647.31	0 01:51	4.64	6.21	1.00
16	CONDUIT	2531.35	0 00:26	3.85	2.06	1.00
17	CONDUIT	452.19	0 01:23	3.49	1.73	1.00
18	CONDUIT	924.27	0 01:51	3.17	0.86	1.00
19	CONDUIT	342.18	0 01:38	9.38	3.84	1.00
20	CONDUIT	1951.32	0 02:18	>50.00	11.35	1.00
21	CONDUIT	969.42	0 01:32	3.32	1.19	1.00
22	CONDUIT	125.20	0 00:16	1.72	7.01	1.00
23	CONDUIT	139.52	0 00:17	1.91	2.76	1.00
24	CONDUIT	421.82	0 00:35	2.08	2.29	1.00
25	CONDUIT	449.72	0 00:16	2.60	2.19	1.00
26	CONDUIT	109.21	0 00:18	1.50	1.86	1.00
27	CONDUIT	500.79	0 00:18	1.72	0.70	1.00
29	CONDUIT	638.22	0 00:17	2.19	3.07	1.00
30	CONDUIT	260.26	0 00:37	1.30	0.91	1.00
31	CONDUIT	253.03	0 00:18	1.25	0.51	1.00
32	CONDUIT	976.94	0 00:36	2.51	1.49	1.00
33	CONDUIT	1194.17	0 01:58	2.62	1.30	1.00
34	CONDUIT	1418.37	0 02:45	3.11	1.30	1.00
35	CONDUIT	1888.19	0 01:50	4.14	1.95	1.00
36	CONDUIT	107.10	0 01:29	1.56	0.75	1.00
37	CONDUIT	169.35	0 00:33	2.33	2.25	1.00
38	CONDUIT	1489.83	0 03:11	2.27	1.67	1.00
39	CONDUIT	1813.54	0 03:11	2.76	1.65	1.00
40	CONDUIT	124.10	0 00:17	1.70	1.48	1.00
42	CONDUIT	4038.99	0 01:51	5.14	4.26	1.00
46	CONDUIT	270.90	0 00:17	2.09	3.67	1.00
48	CONDUIT	516.04	0 01:42	3.14	2.87	1.00
49	CONDUIT	1984.01	0 00:37	3.02	1.09	1.00
50	CONDUIT	370.71	0 02:07	2.26	3.50	1.00
51	CONDUIT	2224.62	0 02:39	3.39	1.49	1.00
52	CONDUIT	3068.81	0 01:44	3.91	1.46	1.00
53	CONDUIT	4279.24	0 01:50	5.45	1.96	1.00
54	CONDUIT	5699.33	0 01:50	7.26	1.49	1.00
55	CONDUIT	2471.27	0 03:16	3.15	2.42	1.00
56	CONDUIT	2530.24	0 00:26	3.22	2.58	1.00
58	CONDUIT	2626.24	0 03:16	4.00	2.87	1.00
59	CONDUIT	3595.32	0 01:49	5.47	1.77	1.00
60	CONDUIT	361.92	0 02:49	3.64	2.24	1.00
61	CONDUIT	361.88	0 02:49	3.64	1.43	1.00
67	CONDUIT	245.72	0 00:14	3.37	1.78	1.00
68	CONDUIT	424.50	0 02:31	5.82	3.44	1.00
70	CONDUIT	442.64	0 02:13	2.18	1.27	1.00
71	CONDUIT	448.49	0 02:15	2.26	1.02	1.00
72	CONDUIT	994.66	0 02:00	4.06	1.30	1.00
73	CONDUIT	1490.69	0 01:50	3.75	1.19	1.00
74	CONDUIT	1434.83	0 01:46	3.15	1.14	1.00
75	CONDUIT	1806.76	0 01:29	3.96	1.53	1.00
80	CONDUIT	1089.52	0 03:18	1.66	0.56	1.00
81	CONDUIT	152.44	0 00:51	2.09	1.66	1.00
82	CONDUIT	186.36	0 00:22	2.55	1.62	1.00
83	CONDUIT	1507.67	0 01:49	2.30	1.15	1.00
84	CONDUIT	2176.23	0 01:51	3.31	2.01	1.00
45	CONDUIT	4067.61	0 01:50	6.19	1.67	1.00

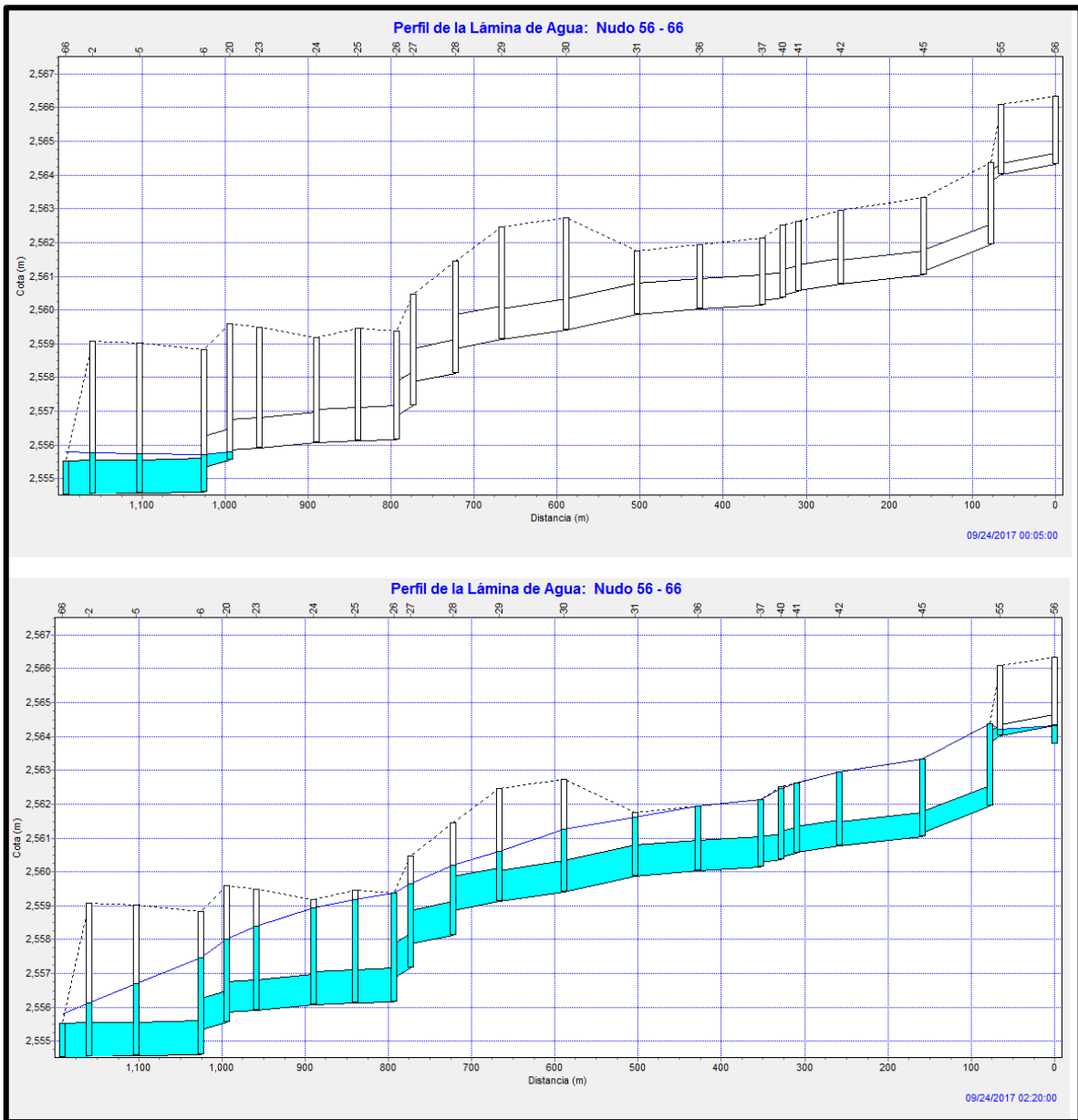
 Resumen de Sobrecarga de Conductos

Conduit	Horas Lleno			Horas	Horas
	Ambo Ext	Ext.Ini.	Ext.Fin.	Q > Q unif. Tubo Lleno	Capacidad Limitada
2	0.04	0.04	0.07	0.05	0.01
3	3.00	3.00	3.00	0.03	0.05
5	3.14	3.14	3.14	0.01	0.02
6	3.21	3.21	3.21	0.01	0.01
7	3.27	3.27	3.28	0.01	0.01
8	3.31	3.31	3.31	0.01	0.01
10	3.12	3.12	3.12	2.88	2.88
11	3.57	3.57	3.57	0.33	0.03
12	3.92	3.92	3.92	0.05	0.04
13	3.93	3.93	3.94	0.07	0.07
14	3.95	3.95	3.96	3.43	3.41
15	3.97	3.97	3.98	3.45	3.44
16	3.11	3.11	3.11	3.09	3.06
17	1.40	1.40	1.40	2.04	1.40
18	2.78	2.78	2.78	0.01	0.01
19	0.07	0.07	0.12	0.17	0.05
20	0.03	0.03	0.05	0.22	0.03
21	2.60	2.60	2.68	0.03	0.30
22	3.00	3.00	3.00	3.18	0.30
23	3.00	3.00	3.00	2.15	0.43
24	2.88	2.88	2.88	2.31	2.13
25	2.86	2.86	2.87	0.84	0.27
26	2.94	2.94	2.94	2.78	0.22
27	2.84	2.84	2.85	0.01	0.01
29	2.94	2.94	2.94	0.97	0.64
30	2.78	2.78	2.79	0.01	0.01
31	2.87	2.87	2.88	0.01	0.01
32	2.84	2.84	2.85	2.95	2.81
33	2.83	2.83	2.83	2.62	2.63
34	2.86	2.86	2.86	2.63	2.65
35	2.90	2.90	2.90	2.94	2.89
36	3.04	3.04	3.04	0.01	0.01
37	3.02	3.02	3.02	0.48	0.37
38	2.85	2.85	2.85	2.99	2.85
39	2.83	2.83	2.83	2.97	2.82
40	2.97	2.97	2.97	0.10	0.10
42	3.98	3.98	3.99	3.36	3.31
46	3.02	3.02	3.02	2.83	0.32
48	3.04	3.04	3.04	2.82	0.26
49	2.83	2.83	2.83	0.59	0.57
50	2.61	2.61	2.61	2.73	2.61
51	2.79	2.79	2.79	2.91	2.72
52	2.67	2.67	2.67	2.82	2.67
53	2.88	2.88	2.88	2.85	2.86
54	2.98	2.98	2.98	0.94	0.93
55	3.11	3.11	3.11	2.90	2.88
56	3.11	3.11	3.11	3.14	3.10
58	3.11	3.11	3.11	3.16	3.11
59	3.17	3.17	3.17	2.98	2.98
60	3.08	3.08	3.08	2.81	2.80
61	2.90	2.90	2.90	2.57	2.56
67	3.92	3.92	3.92	3.24	3.23
68	3.02	3.02	3.02	0.02	0.04
70	1.39	1.39	1.39	1.29	1.27
71	1.42	1.42	1.42	0.11	0.12
72	1.45	1.45	1.45	1.06	1.06
73	1.61	1.61	1.61	0.58	0.57
74	1.96	1.96	1.96	1.47	1.47
75	1.50	1.50	1.51	2.50	1.47
80	3.17	3.17	3.17	0.01	0.01
81	3.11	3.11	3.11	2.73	2.74
82	3.20	3.20	3.20	2.87	2.87
83	3.25	3.25	3.26	2.52	2.54
84	3.38	3.38	3.38	1.11	0.02
45	1.53	1.53	1.53	1.63	1.53

Instante de inicio del análisis: Wed Nov 22 16:05:39 2017
 Instante de finalización del análisis: Wed Nov 22 16:05:40 2017
 Tiempo total transcurrido: 00:00:01

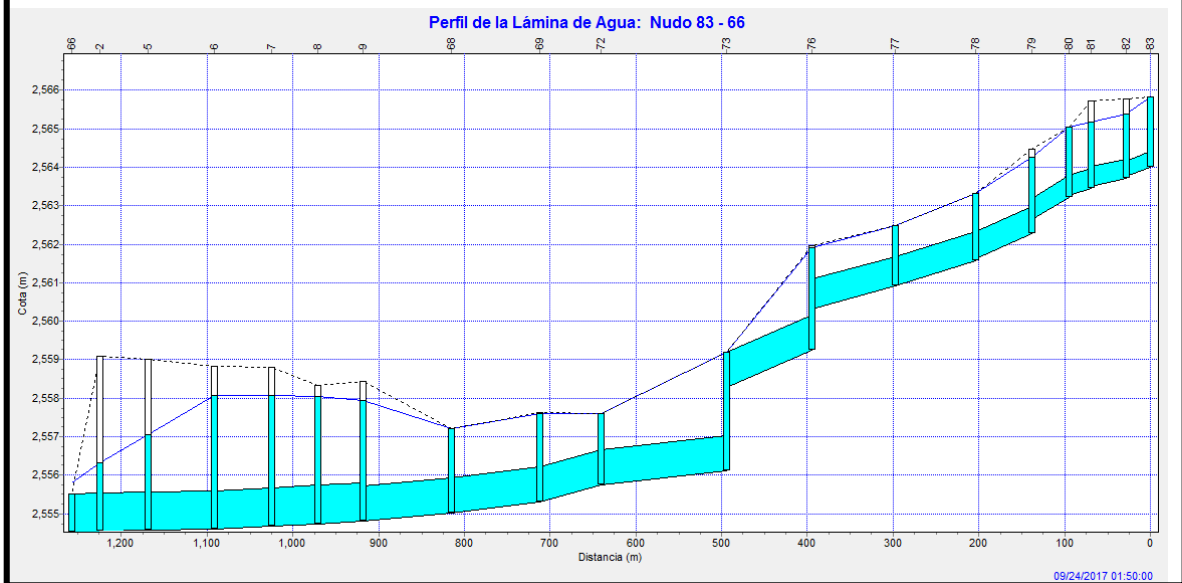
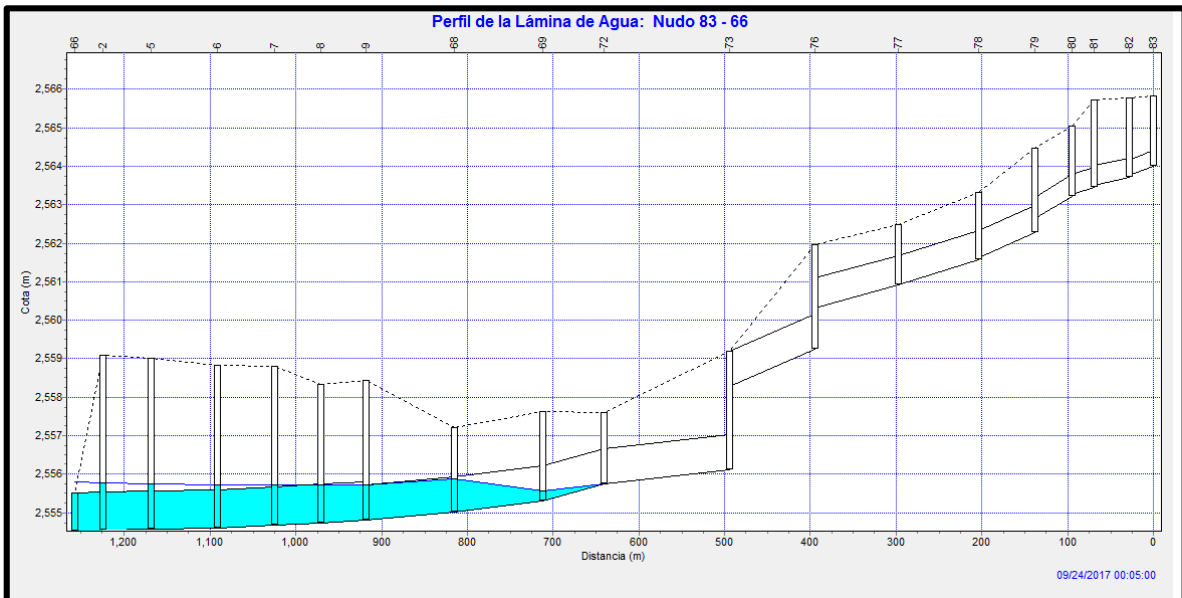
(Autores., 2017)

Anexo. 10. Modelación Colector 1. Tramo A Periodo de Retorno 10 años.



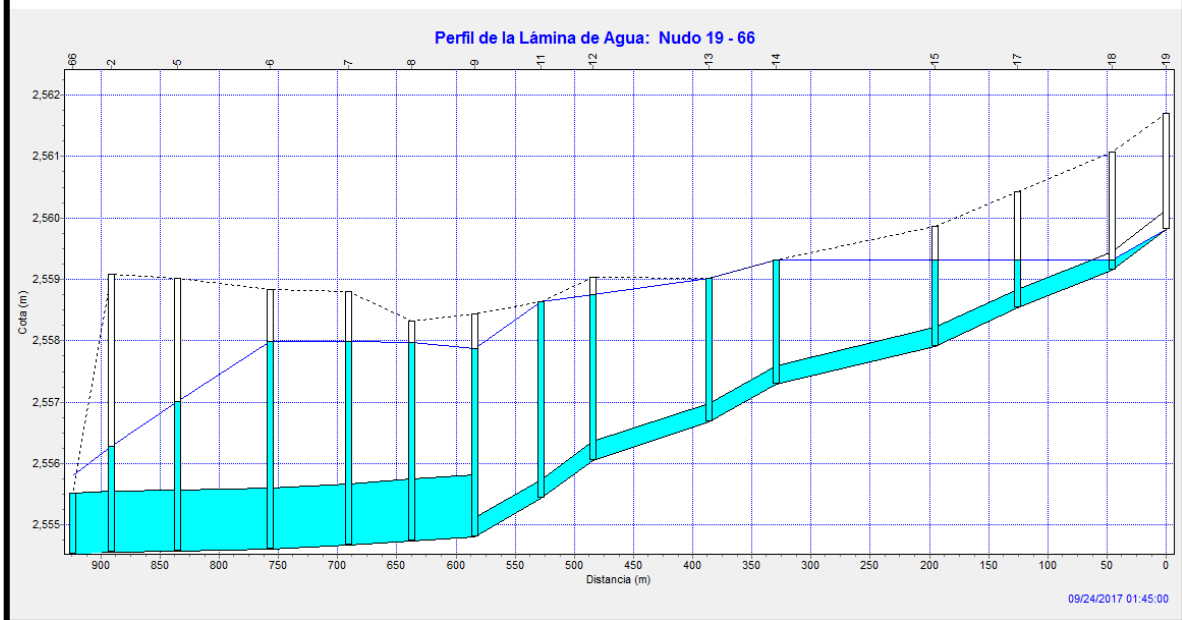
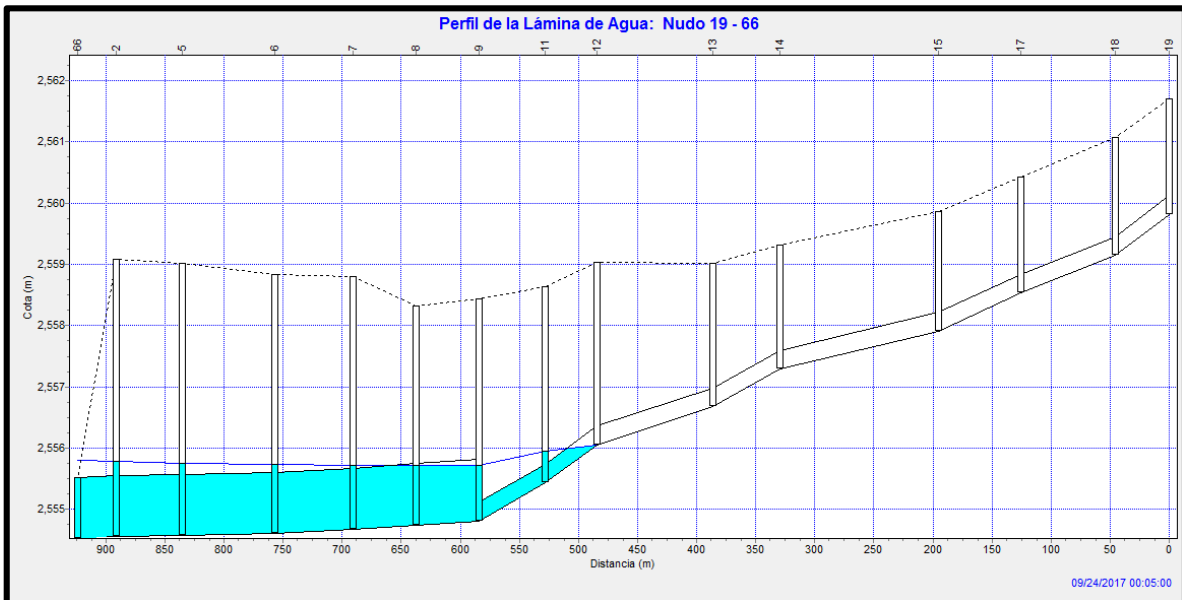
(Autores., 2017)

Anexo. 11. Modelación Colector 1. Tramo B Periodo de Retorno 10 años.



(Autores., 2017)

Anexo. 12. Modelación Colector 1. Tramo C Periodo de Retorno 10 años



(Autores., 2017)

Anexo. 13. Resumen del informe del colector 1 para un periodo de retorno de 25 años

```
STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 vE (Build 5.0.018 vE)
Traducido por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos
Universidad Politécnica de Valencia
-----
```

```
*****
NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se
basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos
de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el
informe.
*****
```

```
*****
Opciones de Análisis
*****
Unidades de Caudal ..... LPS
Modelos utilizados:
  Lluvia/Escurrentía ..... SI
  Deshielo de Nieve ..... NO
  Flujo Subterráneo ..... NO
  Cálculo Hidráulico ..... SI
  Permitir Estancamiento . SI
  Calidad del Agua ..... NO
Método de Infiltración ..... GREEN_AMPT
Método de Cálculo Hidráulico .... DYNWAVE
Fecha de Comienzo ..... SEP-24-2017 00:00:00
Fecha de Finalización ..... SEP-24-2017 04:00:00
Días Previos sin Lluvia ..... 0.0
Report Time Step ..... 00:05:00
Intervalo para Tiempo de Lluvia . 00:10:00
Intervalo para Tiempo Seco ..... 01:00:00
Intervalo de Cálculo Hidráulico . 60.00 s
```

 Resumen de Inundación en Nudos

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
8	0.02	134.94	0 00:10	0.007	0.00
9	0.01	85.34	0 00:10	0.000	0.00
11	3.05	2629.18	0 01:49	8.889	0.00
13	3.11	2887.94	0 01:49	11.080	0.00
14	2.63	502.65	0 01:49	1.276	0.00
15	0.01	95.42	0 00:15	0.001	0.00
17	0.01	68.39	0 02:28	0.000	0.00
22	2.51	1570.17	0 01:49	3.504	0.00
24	0.38	1038.60	0 01:50	0.686	0.00
25	0.01	881.23	0 00:15	0.002	0.00
26	2.90	5305.84	0 01:49	22.809	0.00
31	0.78	2516.13	0 01:49	2.632	0.00
32	2.71	1469.57	0 01:49	6.572	0.00
33	2.72	98.97	0 00:38	0.794	0.00
34	2.84	1385.37	0 01:49	6.038	0.00
35	2.86	950.52	0 01:49	3.065	0.00
36	2.58	2542.09	0 01:49	8.573	0.00
38	3.02	1213.30	0 01:49	5.295	0.00
39	2.98	1404.62	0 01:49	4.553	0.00
40	1.40	1067.33	0 01:49	1.662	0.00
41	2.52	1625.48	0 01:49	5.445	0.00
42	1.45	1182.12	0 01:49	1.954	0.00
44	0.01	229.78	0 00:17	0.004	0.00
45	1.91	3403.72	0 01:48	6.892	0.00
46	0.62	527.04	0 01:49	0.490	0.00
48	0.01	37.20	0 02:29	0.000	0.00
49	2.83	937.25	0 01:49	4.011	0.00
50	1.34	54.95	0 02:29	0.119	0.00
51	2.64	1700.54	0 01:49	6.575	0.00
52	2.85	1182.25	0 01:49	4.140	0.00
53	2.90	1280.01	0 01:49	5.311	0.00
54	0.19	1170.32	0 01:12	0.369	0.00
62	0.91	714.21	0 01:49	0.915	0.00
68	3.15	4513.50	0 01:49	31.838	0.00
70	2.76	636.78	0 01:49	2.130	0.00
71	2.55	654.72	0 01:49	1.493	0.00
72	3.04	8156.94	0 01:49	39.891	0.00
73	2.59	6169.30	0 01:49	21.202	0.00
74	0.18	311.88	0 00:14	0.075	0.00
76	0.13	427.45	0 01:49	0.096	0.00
77	1.90	2415.31	0 01:49	4.572	0.00
78	1.48	1892.19	0 01:49	3.767	0.00
80	0.61	1800.79	0 00:10	0.878	0.00
83	1.11	967.30	0 01:49	1.478	0.00

 Resumen de Caudal en Líneas

Línea	Tipo	Caudal Máximo LPS	Instante Caudal Máx días hr:min	Veloc. Máxima m/sec	Caudal Máx/ Lleno	Nivel Máx/ Lleno
1	CONDUIT	0.00	0 00:00	0.00	0.00	0.50
2	CONDUIT	125.86	0 02:26	1.95	1.09	1.00
3	CONDUIT	1173.68	0 00:10	12.33	4.77	1.00
5	CONDUIT	107.55	0 00:14	1.50	1.21	1.00
6	CONDUIT	101.71	0 00:13	1.41	0.74	1.00
7	CONDUIT	89.43	0 03:25	1.23	0.86	1.00
8	CONDUIT	89.53	0 03:25	1.23	0.57	1.00
10	CONDUIT	2560.93	0 01:30	3.90	2.10	1.00
11	CONDUIT	1810.49	0 00:02	2.83	1.60	1.00
12	CONDUIT	1868.43	0 00:02	2.56	1.66	1.00
13	CONDUIT	1866.01	0 00:01	2.40	1.84	1.00
14	CONDUIT	3498.59	0 01:50	4.45	5.72	1.00
15	CONDUIT	3509.38	0 01:50	4.47	5.98	1.00
16	CONDUIT	2497.99	0 03:17	3.80	2.03	1.00
17	CONDUIT	445.67	0 02:20	4.02	1.71	1.00
18	CONDUIT	924.27	0 01:54	3.17	0.86	1.00
19	CONDUIT	379.07	0 01:32	10.39	4.26	1.00
20	CONDUIT	2504.80	0 01:12	39.56	14.57	1.00
21	CONDUIT	996.17	0 02:26	3.41	1.23	1.00
22	CONDUIT	127.98	0 00:15	1.75	7.16	1.00
23	CONDUIT	141.57	0 00:16	1.94	2.80	1.00
24	CONDUIT	429.28	0 00:16	2.12	2.33	1.00
25	CONDUIT	446.39	0 00:34	2.58	2.17	1.00
26	CONDUIT	113.33	0 00:17	1.55	1.93	1.00
27	CONDUIT	495.19	0 00:17	1.70	0.69	1.00
29	CONDUIT	639.01	0 00:17	2.30	3.08	1.00
30	CONDUIT	290.10	0 00:17	1.45	1.01	1.00
31	CONDUIT	279.39	0 00:17	1.38	0.57	1.00
32	CONDUIT	993.30	0 00:17	6.15	1.52	1.00
33	CONDUIT	1194.17	0 01:43	2.62	1.30	1.00
34	CONDUIT	1279.03	0 03:11	2.80	1.17	1.00
35	CONDUIT	1593.93	0 01:13	3.50	1.65	1.00
36	CONDUIT	107.10	0 00:48	1.58	0.75	1.00
37	CONDUIT	169.33	0 00:32	2.33	2.25	1.00
38	CONDUIT	1570.47	0 01:08	2.39	1.76	1.00
39	CONDUIT	1866.27	0 03:11	2.84	1.70	1.00
40	CONDUIT	126.35	0 00:16	1.73	1.50	1.00
42	CONDUIT	3963.37	0 01:50	5.05	4.18	1.00
46	CONDUIT	807.01	0 00:10	9.67	10.94	1.00
48	CONDUIT	516.04	0 01:34	3.14	2.87	1.00
49	CONDUIT	2007.96	0 00:36	3.06	1.10	1.00
50	CONDUIT	368.11	0 02:15	2.24	3.47	1.00
51	CONDUIT	2230.48	0 03:11	3.40	1.49	1.00
52	CONDUIT	3068.54	0 01:42	3.91	1.46	1.00
53	CONDUIT	4427.67	0 01:49	5.64	2.03	1.00
54	CONDUIT	7797.99	0 00:10	19.86	2.04	1.00
55	CONDUIT	2442.89	0 03:17	3.72	2.39	1.00
56	CONDUIT	2496.13	0 00:27	3.18	2.54	1.00
58	CONDUIT	2589.52	0 03:17	3.94	2.83	1.00
59	CONDUIT	3488.98	0 01:41	5.31	1.72	1.00
60	CONDUIT	789.85	0 00:10	7.95	4.89	1.00
61	CONDUIT	407.80	0 00:10	8.21	1.61	1.00
67	CONDUIT	227.82	0 00:14	3.12	1.65	1.00
68	CONDUIT	55.25	0 00:15	1.33	0.45	1.00
70	CONDUIT	443.79	0 02:21	2.19	1.27	1.00
71	CONDUIT	2832.95	0 00:10	27.95	6.43	1.00
72	CONDUIT	992.63	0 02:06	4.19	1.30	1.00
73	CONDUIT	1555.43	0 01:49	3.92	1.24	1.00
74	CONDUIT	1434.83	0 02:03	3.33	1.14	1.00
75	CONDUIT	1806.76	0 01:09	3.96	1.53	1.00
80	CONDUIT	1096.92	0 03:19	1.67	0.57	1.00
81	CONDUIT	152.44	0 00:48	2.09	1.66	1.00
82	CONDUIT	186.42	0 00:23	2.55	1.62	1.00
83	CONDUIT	1518.11	0 01:49	2.31	1.16	1.00
84	CONDUIT	2381.88	0 01:51	3.63	2.20	1.00
45	CONDUIT	4111.18	0 01:52	6.26	1.68	1.00

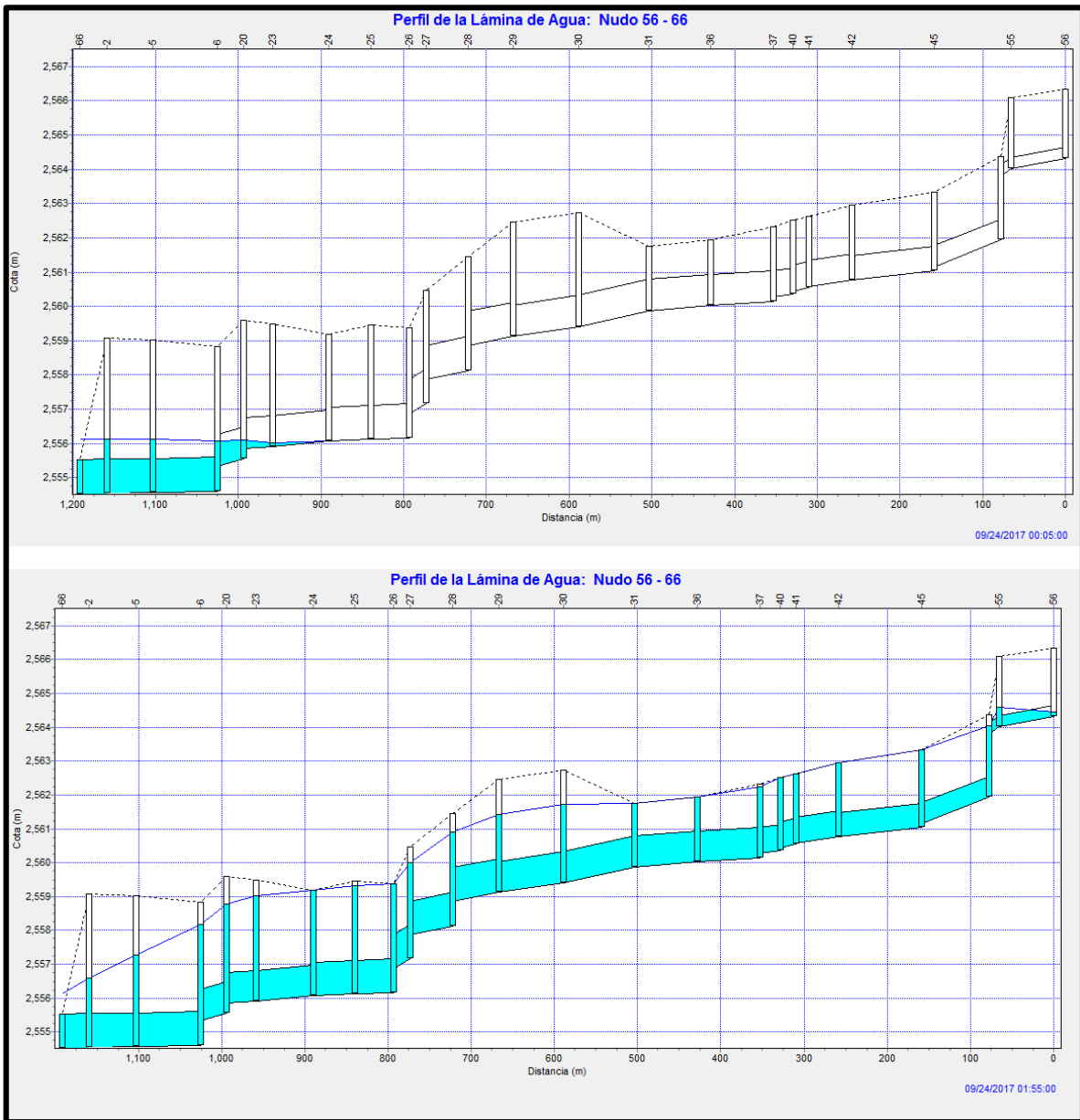
 Resumen de Sobrecarga de Conductos

Conduit	----- Horas Lleno -----			Horas	
	Ambos Ext	Ext. Ini.	Ext. Fin.	Q > Q unif. Tubo Lleno	Capacidad Limitada
2	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01
3	3.04	3.04	3.04	0.06	0.05
5	3.17	3.17	3.18	0.03	0.01
6	3.25	3.25	3.25	0.01	0.01
7	3.32	3.32	3.32	0.01	0.01
8	3.40	3.40	3.40	0.01	0.01
10	3.20	3.20	3.20	2.94	2.95
11	3.94	3.94	3.94	0.70	0.03
12	3.95	3.95	3.95	0.05	0.05
13	3.97	3.97	3.97	0.08	0.07
14	3.97	3.97	3.98	3.52	3.44
15	3.98	3.98	3.98	3.52	3.45
16	3.17	3.17	3.17	2.92	2.93
17	1.90	1.90	1.92	2.52	1.90
18	2.84	2.84	2.84	0.01	0.01
19	0.07	0.07	0.11	0.19	0.07
20	0.13	0.13	0.26	0.16	0.13
21	2.63	2.63	2.75	0.17	0.45
22	3.04	3.04	3.04	3.20	0.27
23	3.04	3.04	3.04	0.42	0.38
24	2.93	2.93	2.93	0.43	0.31
25	2.92	2.92	2.92	0.95	0.25
26	2.99	2.99	2.99	2.82	0.18
27	2.90	2.90	2.90	0.01	0.01
29	2.99	2.99	2.99	0.94	0.41
30	2.85	2.85	2.85	0.01	0.01
31	2.93	2.93	2.93	0.01	0.01
32	2.90	2.90	2.90	2.99	2.86
33	2.88	2.88	2.89	2.65	2.66
34	2.91	2.91	2.91	2.71	2.72
35	2.95	2.95	2.95	2.98	2.94
36	3.07	3.07	3.07	0.01	0.01
37	3.07	3.07	3.07	0.41	0.35
38	2.91	2.91	2.91	3.04	2.90
39	2.89	2.89	2.89	3.02	2.88
40	3.01	3.01	3.02	0.09	0.09
42	4.00	4.00	4.00	3.41	3.34
46	3.08	3.08	3.08	2.83	0.29
48	3.11	3.11	3.11	2.87	0.24
49	2.89	2.89	2.89	0.33	0.29
50	2.70	2.70	2.70	2.81	2.70
51	2.85	2.85	2.85	2.83	2.65
52	2.75	2.75	2.75	2.88	2.75
53	2.94	2.94	2.94	2.91	2.91
54	3.06	3.06	3.06	1.23	1.21
55	3.15	3.15	3.15	2.80	2.78
56	3.15	3.15	3.15	3.16	3.14
58	3.18	3.18	3.18	3.20	3.17
59	3.28	3.28	3.28	3.04	3.05
60	3.15	3.15	3.15	2.90	2.88
61	2.98	2.98	2.98	2.58	2.57
67	3.94	3.94	3.94	3.06	3.07
68	3.06	3.06	3.07	0.01	0.02
70	1.91	1.91	1.93	1.71	1.73
71	1.94	1.94	1.94	0.09	0.08
72	1.96	1.96	1.96	1.37	1.37
73	2.09	2.09	2.09	0.75	0.76
74	2.44	2.44	2.44	1.98	1.98
75	2.01	2.01	2.01	2.47	1.85
80	3.24	3.24	3.24	0.01	0.01
81	3.18	3.18	3.18	2.81	2.81
82	3.30	3.30	3.30	2.93	2.93
83	3.46	3.46	3.47	2.62	2.63
84	3.93	3.93	3.94	2.35	0.02
45	2.01	2.01	2.01	2.11	2.01

Instante de inicio del análisis: Wed Nov 22 16:23:29 2017
 Instante de finalización del análisis: Wed Nov 22 16:23:29 2017
 Tiempo total transcurrido: < 1 s

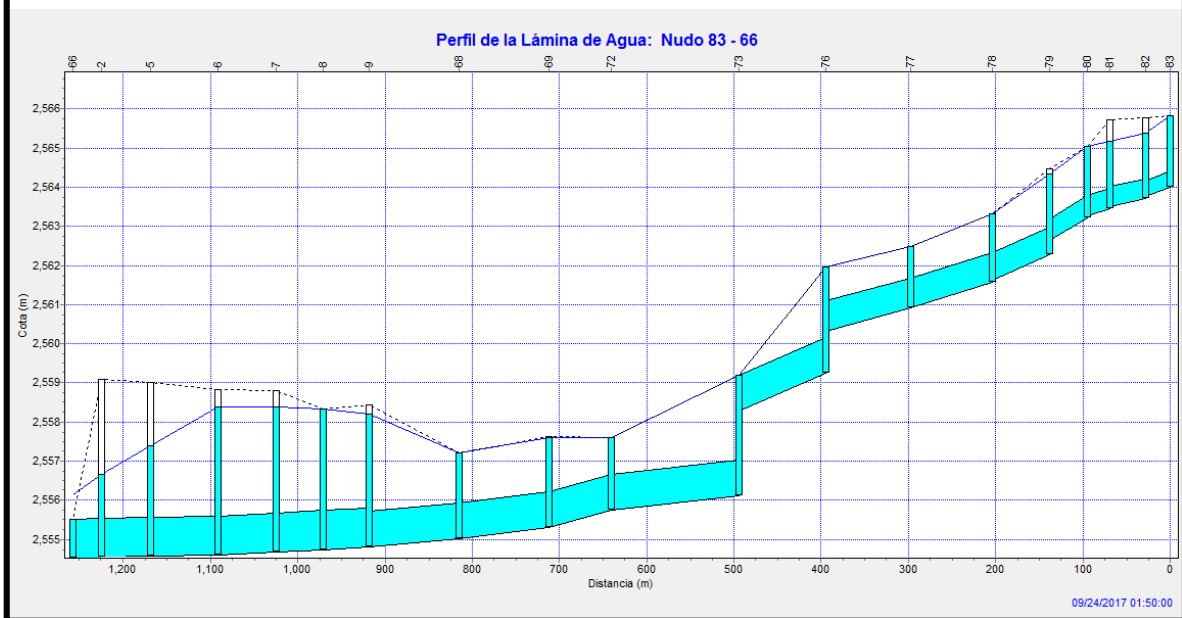
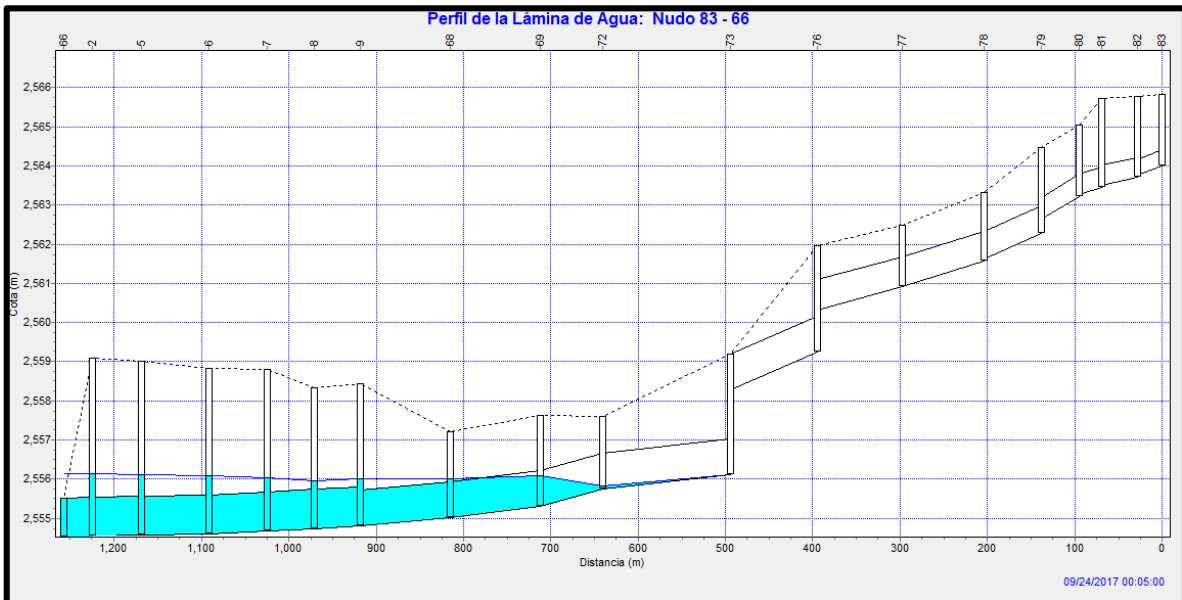
(Autores., 2017)

Anexo. 14. Modelación Colector 1. Tramo A Periodo de Retorno 25 años



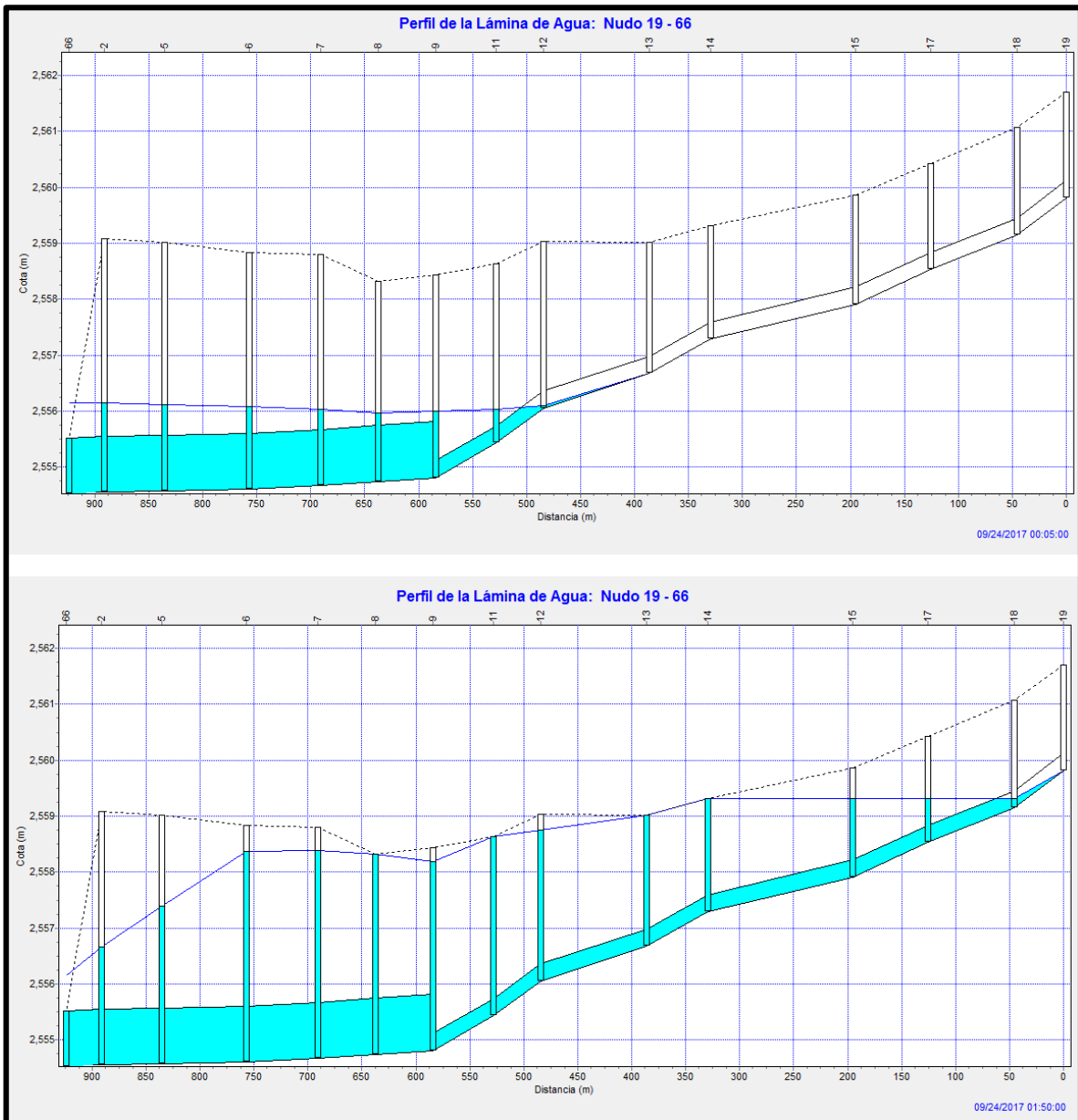
(Autores., 2017)

Anexo. 15. Modelación Colector 1. Tramo B Periodo de Retorno 25 años



(Autores., 2017)

Anexo. 16. Modelación Colector 1. Tramo C Periodo de Retorno 25 años



(Autores., 2017)

Anexo. 17. Resumen del informe del colector 1 para un periodo de retorno de 100 años

```
STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 vE (Build 5.0.018 vE)
Traducido por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos
Universidad Politécnica de Valencia
-----

*****
NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se
basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos
de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el
informe.
*****

*****
Opciones de Análisis
*****
Unidades de Caudal ..... LPS
Modelos utilizados:
Lluvia/Escoorrentía ..... SI
Deshielo de Nieve ..... NO
Flujo Subterráneo ..... NO
Cálculo Hidráulico ..... SI
Permitir Estancamiento . SI
Calidad del Agua ..... NO
Método de Infiltración ..... GREEN_AMPT
Método de Cálculo Hidráulico .... DYNWAVE
Fecha de Comienzo ..... SEP-24-2017 00:00:00
Fecha de Finalización ..... SEP-24-2017 04:00:00
Días Previos sin Lluvia ..... 0.0
Report Time Step ..... 00:05:00
Intervalo para Tiempo de Lluvia . 00:10:00
Intervalo para Tiempo Seco ..... 01:00:00
Intervalo de Cálculo Hidráulico . 60.00 s
```

 Resumen de Inundación en Nudos

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
8	0.32	1171.75	0 01:50	0.697	0.00
11	3.11	3400.60	0 01:50	11.960	0.00
13	3.16	3700.29	0 01:50	14.192	0.00
14	2.74	671.38	0 01:50	1.901	0.00
15	0.03	206.07	0 02:47	0.005	0.00
22	2.66	2105.03	0 01:50	5.570	0.00
24	0.47	1421.72	0 01:50	1.158	0.00
26	2.97	6704.77	0 01:50	31.254	0.00
28	0.01	81.47	0 01:49	0.003	0.00
31	1.12	3785.99	0 01:50	5.017	0.00
32	2.80	1783.95	0 01:50	8.224	0.00
33	2.83	98.56	0 00:18	0.824	0.00
34	2.90	1736.53	0 01:50	7.426	0.00
35	2.94	1240.70	0 01:50	4.164	0.00
36	2.72	3161.36	0 01:50	12.001	0.00
37	0.01	43.46	0 00:16	0.001	0.00
38	3.06	1520.20	0 01:50	6.536	0.00
39	3.03	1833.82	0 01:50	6.178	0.00
40	2.08	1498.44	0 01:50	2.912	0.00
41	2.68	2072.56	0 01:50	7.610	0.00
42	2.12	1675.39	0 01:50	3.406	0.00
44	0.01	273.91	0 00:35	0.006	0.00
45	2.49	4439.62	0 01:49	10.357	0.00
46	0.92	821.88	0 01:50	0.994	0.00
49	2.92	1174.78	0 01:50	4.983	0.00
50	1.02	18.23	0 01:05	0.028	0.00
51	2.78	2193.51	0 01:50	8.848	0.00
52	2.93	1519.62	0 01:50	5.393	0.00
53	2.98	1613.97	0 01:50	6.616	0.00
54	0.19	1181.91	0 00:47	0.524	0.00
56	0.02	28.85	0 01:45	0.002	0.00
62	1.39	1057.60	0 01:50	1.663	0.00
68	3.24	4803.06	0 01:50	37.180	0.00
69	0.01	7.06	0 01:49	0.000	0.00
70	2.86	826.94	0 01:50	2.863	0.00
71	2.70	883.38	0 01:50	2.323	0.00
72	3.09	10065.84	0 01:50	47.615	0.00
73	2.73	7217.15	0 01:50	28.991	0.00
74	0.37	541.73	0 01:50	0.351	0.00
76	0.31	1400.40	0 01:50	0.779	0.00
77	2.52	3006.65	0 01:50	7.473	0.00
78	2.24	2491.26	0 01:50	6.325	0.00
79	0.03	24.41	0 01:50	0.002	0.00
80	0.91	1289.87	0 01:50	1.594	0.00
83	1.68	1342.87	0 01:50	2.592	0.00

Resumen de Caudal en Líneas

Línea	Tipo	Caudal Máximo LPS	Instante Caudal Máx días hr:min	Veloc. Máxima m/sec	Caudal Máx/ Lleno	Nivel Máx/ Lleno
1	CONDUIT	64.53	0 02:49	0.90	0.40	1.00
2	CONDUIT	129.77	0 02:45	2.51	1.13	1.00
3	CONDUIT	291.95	0 00:15	1.65	1.19	1.00
5	CONDUIT	108.01	0 00:14	1.51	1.21	1.00
6	CONDUIT	118.22	0 00:12	1.67	0.86	1.00
7	CONDUIT	82.86	0 03:26	1.14	0.80	1.00
8	CONDUIT	82.94	0 03:26	1.14	0.53	1.00
10	CONDUIT	2560.93	0 03:12	3.90	2.10	1.00
11	CONDUIT	1920.59	0 00:02	2.99	1.69	1.00
12	CONDUIT	1956.43	0 00:01	2.95	1.74	1.00
13	CONDUIT	2212.45	0 00:01	2.82	2.18	1.00
14	CONDUIT	3148.46	0 01:49	4.01	5.15	1.00
15	CONDUIT	3151.39	0 01:49	4.01	5.37	1.00
16	CONDUIT	2386.66	0 03:19	3.63	1.94	1.00
17	CONDUIT	444.94	0 02:38	3.43	1.70	1.00
18	CONDUIT	924.27	0 01:55	3.17	0.86	1.00
19	CONDUIT	370.01	0 01:26	10.14	4.16	1.00
20	CONDUIT	2504.80	0 00:47	>50.00	14.57	1.00
21	CONDUIT	995.51	0 01:09	3.41	1.23	1.00
22	CONDUIT	127.49	0 00:14	1.75	7.13	1.00
23	CONDUIT	144.63	0 00:14	1.98	2.86	1.00
24	CONDUIT	442.17	0 00:33	2.18	2.94	1.00
25	CONDUIT	442.39	0 00:33	2.50	2.15	1.00
26	CONDUIT	116.76	0 00:15	1.60	1.98	1.00
27	CONDUIT	497.75	0 00:34	1.75	0.70	1.00
29	CONDUIT	643.18	0 00:34	2.20	3.10	1.00
30	CONDUIT	321.82	0 00:35	1.66	1.12	1.00
31	CONDUIT	302.36	0 00:35	1.49	0.61	1.00
32	CONDUIT	1019.19	0 00:34	2.59	1.56	1.00
33	CONDUIT	1194.17	0 01:40	2.62	1.30	1.00
34	CONDUIT	1275.28	0 03:13	2.80	1.17	1.00
35	CONDUIT	1593.94	0 00:49	3.50	1.65	1.00
36	CONDUIT	107.10	0 00:22	1.72	0.75	1.00
37	CONDUIT	169.22	0 00:14	2.33	2.25	1.00
38	CONDUIT	1570.52	0 00:48	2.39	1.76	1.00
39	CONDUIT	1881.32	0 03:13	2.86	1.72	1.00
40	CONDUIT	129.78	0 00:15	1.78	1.54	1.00
42	CONDUIT	3758.55	0 01:49	4.79	3.96	1.00
46	CONDUIT	293.53	0 00:15	2.26	3.98	1.00
48	CONDUIT	516.04	0 01:42	3.14	2.87	1.00
49	CONDUIT	2063.77	0 00:35	3.14	1.13	1.00
50	CONDUIT	373.90	0 01:06	2.28	3.53	1.00
51	CONDUIT	2268.06	0 03:13	3.45	1.52	1.00
52	CONDUIT	3122.21	0 01:38	3.98	1.49	1.00
53	CONDUIT	4760.21	0 01:50	6.06	2.18	1.00
54	CONDUIT	6915.97	0 01:50	8.81	1.81	1.00
55	CONDUIT	2340.69	0 03:18	2.98	2.29	1.00
56	CONDUIT	2381.57	0 03:18	3.03	2.43	1.00
58	CONDUIT	2469.64	0 03:19	3.76	2.70	1.00
59	CONDUIT	3469.46	0 01:49	5.28	1.71	1.00
60	CONDUIT	352.74	0 03:12	3.55	2.18	1.00
61	CONDUIT	353.33	0 03:12	3.56	1.40	1.00
67	CONDUIT	213.70	0 00:12	2.93	1.55	1.00
68	CONDUIT	307.94	0 02:47	4.22	2.49	1.00
70	CONDUIT	444.01	0 02:38	2.19	1.27	1.00
71	CONDUIT	443.31	0 02:38	2.43	1.01	1.00
72	CONDUIT	993.18	0 02:15	4.05	1.30	1.00
73	CONDUIT	1650.56	0 01:50	4.15	1.31	1.00
74	CONDUIT	1434.83	0 01:40	3.15	1.14	1.00
75	CONDUIT	1806.76	0 00:57	3.96	1.53	1.00
80	CONDUIT	1109.50	0 03:19	1.90	0.57	1.00
81	CONDUIT	152.44	0 00:57	2.09	1.66	1.00
82	CONDUIT	186.50	0 00:25	2.56	1.63	1.00
83	CONDUIT	1581.73	0 01:49	2.41	1.21	1.00
84	CONDUIT	2425.31	0 01:49	3.69	2.24	1.00
45	CONDUIT	4111.18	0 01:51	6.26	1.68	1.00

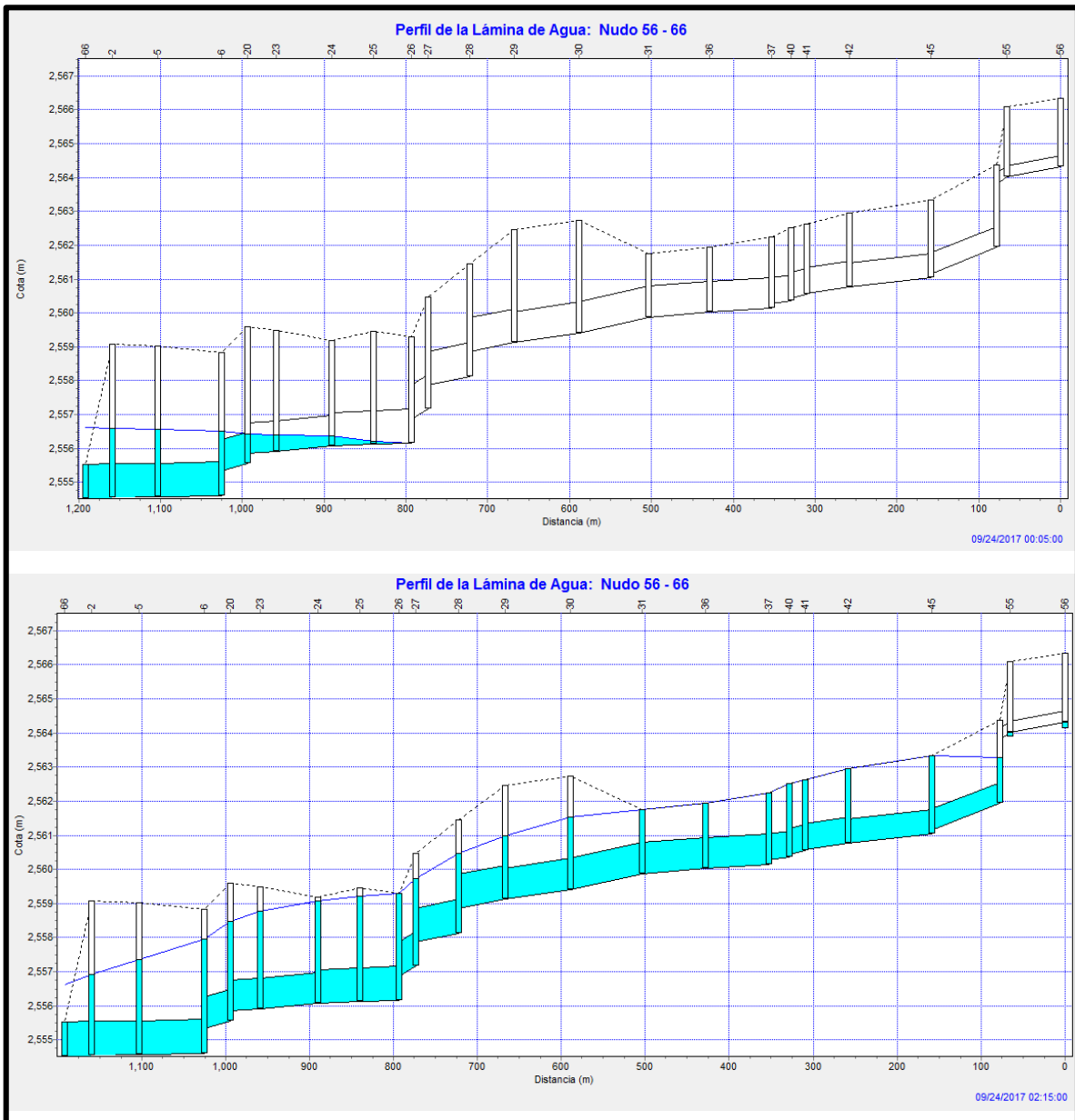
 Resumen de Sobrecarga de Conductos

Conduit	----- Horas Lleno -----			Horas	
	Ambos Ext	Ext. Ini.	Ext. Fin.	Q > Q unif. Tubo Lleno	Capacidad Limitada
1	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
2	0.09	0.09	0.12	0.02	0.02
3	3.11	3.11	3.11	0.04	0.05
5	3.22	3.22	3.22	0.01	0.01
6	3.30	3.30	3.30	0.01	0.01
7	3.39	3.39	3.39	0.01	0.01
8	3.91	3.91	3.91	0.01	0.01
10	3.28	3.28	3.28	2.99	3.01
11	3.95	3.95	3.95	1.71	0.01
12	3.96	3.96	3.96	0.23	0.01
13	3.97	3.97	3.97	0.05	0.04
14	3.98	3.98	3.98	3.53	3.42
15	3.99	3.99	3.99	3.55	3.43
16	3.27	3.27	3.27	2.72	2.74
17	2.53	2.53	2.53	2.66	2.53
18	2.93	2.93	2.93	0.01	0.01
19	0.07	0.07	0.12	0.12	0.07
20	0.09	0.09	0.13	0.17	0.09
21	2.79	2.79	2.86	0.08	0.41
22	3.08	3.08	3.08	3.22	0.20
23	3.08	3.08	3.08	0.32	0.27
24	3.00	3.00	3.00	2.92	0.29
25	2.99	2.99	2.99	1.20	0.20
26	3.04	3.04	3.04	2.90	0.13
27	2.97	2.97	2.97	0.01	0.01
29	3.04	3.04	3.04	1.10	0.35
30	2.93	2.93	2.93	0.01	0.01
31	3.00	3.00	3.00	0.01	0.01
32	2.97	2.97	2.97	3.04	2.95
33	2.96	2.96	2.96	2.78	2.77
34	2.97	2.97	2.97	2.82	2.84
35	3.00	3.00	3.00	3.04	3.00
36	3.10	3.10	3.10	0.01	0.01
37	3.12	3.12	3.12	0.32	0.29
38	2.97	2.97	2.97	3.11	2.96
39	2.95	2.95	2.95	3.10	2.95
40	3.07	3.07	3.07	0.08	0.08
42	4.00	4.00	4.00	3.43	3.35
46	3.13	3.13	3.13	2.73	0.22
48	3.13	3.13	3.13	2.94	0.19
49	2.95	2.95	2.95	0.29	0.27
50	2.78	2.78	2.78	2.90	2.78
51	2.90	2.90	2.90	2.77	2.55
52	2.77	2.77	2.78	2.95	2.77
53	3.01	3.01	3.01	2.97	2.97
54	3.11	3.11	3.11	1.93	1.93
55	3.23	3.23	3.23	2.48	2.50
56	3.24	3.24	3.24	3.18	3.19
58	3.32	3.32	3.33	3.19	3.20
59	3.91	3.91	3.92	3.10	3.10
60	3.20	3.20	3.20	2.97	2.97
61	3.08	3.08	3.08	2.46	2.47
67	3.95	3.95	3.95	2.83	2.83
68	3.11	3.11	3.12	0.02	0.03
70	2.53	2.53	2.53	2.48	2.46
71	2.53	2.53	2.53	0.06	0.08
72	2.54	2.54	2.54	2.12	2.09
73	2.58	2.58	2.58	1.16	1.17
74	2.63	2.63	2.63	2.54	2.54
75	2.54	2.54	2.54	2.42	2.20
80	3.45	3.45	3.45	0.01	0.01
81	3.28	3.28	3.28	2.90	2.90
82	3.89	3.89	3.89	2.99	2.99
83	3.92	3.92	3.92	2.75	2.75
84	3.94	3.94	3.94	2.83	0.01
45	2.52	2.52	2.54	2.57	2.52

Instante de inicio del análisis: Wed Nov 22 16:32:13 2017
 Instante de finalización del análisis: Wed Nov 22 16:32:13 2017
 Tiempo total transcurrido: < 1 s

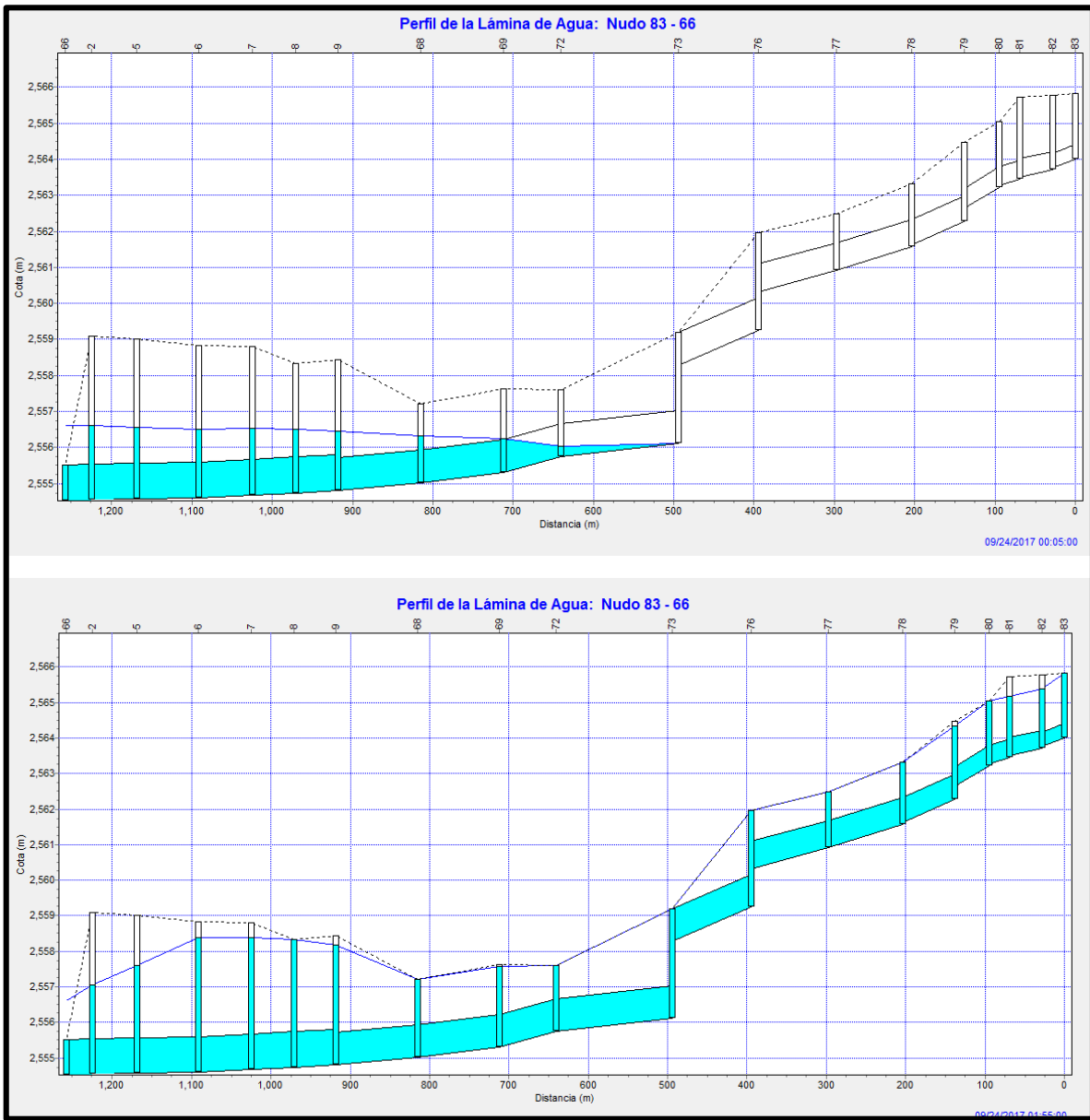
(Autores., 2017)

Anexo. 18. Modelación Colector 1. Tramo A Periodo de Retorno 100 años



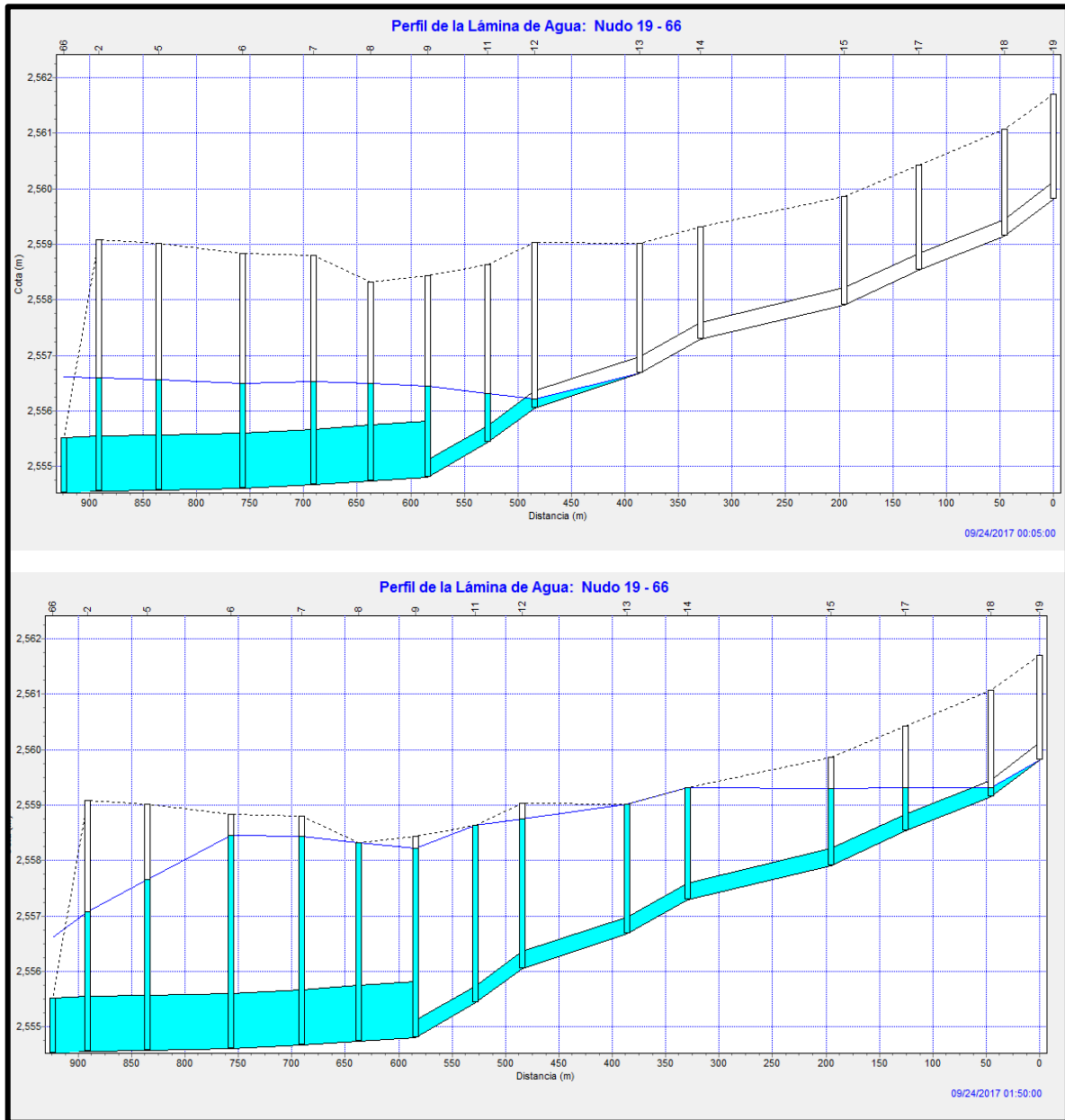
(Autores., 2017)

Anexo. 19. Modelación Colector 1. Tramo B Periodo de Retorno 100 años



(Autores., 2017)

Anexo. 20. Modelación Colector 1. Tramo C Periodo de Retorno 100 años



(Autores., 2017)

Anexo. 21. Resumen del informe del colector 2 para un periodo de retorno de 10 años

```

STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 vE (Build 5.0.018 vE)
Traducido por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos
Universidad Politécnica de Valencia
-----

*****
NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se
basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos
de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el
informe.
*****

*****
Opciones de Análisis
*****
Unidades de Caudal ..... LPS
Modelos utilizados:
Lluvia/Escurrentia ..... SI
Deshielo de Nieve ..... NO
Flujo Subterráneo ..... NO
Cálculo Hidráulico ..... SI
Permitir Estancamiento . SI
Calidad del Agua ..... NO
Método de Infiltración ..... GREEN_AMPT
Método de Cálculo Hidráulico .... DYNWAVE
Fecha de Comienzo ..... SEP-24-2017 00:00:00
Fecha de Finalización ..... SEP-24-2017 06:00:00
Días Previos sin Lluvia ..... 0.0
Report Time Step ..... 00:05:00
Intervalo para Tiempo de Lluvia . 00:10:00
Intervalo para Tiempo Seco ..... 01:00:00
Intervalo de Cálculo Hidráulico . 60.00 s
*****
Resumen de Inundación en Nudos
*****

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.
-----
Nudo              Horas          Caudal          Instante en          Volumen          Volumen
                  Inundado        Máximo          que sucede          Total            Máximo
                  LPS             LPS             días hr:min         Inund.           Estanc.
                  10^6 ltr
-----
2                0.30          338.75          0 01:40             0.220           0.00
3                0.27          534.72          0 01:59             0.166           0.00
5                0.35          741.00          0 01:40             0.562           0.00
6                0.66          3323.70         0 03:15             1.604           0.00
7                0.34          2320.69         0 00:11             0.257           0.00
-----

*****
Resumen de Caudal en Líneas
*****

-----
Línea            Tipo          Caudal          Instante          Veloc.          Caudal          Nivel
                  Máximo          Caudal Máx          Máxima          Máj/           Máj/
                  LPS             días hr:min         m/sec          Lleno           Lleno
-----
1                CONDUIT       1006.29         0 01:59           3.44           1.74           1.00
2                CONDUIT       1029.52         0 01:59           2.68           1.31           1.00
3                CONDUIT       1056.65         0 01:47           2.91           0.99           1.00
4                CONDUIT       2137.22         0 01:40           5.75           1.16           1.00
5                CONDUIT       3584.62         0 03:15           15.40          2.39           1.00
6                CONDUIT       2704.53         0 00:11           11.57          1.46           1.00
7                CONDUIT       2943.02         0 01:44           5.71           1.19           1.00
-----

*****
Resumen de Sobrecarga de Conductos
*****

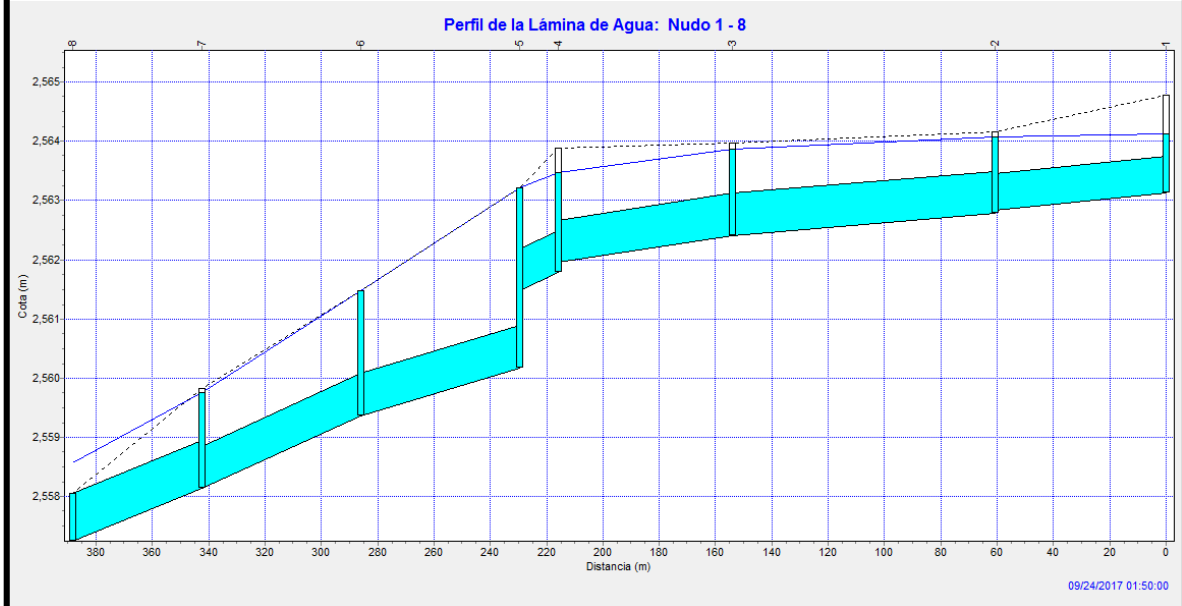
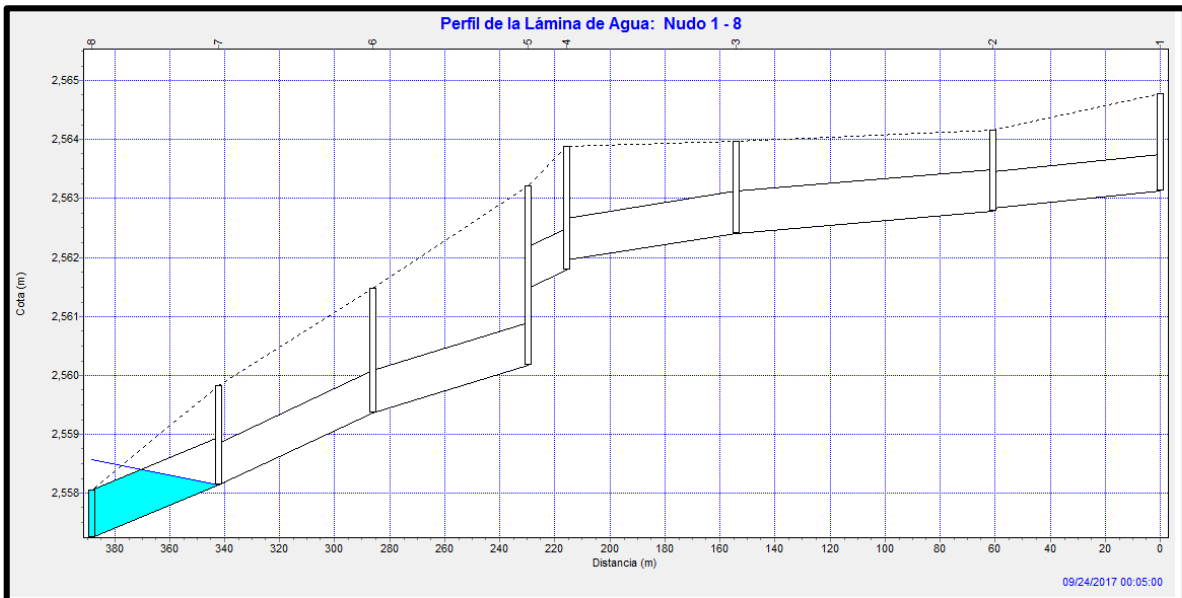
-----
Conduit          ----- Horas Lleno -----          Horas          Horas
                  Ambos Ext  Ext.Ini.  Ext.Fin.          Q > Q unif.  Capacidad
                  Tubo Lleno  Limitada
-----
1                0.54       0.54       0.55           0.03           0.01
2                0.55       0.55       0.57           0.02           0.01
3                0.60       0.60       0.62           0.01           0.01
4                0.70       0.70       0.70           0.30           0.30
5                0.97       0.97       0.97           0.83           0.80
6                1.05       1.05       1.05           0.88           0.85
7                1.56       1.56       1.58           0.81           0.80

Instante de inicio del análisis:      Wed Nov 22 16:40:59 2017
Instante de finalización del análisis: Wed Nov 22 16:40:59 2017
Tiempo total transcurrido:            < 1 s

```

(Autores., 2017)

Anexo. 22. Modelación Colector 2. Periodo de Retorno 10 años



(Autores., 2017)

Anexo. 23. Resumen del informe del colector 2 para un periodo de retorno de 25 años

```

STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 vE (Build 5.0.018 vE)
Traducido por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos
Universidad Politécnica de Valencia
-----

*****
NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se
basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos
de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el
informe.
*****

*****
Opciones de Análisis
*****

Unidades de Caudal ..... LPS
Modelos utilizados:
Lluvia/Escoorrentía ..... SI
Deshielo de Nieve ..... NO
Flujo Subterráneo ..... NO
Cálculo Hidráulico ..... SI
Permitir Estancamiento . SI
Calidad del Agua ..... NO
Método de Infiltración ..... GREEN_AMPT
Método de Cálculo Hidráulico .... DYNWAVE
Fecha de Comienzo ..... SEP-24-2017 00:00:00
Fecha de Finalización ..... SEP-24-2017 05:00:00
Días Previos sin Lluvia ..... 0.0
Report Time Step ..... 00:05:00
Intervalo para Tiempo de Lluvia . 00:10:00
Intervalo para Tiempo Seco ..... 01:00:00
Intervalo de Cálculo Hidráulico . 60.00 s

*****
Resumen de Inundación en Nudos
*****

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.
-----

          Caudal      Instante en      Volumen      Volumen
          Horas      Máximo      que sucede      Total      Máximo
Nudo      Inundado      LPS      días hr:min      Inund.      Estanc.
-----
1          0.01      375.50      0 00:13      0.002      0.00
2          0.40      498.78      0 01:40      0.416      0.00
3          0.37      501.45      0 01:40      0.361      0.00
4          0.02      578.69      0 00:12      0.035      0.00
5          0.52      5116.66      0 00:13      1.337      0.00
6          0.90      4013.48      0 03:16      2.335      0.00
7          1.09      2651.63      0 00:11      2.083      0.00

*****
Resumen de Sobrecarga de Conductos
*****

-----

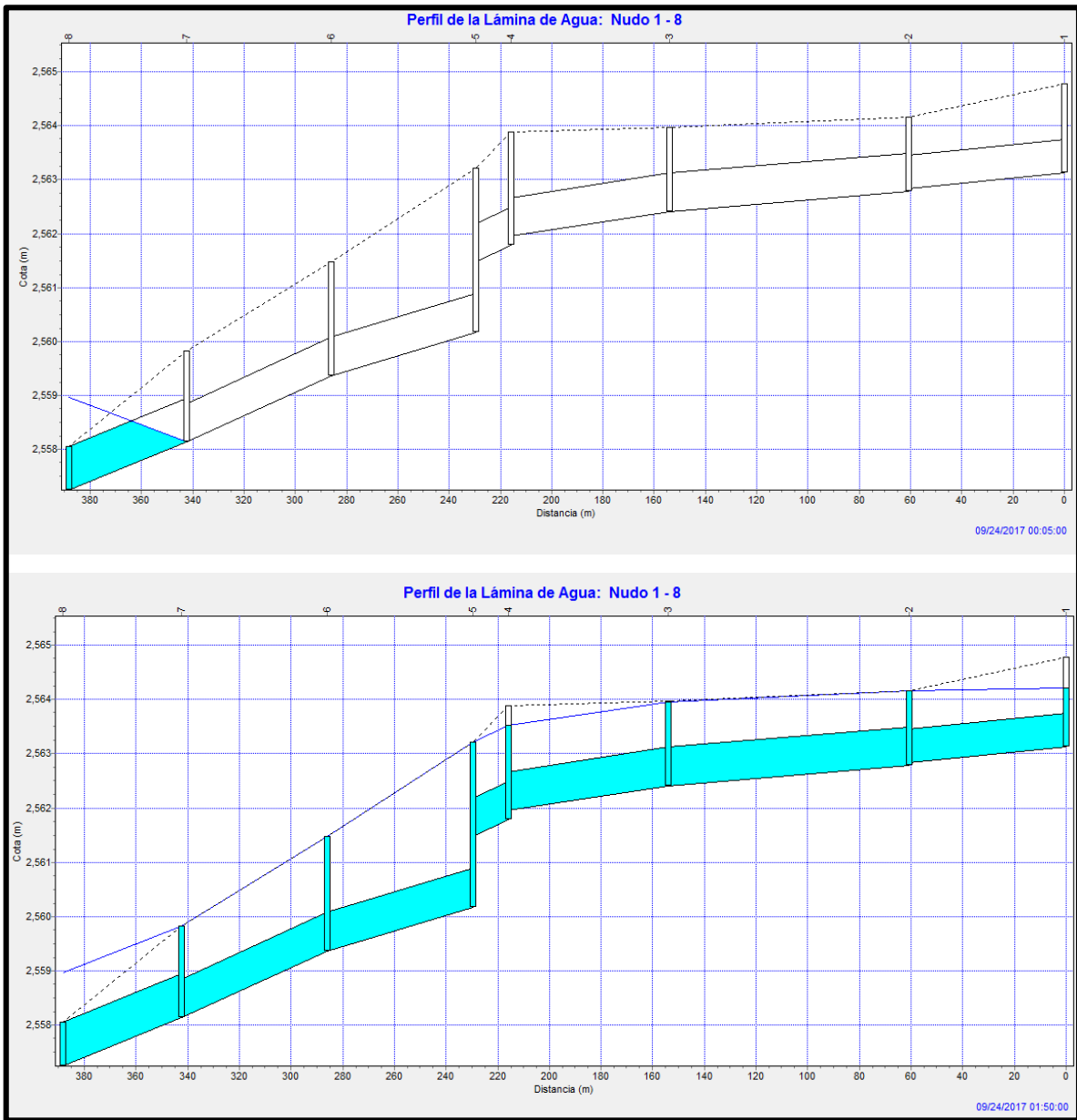
          Horas      Horas      Horas
          Ambos Ext  Ext.Ini.  Ext.Fin.  Q > Q unif.  Capacidad
Conduit      Tubo Llento Limitada
-----
1          0.65      0.65      0.67      0.01      0.01
2          0.70      0.70      0.70      0.01      0.01
3          0.80      0.80      0.81      0.01      0.01
4          0.94      0.94      0.96      0.43      0.42
5          1.56      1.56      1.56      1.12      1.09
6          1.83      1.83      1.84      1.21      1.15
7          3.16      3.16      3.18      0.01      0.01

Instante de inicio del análisis:      Wed Nov 22 16:49:47 2017
Instante de finalización del análisis: Wed Nov 22 16:49:47 2017
Tiempo total transcurrido:      < 1 s

```

(Autores., 2017)

Anexo. 24. Modelación Colector 2. Periodo de Retorno 25 años



(Autores., 2017)

Anexo. 25. Resumen del informe del colector 2 para un periodo de retorno de 100 años

```

STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 vE (Build 5.0.018 vE)
Traducido por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos
Universidad Politécnica de Valencia
-----

NOTA: El resumen estadístico mostrado en este informe se
basa en los resultados obtenidos en todos los intervalos
de cálculo, no sólo en los intervalos registrados en el
informe.
-----

Opciones de Análisis
-----
Unidades de Caudal ..... LPS
Modelos utilizados:
Lluvia/Escurrentia ..... SI
Deshielo de Nieve ..... NO
Flujo Subterráneo ..... NO
Cálculo Hidráulico ..... SI
Permitir Estancamiento . SI
Calidad del Agua ..... NO
Método de Infiltración ..... GREEN_AMPT
Método de Cálculo Hidráulico .... DYNWAVE
Fecha de Comienzo ..... SEP-24-2017 00:00:00
Fecha de Finalización ..... SEP-24-2017 05:00:00
Días Previos sin Lluvia ..... 0.0
Report Time Step ..... 00:05:00
Intervalo para Tiempo de Lluvia . 00:10:00
Intervalo para Tiempo Seco ..... 01:00:00
Intervalo de Cálculo Hidráulico . 60.00 s
-----
Resumen de Inundación en Nudos
-----

Inundación se refiere a toda el agua que rebosa de un nudo, quede estancada.
-----

```

Nudo	Horas Inundado	Caudal Máximo LPS	Instante en que sucede el Máximo días hr:min	Volumen Total Inund. 10 ⁶ ltr	Volumen Máximo Estanc. ha-mm
2	0.67	801.58	0 01:40	0.913	0.00
3	0.62	893.28	0 01:40	0.879	0.00
5	0.78	1525.51	0 01:40	1.982	0.00
6	1.37	4841.04	0 03:21	4.178	0.00
7	2.75	2678.20	0 00:11	10.655	0.00

```

-----
Resumen de Sobrecarga de Conductos
-----

```

Conduit	Horas Lleno			Horas Q > Q unif. Capacidad	
	Ambos Ext	Ext.Ini.	Ext.Fin.	Tubo Lleno	Limitada
1	1.00	1.00	1.02	0.01	0.01
2	1.05	1.05	1.05	0.01	0.01
3	1.17	1.17	1.18	0.01	0.01
4	1.44	1.44	1.46	0.70	0.69
5	2.70	2.70	2.71	1.67	1.60
6	2.80	2.80	2.81	1.76	1.74
7	4.82	4.82	4.83	0.01	0.01

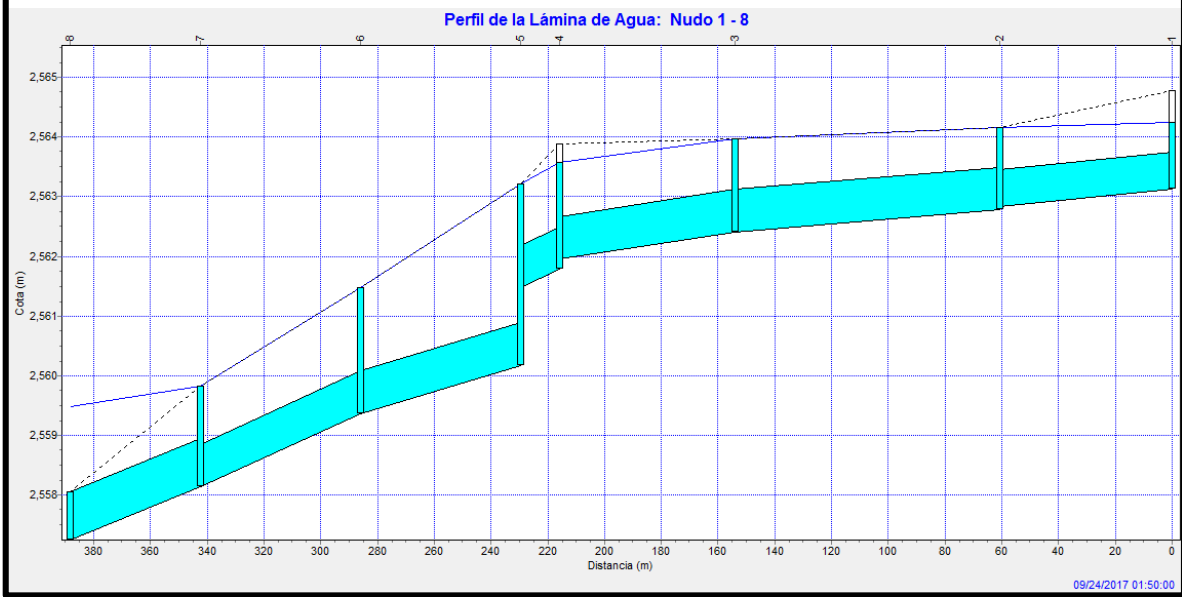
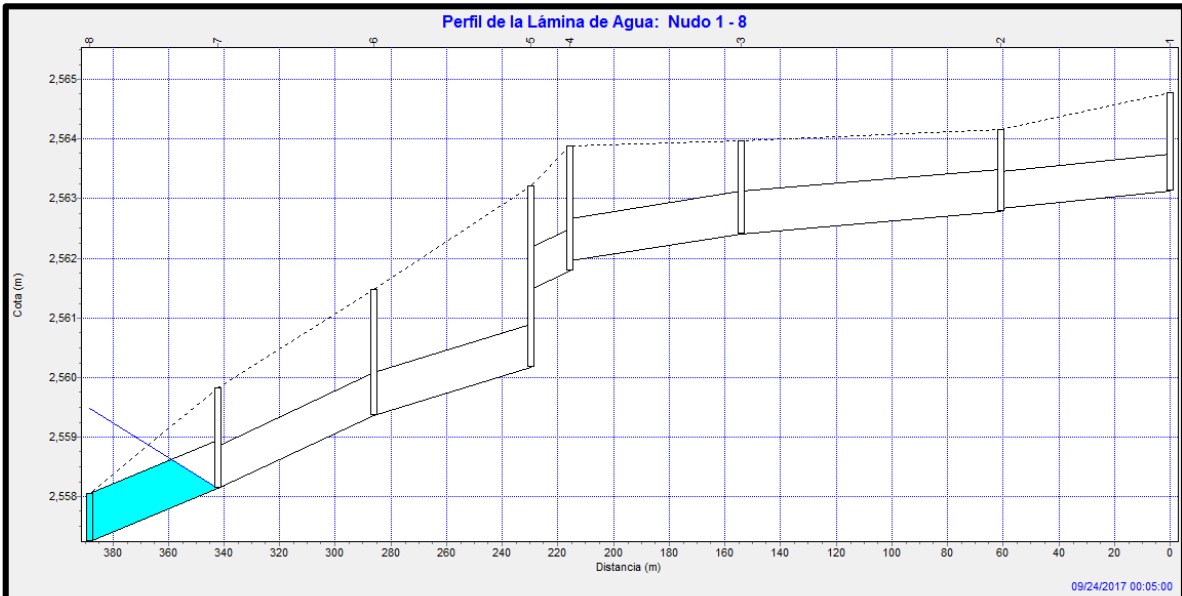
```

Instante de inicio del análisis:      Wed Nov 22 16:55:03 2017
Instante de finalización del análisis: Wed Nov 22 16:55:04 2017
Tiempo total transcurrido:           00:00:01

```

(Autores., 2017)

Anexo. 26. Modelación Colector 2. Periodo de Retorno 100 años



(Autores., 2017)