

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAJE
DE AALL Y UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA EVACUACIÓN DE LOS CAUDALES
GENERADOS POR LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL.**

CASO DE ESTUDIO: CIUDADELA MUCHO LOTE 2, GUAYAQUIL.

AUTOR:

Estrella Rodríguez, Pedro Andrés.

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de

INGENIERO CIVIL.

TUTOR:

Castro Beltrán, Andrés

Guayaquil, Ecuador

20 de marzo del 2017.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Estrella Rodríguez, Pedro Andrés**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Castro Beltrán, Andrés

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 20 del mes de marzo del año 2017.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Estrella Rodríguez, Pedro Andrés**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAJE DE AALL Y UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA EVACUACIÓN DE LOS CAUDALES GENERADOS POR LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL. CASO DE ESTUDIO: CIUDADELA MUCHO LOTE 2, GUAYAQUIL**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

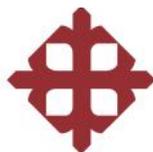
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 20 del mes de marzo del año 2017.

EL AUTOR

f. _____

Estrella Rodríguez, Pedro Andrés



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Estrella Rodríguez, Pedro Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAJE DE AALL Y UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA EVACUACIÓN DE LOS CAUDALES GENERADOS POR LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL. CASO DE ESTUDIO: CIUADELA MUCHO LOTE 2, GUAYAQUIL**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 del mes de marzo del año 2017.

EL AUTOR:

f. _____

Estrella Rodríguez, Pedro Andrés

Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULO PEDRO ESTRELLA.docx (D25996125)
Submitted: 2017-02-24 14:09:00
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 4 %

Sources included in the report:

proyecto de alcantarillado pluvial.docx (D15111712)
Tesis Ingeniería Sanitaria Pedro Estrella 16 septiembre 2016.docx (D21924950)
LISTO CA I.docx (D11361585)
<http://www.alestuariodelplata.com.ar/girh.html>
http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2013-10-14_03-52-2892546.pdf
<http://documents.mx/documents/plan-director-drenaje-pluvial.html>
<http://docplayer.es/14452032-Programa-de-capacitacion-para-gestores-y-tomadores-de-decision-publicos-en-el-campo-de-los-recursos-hidricos.html>

Instances where selected sources appear:

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, porque Él es quien me da fuerzas y me guía en cada paso, en cada decisión, sin Él nada soy y en Él todo lo puedo.

Agradezco a mi familia y seres queridos, porque ellos me han enseñado los valores que me han convertido en lo que soy hoy, un hombre de bien.

Agradezco a mis amigos profesores y amigos compañeros, porque gracias a ellos mi vida universitaria fue provechosa y amena, con enseñanzas para la vida profesional y no profesional, con anécdotas inolvidables, compartimos sacrificios para un mejor futuro y recompensas satisfactorias.

En especial, agradezco a mis padres Pedro y María Eugenia, porque sin el esfuerzo y constancia de ellos, yo no hubiera podido lograr esta meta tan alegre; éste título no es mío, es de mis padres.

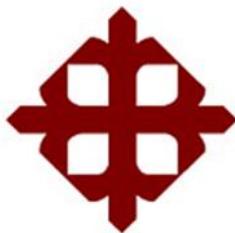
Cómo último pero no menos importante, agradezco a mi tío Jorge Salazar, porque gracias a él aumentó mi amor por esta carrera y aprendí nuevos aspectos de la misma, él y mi papá fueron mis primeros jefes y profesores.

DEDICATORIA

A mi querida Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por haberme recibido en sus aulas.

A mis queridas instituciones de enseñanza media, Jardín Moderno y Centro Educativo Bilingüe Interamericano, por haberme dado las bases para mi carrera universitaria.

A Dios, mi familia, seres queridos, amigos profesores y compañeros, sin Él y ellos no pude haber logrado esta meta.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

Ing. Andrés Castro Beltrán

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Lilia Valarezo Moreno

DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Miguel Cabrera Santos

OPONENTE

f. _____

Ing. Clara Glas Cevallos

COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

ÍNDICE

1. Introducción.....	17
2. Antecedentes.....	18
3. Justificación	20
4. Planteamiento y Limitación del Problema.....	21
5. Objetivos.....	22
5.1. Objetivo General	22
5.2. Objetivos Específicos	22
6. Hipótesis.....	23
7. Marco Teórico.....	24
7.1. Conceptos Generales.....	24
7.2. Cuenca Hidrográfica.....	26
7.3. Crecidas e Inundaciones.....	27
7.4. Escurrimiento Encauzado.....	28
7.5. Probabilidad y Tiempo de Retorno.....	29
7.6. Componentes de un Sistema de Alcantarillado de Aguas Lluvias. ..	31
7.7. Impacto Hidrológico de la Urbanización.....	33
7.8. Medidas Estructurales y No Estructurales.....	35
8. Metodología.....	46
8.1. Definición de la Estructura de Drenaje.....	46
8.2. Determinación de las Cuencas de Aportación al Sistema. Estimación de las Características de la Cuenca y su Área.....	46
8.3. Definición del Modelo de Lluvia.....	48
8.4. Realización del Modelo Hidrológico – Hidráulico.....	52
9. Diseños del Sistema.....	56
9.1 Rediseño del sistema actual.....	56

9.2. Diseño con Reservoirio Parque.....	58
9.3. Diseño con Reservoirio Parque y Reservoirios para Techos.	62
9.4. Diseño con Reservoirios de Techos.	70
10. Presentación y Discusión de resultados.	72
10.1. Resultados del Diseño con Reservoirio Parque.	72
10.2. Resultados del Diseño con Reservoirio Parque y Reservoirios para Techos.....	75
10.3. Resultados del Diseño con Reservoirios para Techos.	78
10.4. Comparación de Presupuestos.....	81
11. Conclusiones	85
12. Recomendaciones	86
13. Referencias Bibliográficas.	87

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: En Guayaquil, previo a su consumo, las aguas del río Daule son tratadas en la Planta de Tratamiento de La Toma, ubicada en el km 26 de la Vía a Daule. Google Earth, (2011).</i>	18
<i>Figura 2: Ilustración de una cuenca típica en zonas costeras o riberas. Ceballo, D. (2013). Deforestación de Cuencas Hidrográficas. Recuperado de: http://www.conciencia-agroecologica.com/2013/11/deforestacion-cuencas.html.</i>	26
Figura 3: Ilustra los principales impactos del proceso. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practice. FISRWG. (2001).	34
Figura 4: Esquema de las Medidas de Manejo y Control de Inundaciones. JVP Consultores. (2016). Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil.....	35
Figura 5: Sistema de recolección con canaletas. CivilSystems. (2016). Estudio del Sistema de Aguas Lluvias para sector Challuabamba, Cuenca.	39
Figura 6: Tanque reservorio de Aguas Lluvias provenientes de los techos. JVP Consultores. (2016). Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil.....	39
Figura 7: Tanque reservorio de Aguas Lluvias en el lote. JVP Consultores. (2016). Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil.	40
Figura 8: Reservorio de Detención. Tucci. (1997).....	41
Figura 9: Reservorio de Retención. Tucci. (1997).....	41
Figura 10: Reservorio de Detención usando sistemas modulares geocelulares. Atlantis. (2017). Recuperada de: http://drenajesostenible.com/productos-atlantis/	42
Figura 11: Cisternas usadas para almacenamiento de Aguas Lluvias. JVP Consultores. (2016). Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil.....	43
Figura 12: Modelo del sistema en el programa EPA-SWMM. Autor: Pedro Estrella.	47
Figura 13: Curva del hietograma para Tr de 5 años. Autor: Pedro Estrella.	50
Figura 14: Curva del hietograma para Tr de 10 años. Autor: Pedro Estrella.	51

Figura 15: Curva del hietograma para Tr de 25 años. Autor: Pedro Estrella.	52
Figura 16: Curva de Marea. Autor: Pedro Estrella.	54
Figura 17: Modelo del sistema en el programa EPA-SWMM. Autor: Pedro Estrella.	55
Figura 18: Simulación para diseño de cuneta (Gutter) realizada con el programa Flowmaster. (Flowmaster, Cross Section for Gutter, 2017).	58
Figura 19: Simulación para adaptación del sistema de reservorios para aguas lluvia de los techos. Autor: Pedro Estrella.	64
Figura 20: Hidrograma de entrada (inflow) vs hidrograma de salida (flow). Autor: Pedro Estrella.	73
Figura 21: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 5 años. Autor: Pedro Estrella.	73
Figura 22: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 10 años. Autor: Pedro Estrella.	74
Figura 23: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 25 años. Autor: Pedro Estrella.	74
Figura 24: Hidrograma de entrada (inflow) vs hidrograma de salida (flow). Autor: Pedro Estrella.	76
Figura 25: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 5 años. Autor: Pedro Estrella.	76
Figura 26: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 10 años. Autor: Pedro Estrella.	77
Figura 27: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 25 años. Autor: Pedro Estrella.	77
Figura 28: Hidrograma sin reservorios techos vs hidrograma con reservorios techos. Autor: Pedro Estrella.	79
Figura 29: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 5 años. Autor: Pedro Estrella.	79
Figura 30: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 10 años. Autor: Pedro Estrella.	80
Figura 31: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 25 años. Autor: Pedro Estrella.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Medidas estructurales para minimizar inundaciones (Tucci, 2007).	36
Tabla 2: Tabulación de datos para posterior ingreso en el programa SWMM. Autor: Pedro Estrella.....	47
Tabla 3: Valores de los parámetros para las ecuaciones pluviométricas determinados por INTERAGUA para la ciudad de Guayaquil. Autor: Pedro Estrella.....	48
Tabla 4: Valores obtenidos para la elaboración de la curva del hietograma para Tr de 5 años. Autor: Pedro Estrella.....	49
Tabla 5: Valores obtenidos para la elaboración de la curva del hietograma para Tr de 10 años. Autor: Pedro Estrella.....	50
Tabla 6: Valores obtenidos para la elaboración de la curva del hietograma para Tr de 25 años. Autor: Pedro Estrella.....	51
Tabla 7: Valores obtenidos para la elaboración de la Curva de Marea. Autor: Pedro Estrella.	53
Tabla 8: Rediseño del Sistema de Alcantarillado Pluvial Actual. Autor: Pedro Estrella.....	56
Tabla 9: Hidrograma de salida del reservorio parque. Autor: SWMM.	59
Tabla 10: Prediseño del Sistema con Reservorio Parque. Autor: Pedro Estrella.....	60
Tabla 11: Diseño de Tanque Reservorio para Aguas Lluvias de Techos. Autor: Pedro Estrella.....	62
Tabla 12: Cálculo de áreas de techos para cada cuenca. Autor: Pedro Estrella.....	63
Tabla 13: Hidrograma de Tanque Reservorio para Aguas Lluvias de Techos de cada vivienda. Autor: Pedro Estrella.	64
Tabla 14: Hidrograma promedio que ingresa a un sumidero. Autor: SWMM, 2017.....	65
Tabla 15: Hidrogramas ponderados obtenidos para los sumideros del modelo en SWMM. Autor: Pedro Estrella.	66
Tabla 16: Prediseño del Sistema de Aguas Lluvias con reservorio parque y reservorios techos. Autor: Pedro Estrella.....	69

Tabla 17: Prediseño del Sistema de Aguas Lluvias con reservorios techos. Autor: Pedro Estrella.....	70
Tabla 18: Hidrograma de entrada e hidrograma de salida. Autor: Pedro Estrella.....	72
Tabla 19: Hidrograma de entrada e hidrograma de salida. Autor: Pedro Estrella.....	75
Tabla 20: Hidrograma sin reservorios techos e hidrograma con reservorios techos. Autor: Pedro Estrella.....	78
Tabla 21: Presupuesto del Sistema sin Reservorio. Autor: Pedro Estrella. .	81
Tabla 22: Presupuesto del Sistema con Reservorio Parque. Autor: Pedro Estrella.....	82
Tabla 23: Presupuesto del Sistema con Reservorio Parque y Reservorios para Techos. Autor: Pedro Estrella.....	83
Tabla 24: Presupuesto del Sistema con Reservorios Techos. Autor: Pedro Estrella.....	84

RESUMEN

La ciudad de Guayaquil cuenta con un sistema de drenaje pluvial independiente del sistema de alcantarillado sanitario, que no alcanza a cubrir el 100% de su área urbana, esto se debe al crecimiento desordenado de la ciudad y al elevado costo que representa la ejecución del sistema de recolección de aguas lluvias.

Los costos elevados son el resultado de los grandes diámetros demandados por la alta intensidad de las lluvias; el nulo manejo de las cuencas hidrográficas generadoras del caudal; la poca pendiente de la ciudad y el nivel de la marea; y la alta impermeabilidad con que se construyen los barrios y ciudadelas.

El presente trabajo de investigación analiza, para la ciudadela Mucho Lote 2 en la ciudad de Guayaquil y en conformidad con los criterios actuales de desarrollo sustentable y de conservación del medio ambiente, una alternativa para reducir y/o regular los caudales de escurrimiento, logrando una reducción de diámetros y, por consecuencia, costos de estos sistemas.

Palabras Claves: ANÁLISIS COMPARATIVO SISTEMA AALL CONVENCIONAL Y SOSTENIBLE, MUCHO LOTE 2, GUAYAQUIL.

ABSTRACT

The city of Guayaquil has a rainwater drainage system independent of the sanitary sewer system, which does not cover 100% of its urban area. This is due to the disorderly growth of the city and the high cost of implementing the rainwater harvesting system.

The high costs are the result of the large diameters demanded by the high intensity of the rains; the null management of watersheds generating of the flow; the low slope of the city and the level of the tide; and the high impermeability with which we build our neighborhoods and citadels.

The present study analyzes, for Mucho Lote 2 citadel in the city of Guayaquil and in accordance with the current criteria of sustainable development and conservation of the environment, an alternative to reduce and / or regulate runoff flows, achieving a Reduction of diameters and, consequently, costs of these systems.

1. Introducción.

La ciudad de Guayaquil cuenta con un sistema de drenaje pluvial independiente del sistema de alcantarillado sanitario, que no alcanza a cubrir el 100% de su área urbana, y que en muchos casos, no es eficiente. Lo expuesto, se debe al crecimiento desordenado de la ciudad y al elevado costo que representa la ejecución del sistema de recolección de aguas lluvias, por lo cual, la mayoría de las ocasiones su ejecución es relegada para el final, o se lo ejecuta considerando el mínimo periodo de retorno permisible.

Los costos elevados son el resultado de los grandes diámetros demandados por la alta intensidad de las lluvias; el nulo manejo de las cuencas hidrográficas generadoras del caudal; la poca pendiente de la ciudad y el nivel de la marea; y la alta impermeabilidad con que construimos nuestros barrios y ciudadelas.

De estos cuatro factores, los únicos que pueden ser controlados por las entidades públicas, promotores urbanísticos y diseñadores, son: el manejo de las cuencas y la alta impermeabilidad de las superficies urbanas; elementos que no han sido evaluados al momento de desarrollar los barrios y ciudadelas; por tanto, al calcular los escurrimientos, el Ingeniero diseñador tiene que captar y conducir caudales que, con normativas y regulaciones, pudieron ser previamente disminuidos.

Por tal razón, cualquier propuesta, que reduzca y/o regule los caudales de escurrimiento, será de gran ayuda para reducir diámetros y costos de estos sistemas.

El presente trabajo de investigación pretende presentar, en conformidad con los criterios actuales de desarrollo sustentable y de conservación del medio ambiente, una alternativa factible para implementar en la ciudad de Guayaquil.

2. Antecedentes

Guayaquil es la ciudad más poblada del Ecuador, con cerca de 2'300.000 habitantes, de acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda, realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC, el año 2010.

En el Ecuador, las aguas superficiales, formadas por ríos, lagos y lagunas, son las principales fuentes de abastecimiento de los sistemas de agua potable que sirven a las grandes ciudades y a las comunidades rurales también, y es donde todas las descargas de aguas servidas y lluvias son realizadas.

Los habitantes de la ciudad de Guayaquil consumen el agua que proviene del río Daule, que forma parte de la cuenca hidrográfica del río Guayas, con una extensión de 60.000 km², lo que, según la Enciclopedia del Ecuador, de Efrén Avilés Pino, la convierte en la cuenca más grande de la América del Pacífico Sur.



Figura 1: En Guayaquil, previo a su consumo, las aguas del río Daule son tratadas en la Planta de Tratamiento de La Toma, ubicada en el km 26 de la Vía a Daule.

Google Earth, (2011).

Al reducir caudales de descargas de aguas lluvias, también se reduce la contaminación en los cuerpos receptores. Por ende, si se aplicaran los conceptos de reducción y amortiguamiento de caudales de aguas lluvias, aguas arriba de la captación de la Planta de Tratamiento de La Toma, se reducirían los costos para el funcionamiento del tratamiento del agua potable para Guayaquil.

En muchos casos, los diseños de micro sistemas de drenaje urbano están calculados con Tr de 5 años, se puede decir que los sistemas de aguas lluvias están diseñados y construidos para lluvias con poca carga de caudal, lo cual en una ciudad como Guayaquil que es afectada gran parte del año con grandes lluvias, es muy riesgoso.

Entonces, cualquier solución para reducir diámetros, con Tiempos de Retornos mayores, debe ser considerada para el análisis.

3. Justificación

En los países en vía de desarrollo como Ecuador, muchas ciudades carecen de los sistemas sanitarios (AAPP, AASS Y AALL). De estos tres sistemas, el sistema de aguas lluvias es relegado para el final, por sus elevados costos debido a los grandes caudales que generan.

Por lo anteriormente expuesto, y de acuerdo a los lineamientos del Plan Nacional del Buen Vivir, 2013-2017, **Objetivo 3: Mejorar la Calidad de Vida de la Población;** y **Objetivo 7: Garantizar los Derechos de la Naturaleza y promover un Ambiente sano y Sustentable,** el presente Trabajo de Graduación, previo a la obtención del título profesional, propone realizar un **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAJE DE AALL Y UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA EVACUACIÓN DE LOS CAUDALES GENERADOS POR LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL.**

4. Planteamiento y Limitación del Problema.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, los sistema de aguas lluvias son los que conllevan mayor costo. Es indispensable buscar alternativas que reduzcan costos de aplicación de sistemas de aguas lluvias para el país.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Realizar el análisis y diseño de la red de alcantarillado pluvial en el sector de la Ciudadela Mucho Lote 2, utilizando los criterios actuales de zonas de amortiguamiento y reducción de caudales de aguas lluvias y presentarlos como una alternativa factible para su implementación en nuevos desarrollos urbanísticos.

5.2. Objetivos Específicos

Para cumplir con el objetivo general, se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Demostrar los beneficios que presentan los sistemas sostenibles de drenaje en aspectos ambientales relacionados a la calidad del agua desalojada de zonas urbanas y su impacto en la biodiversidad de cuerpos de agua receptores.
- Exponer las ventajas que son proporcionadas por una adecuada implementación de sistemas sostenibles de drenaje, favoreciendo la infiltración y la evaporación, lo cual resultará en caudales de escurrimiento superficial menores y por lo tanto menores dimensiones de las estructuras de conducción y desalojo de aguas lluvia.

6. Hipótesis.

Si a un sistema tradicional de drenaje pluvial se le modifica la cobertura del suelo de las áreas aportantes o se realizan obras de amortiguamiento y control de caudales tanto en la fuente como en la infraestructura de drenaje, las dimensiones de la misma disminuirán.

7. Marco Teórico

El presente trabajo de grado se realiza cumpliendo la Ley Orgánica de Educación Superior del país y los estatutos de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

7.1. Conceptos Generales.

Se realizará una revisión bibliográfica extensiva sobre los fundamentos del manejo de las aguas lluvias, desde su captación hasta su disposición final, adjuntando conceptos modernos aplicables para la reducción de caudales.

Una vez comprendido el tema, a través de la revisión de la literatura encontrada, se diseñará el sistema de alcantarillado pluvial para un macrolote de la ciudadela Mucho Lote 2, aplicando conceptos modernos para reducción de caudales.

Para comprender los sistemas de recolección y disposición final de las aguas lluvias se debe tener bien claro los conceptos de Ingeniería Sanitaria e Hidrología, ya que de estas dos ramas de las ciencias naturales-ingenieriles depende mucho el correcto funcionamiento del mismo.

Se define como Ingeniería Sanitaria a la encargada de estudiar y analizar los sistemas de saneamiento para mejorar la calidad de vida de los seres humanos, incluye: tratamiento de aguas blancas y negras; distribución de agua potable; recolección de aguas servidas y aguas lluvias; disposición de aguas recolectadas; impactos ambientales en general.

La Hidrología tiene aspectos diferentes a la Ingeniería Sanitaria, ya que comprende conceptos de ciencias naturales y de ciencias ingenieriles, se puede decir que es el punto de unión entre ambos y, por consecuencia, es de gran importancia. El mal manejo de la misma, dejaría sin base a cualquier sistema de aguas lluvias del mundo. Se ocupa especialmente de estudiar la distribución espacio-temporal de las aguas lluvias y las propiedades de las aguas subterráneas y continentales. Dentro de este estudio de aguas, se incluyen: las precipitaciones, la humedad que proviene del suelo, la escorrentía, las masas glaciares y la evotranspiración, que está asociada a la vegetación.

7.1.1. Generalidades de un Sistema de Alcantarillado Pluvial.

El sistema de alcantarillado pluvial es un conjunto de tuberías, sumideros e instalaciones que permiten el rápido desalajo de aguas lluvias. Es de gran importancia en las zonas urbanas con un alto nivel de precipitaciones, ya que, mediante éste, evitamos inundaciones, enfermedades y pérdidas materiales.

Un sistema de alcantarillado de aguas lluvias está constituido por diferentes elementos tales como:

- a) Cunetas: Recogen y concentran las aguas pluviales de las vías y de los terrenos colindantes.
- b) Sumideros: Son estructuras verticales que permiten la entrada del agua de lluvia a los colectores, reteniendo parte importante del material sólido transportado.
- c) Colectores secundarios: Son las tuberías que recogen las aguas de lluvia desde los sumideros y las conducen a los colectores principales.
- d) Colectores principales: Son tuberías de gran diámetro, conductos de sección rectangular o canales abiertos, situados generalmente en las partes más bajas de las ciudades, y transportan las aguas lluvias hasta su destino final.
- e) Pozos de inspección: Son cámaras verticales que permiten el acceso a los colectores, para facilitar su mantenimiento.
- f) Descarga final de las aguas de lluvia: Son estructuras destinadas a evitar la erosión en los puntos en que las aguas de lluvia recogidas se vierten en cauces naturales de ríos, arroyos o mares.

7.2. Cuenca Hidrográfica.

La porción de terreno que conduce el agua lluvia, ya sea superficial o subterráneamente, hacia un punto, se denomina cuenca hidrográfica. Ésta se encuentra delimitada por líneas divisorias de agua, naturalmente son puntos altos del terreno y antropomórficamente son construcciones como caminos, canales o muros.

Las características físicas de una cuenca hidrográfica influyen fuertemente sobre la respuesta hidrológica de la misma. Entre ellas se destacan: el área, la forma, la pendiente media de la cuenca, la densidad de drenaje, la longitud y pendiente del cauce principal, el uso y el estado de humedad del suelo.

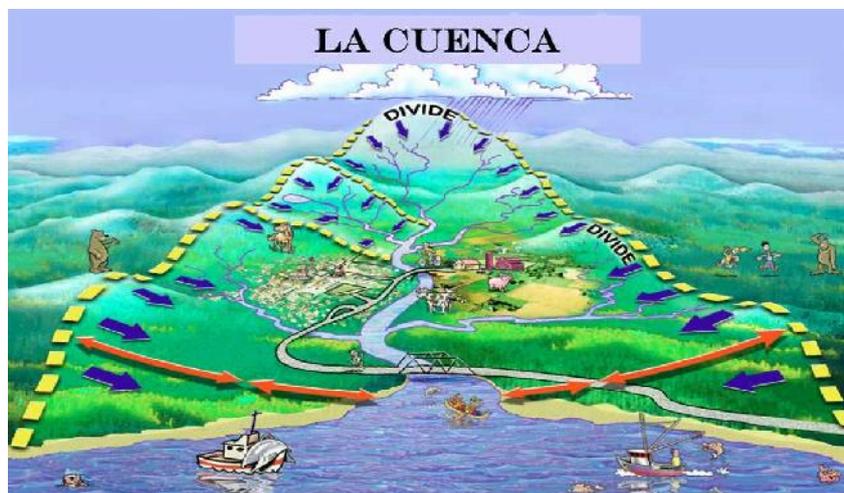


Figura 2: Ilustración de una cuenca típica en zonas costeras o riberas. Ceballo, D. (2013). Deforestación de Cuencas Hidrográficas. Recuperado de: <http://www.conciencia-agroecologica.com/2013/11/deforestacion-cuencas.html>.

7.3. Crecidas e Inundaciones.

Una crecida es la respuesta de una cuenca hidrográfica ante la ocurrencia de una precipitación que abarcó total o parcialmente su área de aporte. Implica la variación de los caudales y niveles en el tiempo. Tanto las características de la cuenca como de la precipitación definen la magnitud y severidad de la crecida. En Hidrología las crecidas son representadas por gráficos denominados hidrogramas, en los cuales se relacionan las variaciones del caudal (ordenadas) en función del tiempo (abscisas).

La inundación es una condición temporaria de ocupación parcial o completa de tierras generalmente secas por parte del agua proveniente del desborde de un río, arroyo y/o canal o bien la acumulación inusual de agua desde cualquier fuente.

De las definiciones anteriores, se desprende que no todas las crecidas provocan inundaciones. Por lo tanto, la inundación es un concepto de afectación del medio natural o antropomórfico producto de la ocupación o utilización del terreno.

7.4. Escurrimiento Encauzado.

JVP Consultores. (2016). Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil. Contempla lo siguiente:

“Los procesos de escurrimiento en un río, canal o embalse varían en el espacio y en el tiempo. De este modo el escurrimiento puede ocurrir de acuerdo a dos regímenes: permanente y no permanente. El escurrimiento permanente es empleado para fines de proyecto de las obras hidráulicas urbanas, considerando generalmente los caudales máximos previstos para un determinado sistema hidráulico. El régimen no permanente permite conocer los niveles y caudales en el tiempo a lo largo del río, canal o conducto, representando la situación real. Generalmente una obra hidráulica que depende solamente del caudal máximo se la dimensiona para condiciones de régimen permanente y se la verifica para condiciones de régimen no permanente.

El escurrimiento superficial se encuentra regido por leyes físicas que son representadas cuantitativamente por variables tales como el caudal (Q), la profundidad (h) y la velocidad (V). Mientras que el comportamiento del mismo, es descrito por tres principios fundamentales, a saber;

-) Conservación de la Masa (1er Ecuación de Saint Venant, 1871).
-) Conservación de la Cantidad de Movimiento.
-) Conservación de la Energía.”

7.5. Probabilidad y Tiempo de Retorno.

Utilizando los datos históricos de caudales o niveles en un determinado lugar de interés, puede ser estimada la probabilidad de que un determinado nivel o caudal sea igualado o superado en un año cualquiera. Para ello es fundamental disponer de datos hidrológicos que permitan realizar esta estimación.

7.5.1. Riesgo Hídrico de un Evento Hidrológico.

El riesgo de la presencia de un evento de determinada frecuencia durante la vida útil de una obra es:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$$

-) P es la probabilidad de ocurrencia del evento
-) T_r es el tiempo de retorno o frecuencia.
-) n es el tiempo de la vida útil de la obra.

En base a esta ecuación, si se calcula la probabilidad de que un evento con T_r de 10 años ocurra en diferentes periodos de tiempo, se obtiene una idea de los riesgos a tomar para cada diseño. Por ejemplo:

-) Que ocurra dentro de un periodo de 1 año: 10%
-) Que ocurra dentro de un periodo de 5 años: 40.95%
-) Que ocurra dentro de un periodo de 10 años: 65.13%
-) Que ocurra dentro de un periodo de 20 años: 87.84%

En muchos casos, los diseños de micro sistemas de drenaje urbano están calculados con T_r de 5 años, se puede decir que los sistemas de aguas lluvias están diseñados y construidos para lluvias con poca carga de caudal, lo cual en una ciudad como Guayaquil que es afectada gran parte del año con grandes lluvias, es muy riesgoso.

Entonces, cualquier solución para reducir diámetros, con Tiempos de Retornos mayores, debe ser considerada para el análisis.

7.5.2. Nivel de Riesgo aceptado.

El nivel de riesgo adoptado puede ser definido en función de varios aspectos, entre ellos:

- a) grado de riesgo en sectores críticos;
- b) situación de ocupación actual de las cuencas urbanas;
- c) disponibilidad real de fondos para encarar obras en el futuro inmediato y mediato;
- d) lógica de la adopción de un nivel de riesgo para superar los problemas actuales y luego, en un futuro, su eventual elevación mediante la implementación de obras de regulación de caudales.

En función del nivel de riesgo analizado, se definirá el tiempo de retorno a usarse; sin embargo, es habitual adoptar un tiempo de retorno o recurrencia de 10 años, clásico en el análisis del macro drenaje urbano. No obstante, para sectores relevantes de los cursos fluviales, resulta recomendable considerar tiempos de retorno mayores, asociados entre 15 a 100 años.

7.6. Componentes de un Sistema de Alcantarillado de Aguas Lluvias.

7.6.1. Drenaje en la Fuente.

Es el componente donde se origina el escurrimiento superficial. Puede tratarse de un lote, de una vivienda o emprendimiento que posee varios lotes, o bien de áreas tales como estacionamiento, comerciales, parques, etc.

La experiencia indica que la forma más fácil, efectiva y económica de realizar el control del escurrimiento superficial urbano es a nivel de la fuente. Por lo tanto, conforme sea la política de drenaje aplicada a nivel de la fuente, se estará en mejores o peores condiciones para controlar el escurrimiento superficial urbano.

En una cuenca de tipo tradicional no existen controles sobre el impacto del aumento de superficies impermeables, por lo que el problema es así transferido al micro y al macro drenaje. Contrariamente, bajo una política de control del escurrimiento se desarrollan obras que permiten cumplir con el objetivo del impacto hidrológico cero a nivel de la fuente. Estos nuevos diseños se agrupan dentro de los llamados Sistemas Urbanos de Desarrollo Sustentable (SUDS).

En el caso de áreas ya urbanizadas, donde no es posible retrotraer la situación a la condición de escurrimiento natural previa, por lo cual, el hecho de intentar cumplir con el objetivo del impacto hidrológico nulo puede resultar excesivamente restrictivo. En tales casos se debe trabajar a fin de evitar el aumento sistemático de los caudales y volúmenes escurridos, es decir, de fijar la situación a la realidad actual de modo de no seguir agravando los problemas del drenaje.

7.6.2. Micro Drenaje Urbano.

El subsistema de micro drenaje abarca todas las obras de drenaje realizadas en áreas donde el escurrimiento natural suele no estar bien definido, siendo determinado por la ocupación del suelo. En un área urbana el subsistema de micro drenaje incluye al trazado de las calles, los sistemas de cunetas, los sumideros y los sistemas de conducción hasta el macro drenaje. Este subsistema debe estar proyectado para operar sin inconvenientes ante tormentas con períodos de retorno entre 10 y 25 años, dependiendo del tipo de ocupación del sector.

Se remarca que los límites entre el macro y el micro drenaje no deben ser considerados como absolutos ya que dependen de la configuración de la trama urbana.

Tal como lo citan diversos autores, el elemento que ha caracterizado a la distinción entre cada subsistema urbano ha sido la metodología utilizada para la determinación del caudal de proyecto. El Método Racional ha sido empleado para la estimación de los caudales de proyecto a nivel del micro drenaje (ya que posee hipótesis simplificadoras adecuadas a un área no muy extensa), mientras que los modelos hidrológicos que determinan los hidrogramas de proyecto (tales como el US EPA-SWMM) han sido empleados para el proyecto de las obras del macro drenaje urbano.

7.6.3. Macro Drenaje Urbano.

El subsistema de macro drenaje incluye todos los cursos del escurrimiento definidos por las depresiones topográficas naturales de la cuenca. Por lo general drena áreas que superan de 3 a 5 km², dependiendo ello del tamaño de la ciudad, de la configuración de la trama urbana, del relieve de la zona y de las características de la pluviosidad regional. Este subsistema debe ser capaz de eliminar o reducir los daños provocados por lluvias excepcionales, convenientemente entre 25 y 100 años de tiempo de recurrencia.

7.7. Impacto Hidrológico de la Urbanización.

7.7.1. Implicaciones del Crecimiento Urbano Desordenado.

En la mayoría de los casos el proceso de urbanización desordenado está conduciendo, entre otros efectos, a la sobreexplotación de los recursos naturales, a la contaminación incontrolada y a la ocupación de áreas vulnerables, especialmente por inundaciones.

La ocupación de áreas naturalmente inundables, el crecimiento no controlado de superficies impermeables y la falta de espacio para el manejo eficiente de las aguas pluviales originan escenarios complejos en relación al drenaje urbano. Los efectos multiplicativos de estos factores conducen a situaciones dramáticas en relación a las inundaciones urbanas, implicando la pérdida de vidas humanas, cuantiosos daños sobre el patrimonio público y privado, y serias consecuencias sociales-políticas.

7.7.2. Extensiones de Fronteras Urbanas e Impactos Hidrológicos.

La extensión de las fronteras de las ciudades es un hecho asociado al desarrollo urbano, que posibilita el ordenamiento e incremento de las relaciones socio-culturales, económicas, legales, etc. Los impactos de la urbanización sobre el ciclo del agua son numerosos. Chocat (1997a) destaca cinco:

- a) la impermeabilización del suelo,
- b) la aceleración de los escurrimientos,
- c) la construcción de obstáculos al escurrimiento,
- d) la "artificialización" de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas y,
- e) la contaminación de los medios receptores.

Los tres primeros tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos.

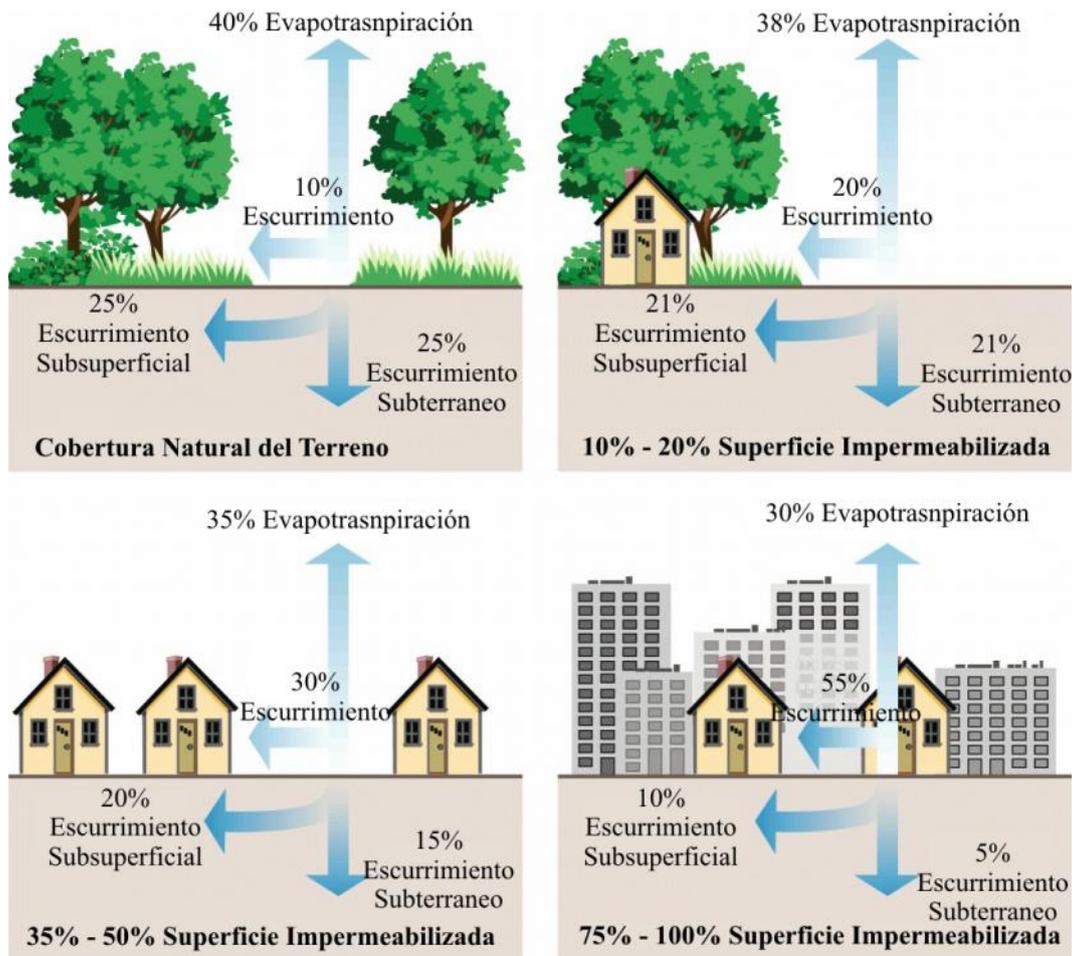


Figura 3: Ilustra los principales impactos del proceso. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practice. FISRWG. (2001).

7.8. Medidas Estructurales y No Estructurales.

Los efectos de las inundaciones pueden minimizarse a partir de la implementación de una serie de medidas. Se emplea el término "minimizar" y no "eliminar", debido a que, es inadecuado suponer que se pueden controlar todos los efectos de las inundaciones.

Diversos autores han dado cuenta de una variada gama de medidas para minimizar los efectos de las inundaciones, se las clasifican en estructurales y no estructurales.



Figura 4: Esquema de las Medidas de Manejo y Control de Inundaciones. JVP Consultores. (2016). Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil.

7.8.1. Medidas Estructurales.

Las medidas estructurales son obras de ingeniería, principalmente ingeniería civil, que modifican el sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica, para minimizar los principales inconvenientes y daños que nos generan las inundaciones. También se incluyen las obras de ingeniería forestal y ecología.

Tabla 1: Medidas estructurales para minimizar inundaciones (Tucci, 2007).

Medida	Principal ventaja	Principal desventaja	Aplicación
Medidas extensivas			
Alteración de la Cobertura vegetal	Reducción del pico de crecida	Impracticable para grandes áreas	Pequeñas cuencas
Control de la pérdida del suelo	Reduce la sedimentación	Similar al ítem anterior	Pequeñas cuencas
Medidas intensivas			
Diques y pólderes	Alto grado de protección de un área	Daños significativos en el caso que falle	Grandes ríos y en la planicie
Mejoras del canal			
Reducción de la rugosidad por desobstrucción	Aumento del caudal con poca inversión	Efecto localizado; Transmite efectos aguas abajo	Pequeños ríos
Corte de meandro	Amplía el área protegida y acelera el escurrimiento	Impacto negativo en ríos con fondo móvil (aluvional)	Área de inundación estrecha
Reservorio y/o lagunas			
Todo tipo de reservorios	Control aguas abajo	Ubicación difícil debido a expropiación o servidumbre de inundación	Cuencas intermedias
Reservorios con compuertas	Más eficiente con el mismo volumen	Vulnerable a errores humanos	Proyectos de usos múltiples
Reservorios para Crecidas	Operación con un mínimo de problemas	Costo no compartido por todos los beneficiados	Restringido al control de crecidas
Cambios sobre el curso de agua			
Sobre el curso de la crecida	Amortiguación del volumen	Depende de la topografía	Grandes cuencas
Desvíos	Reduce el caudal del canal principal	Similar al ítem anterior	Cuencas medias y grandes

Las ventajas de las medidas estructurales es que por lo general permiten obtener los resultados deseados de manera inmediata luego de su realización. Sin embargo, envuelven mayores costos en relación a las medidas no estructurales.

7.8.1.1. Medidas Extensivas.

A continuación se sintetizan las principales medidas estructurales extensivas. Éstas generalmente pueden aplicarse en las cuencas que poseen desarrollos urbanos.

- a) Cobertura vegetal: es una acción que tiende a aumentar la capacidad de almacenamiento de la cuenca hidrográfica para retener una parte más importante del volumen de agua precipitado. Esta retención se realiza por la acción de la interceptación vegetal, por el aumento de la evapotranspiración a partir de la cobertura vegetal, por el encharcamiento superficial y por la reducción de la velocidad del escurrimiento superficial sobre el suelo de la cuenca hidrográfica.
- b) Control de la erosión del suelo: la erosión del suelo tiene implicaciones ambientales importantes por el transporte de sedimentos, pudiendo contaminar los conductos y ríos aguas abajo, disminuyendo así el área disponible para el flujo de agua.

7.8.1.2. Medidas Intensivas.

Las medidas intensivas son aquellas que se realizan dentro de los cauces de los cursos de agua, pueden ser de tres tipos:

-) Obras que aceleran el escurrimiento: tales como construcción de diques y muros, el aumento de la capacidad de descarga de los ríos y el corte de meandros, hecho que hace que aumente en dicho sector la pendiente del río y así se logre un aumento local de la capacidad de drenaje.
-) Obras que retardan el escurrimiento: tales como reservorios y lagunas de amortiguación de caudales máximos.
-) Obras que desvían el escurrimiento: tales como canales de desvíos.

7.8.1.3. Amortiguación y Control de Caudales.

Para lograr un adecuado control de escurrimiento asociado al drenaje urbano es conveniente que se promuevan obras y medidas orientadas a disminuir los caudales picos producidos por las lluvias y a reducir el volumen de escurrimiento. Estas obras de control pueden ser realizadas en tres niveles diferentes:

-) En la fuente.
-) En el micro drenaje.
-) En el macro drenaje.

7.8.1.3.1. En la Fuente.

Los dispositivos de control “en la fuente” son una alternativa opuesta a los clásicos diseños sanitarios-hidráulicos, que contemplan como única solución la implementación de conductos que retiran rápidamente el flujo hacia aguas abajo. En el caso de las obras que se desarrollan en la fuente, las mismas actúan por incremento de:

-) La infiltración en el lote (áreas verdes, pavimentos permeables, conductos perforados y trincheras de infiltración).
-) El almacenamiento local (áreas de acumulación local en bajadas de techos, pequeños reservorios domiciliarios en patios y jardines).

El almacenamiento artificial y la detención del agua proveen el mayor potencial para reducir el costo del drenaje urbano. Los métodos que se presentan dan las técnicas básicas necesarias para definir los efectos de almacenamiento. Un área puede diseñarse para que tenga un considerable almacenamiento artificial por depresión y detención, para lograr reducir el escurrimiento.

A continuación se presenta una breve descripción de este tipo de dispositivos.

- a) Almacenamiento en Techos: Presenta algunas dificultades de mantenimiento y exige en algunos casos el refuerzo de estructuras. Una variación consiste en la construcción de canaletas de grandes dimensiones para colecta del escurrimiento de los techos, conectadas a conductos de bajada de reducidas dimensiones. Actúan como micro reservorios elevados, amortiguando los picos en la fuente.



Figura 5: Sistema de recolección con canaletas. CivilSystems. (2016). Estudio del Sistema de Aguas Lluvias para sector Challuabamba, Cuenca.

También se pueden usar micro reservorios asociados a los conductos de bajada del sistema de desagüe de los techos.



Figura 6: Tanque reservorio de Aguas Lluvias provenientes de los techos. JVP Consultores. (2016). Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil.

- b) Almacenamiento en el Lote: Puede ser utilizado para amortiguar el escurrimiento, en conjunto con otros usos, como abastecimiento de agua, riego de césped, lavado de superficies o de automóviles.

Por lo general se trata de cámaras o reservorios enterrados que drenan por infiltración (permeables) o por bombeo (impermeables). Si la topografía lo permite, también pueden drenar por gravedad.

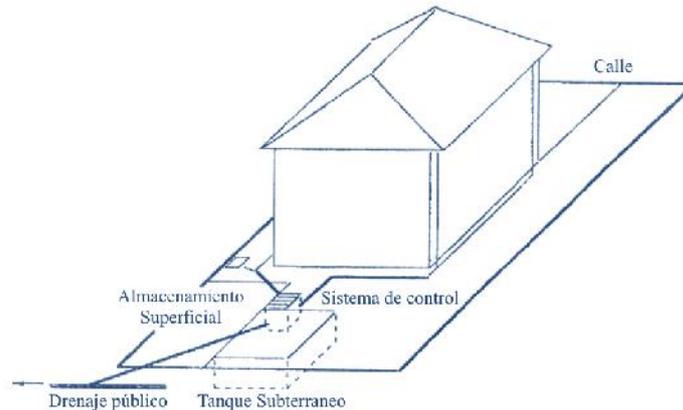


Figura 7: Tanque reservorio de Aguas Lluvias en el lote. JVP Consultores. (2016).
Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil.

7.8.1.3.2. En el Micro Drenaje.

Estos dispositivos drenan áreas de aporte de hasta 1 o 2 km², aproximadamente. Del mismo modo que en el caso anterior, estas medidas se orientan a incrementar:

-) La infiltración (paseos, plazas y áreas públicas con el incremento de áreas verdes).
-) El almacenamiento local (reservorios de amortiguación en paseos, plazas, zonas bajas, etc.).

Básicamente siguen los mismos conceptos que los reservorios individuales a nivel del lote, aunque sus dimensiones son mayores. Esos reservorios pueden ser dimensionados para mantener una lámina permanente de agua (retención), o permanecer secos en los períodos entre lluvias con el objeto de ser utilizados con otras finalidades (detención).

Los reservorios de detención son más eficientes para el control de la calidad del agua. Su uso integrado junto a parques y paseos puede permitir un buen ambiente

de recreación. La ventaja de los reservorios de retención es que pueden ser utilizados para otras finalidades, como campos de deportes, recreación, etc.

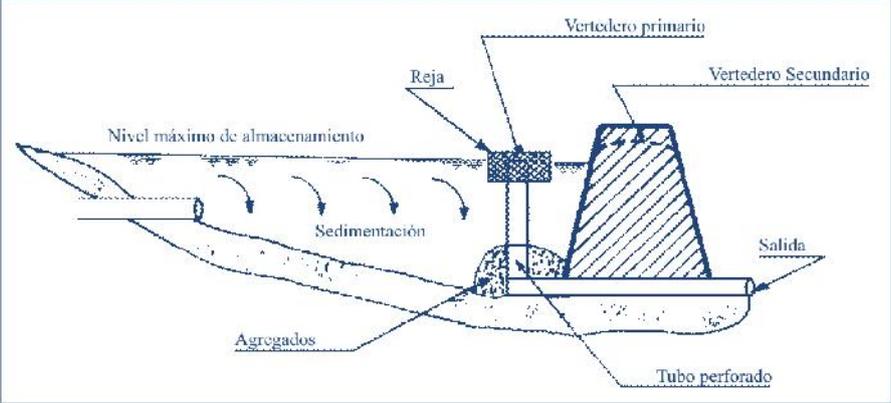


Figura 8: Reservorio de Detención. Tucci. (1997).

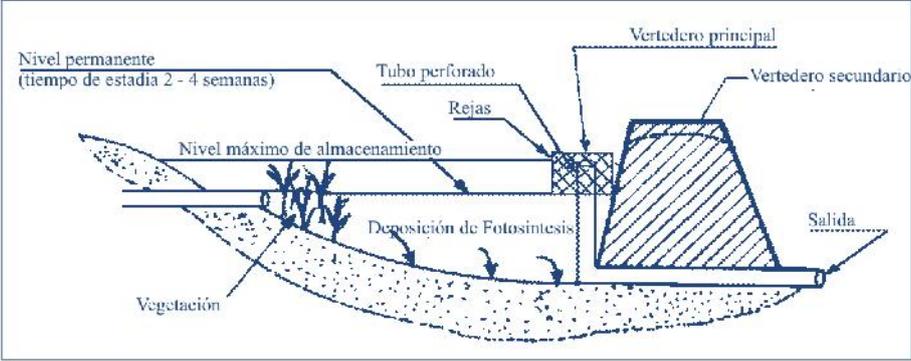


Figura 9: Reservorio de Retención. Tucci. (1997).

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

Una alternativa de control del escurrimiento, que está tomando gran auge en la actualidad de la mano del desarrollo de nuevos avances tecnológicos, la constituyen los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

De la totalidad de técnicas que engloban los SUDS se destacan, a nivel del micro drenaje, las geoestructuras o sistemas modulares geocelulares.



Figura 10: Reservorio de Detención usando sistemas modulares geocelulares.

Atlantis. (2017). Recuperada de: <http://drenajesostenible.com/productos-atlantis/>

Estos dispositivos permiten realizar las funciones anteriormente descritas de forma sencilla y con una alta integralidad en el urbanismo actual. Se trata de sistemas modulares que ofrecen flexibilidad significativa para el proyectista ya que, gracias a su naturaleza modular, permiten la instalación de cualquier configuración dependiendo del área disponible.

Además pueden ser diseñados para permitir las cargas del tráfico, lo que significa que, pueden ser instalados bajo carreteras y aparcamientos, así como en aplicaciones menos exigentes, como zonas verdes o áreas peatonales.

El empleo de cisternas subterráneas, conformadas por conductos enterrados, también se ha convertido en un tipo de obra habitual en países como Estados

Unidos y Australia, fundamentalmente en áreas de estacionamiento o parqueo de vehículos.



Figura 11: Cisternas usadas para almacenamiento de Aguas Lluvias. JVP Consultores. (2016). Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil.

7.8.1.3.3. En el Macro Drenaje.

Estos sistemas drenan áreas de aporte superiores a 1 o 2 km². En este caso la acción típica para el control del drenaje urbano es la planificación de los espacios urbanos para el desarrollo de áreas de detención y de retención.

A continuación se nombrarán los tipos de sistemas de amortiguación y control:

-) Reservorios de Detención y de Retención.
-) Obras de tipo "Off-line" y "On-line".
-) Grandes Reservorios Subterráneos.

7.8.2. Medidas No Estructurales.

JVP Consultores. (2016). Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil., contempla lo siguiente:

“Las medidas no estructurales son aquellas en que los perjuicios ocasionados por las inundaciones son reducidos a través de una mejor convivencia de la población con las crecidas del río. Se incluyen dentro de estas medidas las acciones de cuño social, económico y administrativo. A veces estas medidas también se las denomina vulgarmente como las “No Obras”, para distinguirlas de las anteriores.

Hasta hace unos años se creía, de manera errónea, que la solución a los problemas de las inundaciones era dada exclusivamente por obras de ingeniería, tales como canales, conductos, alcantarillas, diques laterales de protección y presas. Actualmente ya no existen dudas que ninguna obra podrá funcionar tal como originalmente fue prevista si junto a la misma no implementamos también un conjunto de medidas no estructurales. En otras palabras, en todos los casos para la minimización de los problemas provocados por las inundaciones se deben combinar necesariamente medidas estructurales y no estructurales.

Esta combinación permite a la población ribereña minimizar sus pérdidas y mantener una convivencia armónica con el río. La combinación óptima de estas acciones constituye la planificación de la protección contra la inundación y sus efectos (Cardona et al., 2010).

Las medidas no estructurales son de tipo preventivo y presuponen una convivencia razonable de la población con los problemas derivados de los procesos naturales. Las mismas intentan compatibilizar los costos de obras a ejecutarse con los recursos realmente disponibles. Estas medidas requieren mayor tiempo que las estructurales para que sus resultados sean visibles, pero suelen atacar la causa de los problemas, con la ventaja que ello presupone.

Estas medidas son extremadamente importantes y se materializan a través de acciones tales como:

- a) planificación de las áreas urbanas de modo de evitar la ocupación de áreas de riesgo hídrico,
- b) legislación actualizada que contemple los riesgos de inundación,
- c) sistemas de alerta temprana de inundación,
- d) zonificación de las áreas de riesgo hídrico,
- e) seguro contra inundaciones,
- f) medidas de protección individual,
- g) implementación de nuevos mecanismos para la recuperación de costos de implantación de obras, operación y mantenimiento del sistema de drenaje urbano.”

8. Metodología.

Para este trabajo de Tesis se va a estudiar el Sistema de Alcantarillado Pluvial de la ciudadela Mucho Lote 2, aplicando la siguiente metodología:

1. Definición de la estructura de drenaje a estudiar. Este trabajo se lo realizará a partir de la información sobre los sistemas existentes proporcionados por EMAPAG-EP e INTERAGUA.
2. Determinación de las cuencas de aportación al sistema. Este trabajo se lo realizará apoyado en la información topográfica proporcionada por EMAPAG-EP e INTERAGUA.
3. Estimación de las características de la cuenca y su área. Este trabajo se lo realizará apoyado en la información topográfica proporcionada por EMAPAG-EP e INTERAGUA, y de una visita al sitio.
4. Definición del modelo de lluvia que será utilizado en la modelación y selección de las ecuaciones pluviométricas. Se analizan los modelos de hietogramas de los bloques alternos de Ven Te Chow.
5. Realización del modelo hidrológico – hidráulico donde se analizará los datos ingresados para la generación de hidrogramas y su tránsito a lo largo de los conductos. Para este trabajo se utilizará el programa EPA-SWMM, debido a los permisos gratuitos y al cumplimiento de los requerimientos para el análisis que brinda.

8.1. Definición de la Estructura de Drenaje.

A partir de la información brindada por EMAPAG-EP e INTERAGUA, para este trabajo de Tesis se va a estudiar el Sistema de Alcantarillado Pluvial de un Macrolote de la ciudadela Mucho Lote 2, debido a que los sistemas de Drenaje de cada Macrolote son totalmente independientes, por lo tanto, no hay una acumulación de caudales y un análisis completo del sistema solo implicaría realizar varios análisis de cada sistema en diferentes Macrolotes.

8.2. Determinación de las Cuencas de Aportación al Sistema. Estimación de las Características de la Cuenca y su Área.

Retomando el concepto de cuenca hidrográfica descrito en el punto 7.2, se procede a definir las cuencas de aportación al sistema, calculando su área y pendiente. Para

el coeficiente de escurrimiento se usó el mismo que se encuentra en los diseños previos.

A continuación se presenta la tabla con la tabulación de los datos requeridos en cada cuenca para su posterior ingreso en la modelación.

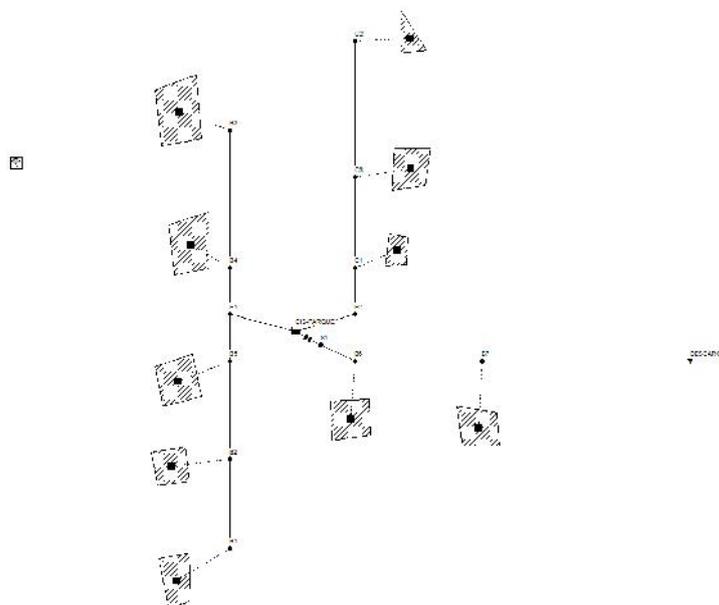


Figura 12: Modelo del sistema en el programa EPA-SWMM. Autor: Pedro Estrella.

Tabla 2: Tabulación de datos para posterior ingreso en el programa SWMM. Autor: Pedro Estrella.

CUENCA	ÁREA (Ha)	DESNIVEL (m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE (%)	COEFICIENTE C (%)
CB3	0,97	0,18	101,12	0,178	0,8
CB1	1,82	0,36	206,90	0,174	0,8
CB2	2,45	0,36	180,00	0,2	0,8
CB4	1,05	0,34	173,47	0,196	0,8
CB5	1,58	0,36	238,41	0,151	0,8
CB6	0,54	0,30	130,43	0,23	0,8
CB7	0,6	0,12	53,57	0,224	0,8
CC1	0,88	0,30	119,05	0,252	0,8
CC2	0,72	0,30	116,28	0,258	0,8
CC3	1,94	0,30	119,05	0,252	0,8

8.3. Definición del Modelo de Lluvia.

Método de los Bloques Alternos de Ven Te Chow.

El hietograma es un gráfico que representa la variación de la lluvia con respecto al tiempo. Este se puede obtener a partir de ecuaciones pluviométricas o curvas IDF (Intensidad – Duración - Frecuencia).

Para construir estas curvas se seleccionaron las mayores precipitaciones de cada año según su duración y se lleva a cabo el análisis estadístico, evaluando la bondad del ajuste de distintas distribuciones de probabilidad de extremos a los datos observados.

Las curvas IDT responden por lo general a la siguiente expresión matemática:

$$I = \frac{a}{t_d^c + b}$$

Dónde: a, b y c son coeficientes de parametrización y t_d es la duración considerada.

Tabla 3: Valores de los parámetros para las ecuaciones pluviométricas determinados por INTERAGUA para la ciudad de Guayaquil. Autor: Pedro Estrella.

Recurrencia (años)	a	b	c
2	742,53	5,47	0,63
5	570,75	2,35	0,50
10	521,00	1,49	0,45
25	486,47	0,88	0,40
50	471,72	0,59	0,37
100	463,15	0,38	0,35

Para el análisis hidrológico - hidráulico se utilizó un periodo de retorno de 5, 10 y 25 años. Las ecuaciones se muestran a continuación:

$$I = \frac{5,7}{t_d^{0,5} + 2,3} \quad \text{Para 5 años.}$$

$$I = \frac{5,0}{t_d^{0,4} + 1,4} \quad \text{Para 10 años.}$$

$$I = \frac{4,4}{t_d^{0,4} + 0,8} \quad \text{Para 25 años.}$$

Para la elaboración de los hietogramas se dividió el tiempo de duración de la tormenta de 2 horas en intervalos de 10 minutos. Se calcularon los incrementos de la lluvia cada 10 minutos y se ordenan para obtener los picos en la parte central de la tormenta.

A continuación se mostrarán las tablas y gráficos de los hietogramas ingresados.

Tabla 4: Valores obtenidos para la elaboración de la curva del hietograma para Tr de 5 años. Autor: Pedro Estrella.

t (minutos)	I (mm/h)	h (mm)	Incremento (mm)	Ordenado (mm)	Acumulado (mm)
0	242,87	0,00	0,00	0,00	0,00
10	103,54	17,26	17,26	4,29	4,29
20	83,66	27,89	10,63	4,70	8,99
30	72,92	36,46	8,57	5,24	14,23
40	65,80	43,86	7,40	6,05	20,28
50	60,58	50,49	6,62	7,40	27,69
60	56,53	56,53	6,05	10,63	38,32
70	53,26	62,13	5,60	17,26	55,57
80	50,53	67,38	5,24	8,57	64,15
90	48,22	72,33	4,95	6,62	70,77
100	46,21	77,02	4,70	5,60	76,37
110	44,46	81,51	4,48	4,95	81,32
120	42,90	85,80	4,29	4,48	85,80

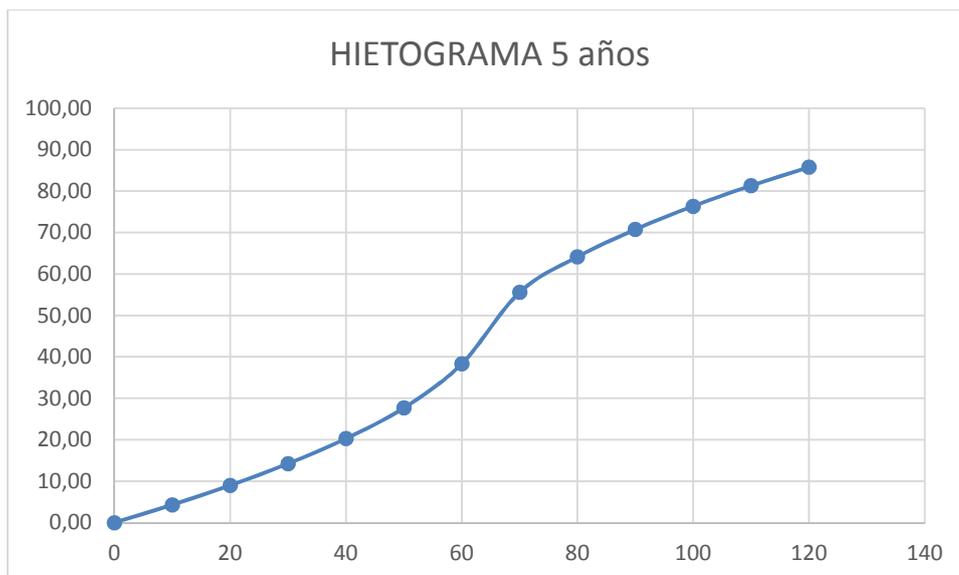


Figura 13: Curva del hietograma para Tr de 5 años. Autor: Pedro Estrella.

Tabla 5: Valores obtenidos para la elaboración de la curva del hietograma para Tr de 10 años. Autor: Pedro Estrella.

t (minutos)	I (mm/h)	h (mm)	Incremento (mm)	Ordenado (mm)	Acumulado (mm)
0	349,66	0,00	0,00	0,00	0,00
10	120,93	20,15	20,15	5,39	5,39
20	97,57	32,52	12,37	5,84	11,23
30	85,26	42,63	10,11	6,45	17,69
40	77,19	51,46	8,83	7,34	25,03
50	71,32	59,44	7,97	8,83	33,86
60	66,78	66,78	7,34	12,37	46,23
70	63,11	73,63	6,85	20,15	66,38
80	60,06	80,08	6,45	10,11	76,49
90	57,47	86,21	6,12	7,97	84,46
100	55,23	92,05	5,84	6,85	91,32
110	53,26	97,65	5,60	6,12	97,44
120	51,52	103,0	5,39	5,60	103,04

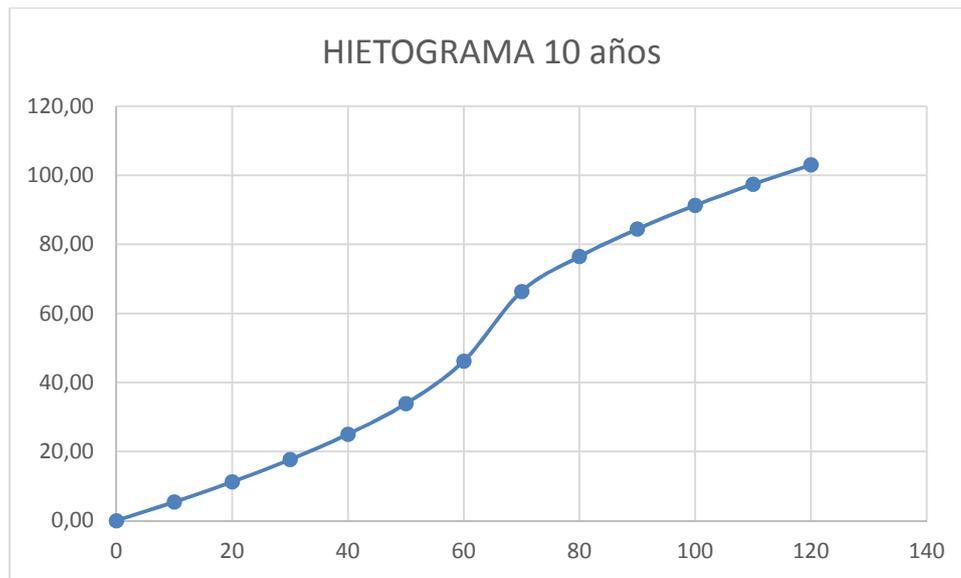


Figura 14: Curva del hietograma para Tr de 10 años. Autor: Pedro Estrella.

Tabla 6: Valores obtenidos para la elaboración de la curva del hietograma para Tr de 25 años. Autor: Pedro Estrella.

t (minutos)	I (mm/h)	h (mm)	Incremento (mm)	Ordenado (mm)	Acumulado (mm)
0	552,81	0,00	0,00	0,00	0,00
10	143,42	23,90	23,90	6,94	6,94
20	115,98	38,66	14,76	7,46	14,41
30	101,81	50,91	12,25	8,16	22,56
40	92,60	61,73	10,83	9,16	31,72
50	85,92	71,60	9,87	10,83	42,55
60	80,76	80,76	9,16	14,76	57,31
70	76,60	89,37	8,61	23,90	81,21
80	73,14	97,53	8,16	12,25	93,46
90	70,21	105,3	7,78	9,87	103,33
100	67,66	112,7	7,46	8,61	111,93
110	65,43	119,9	7,19	7,78	119,71
120	63,45	126,9	6,94	7,19	126,90

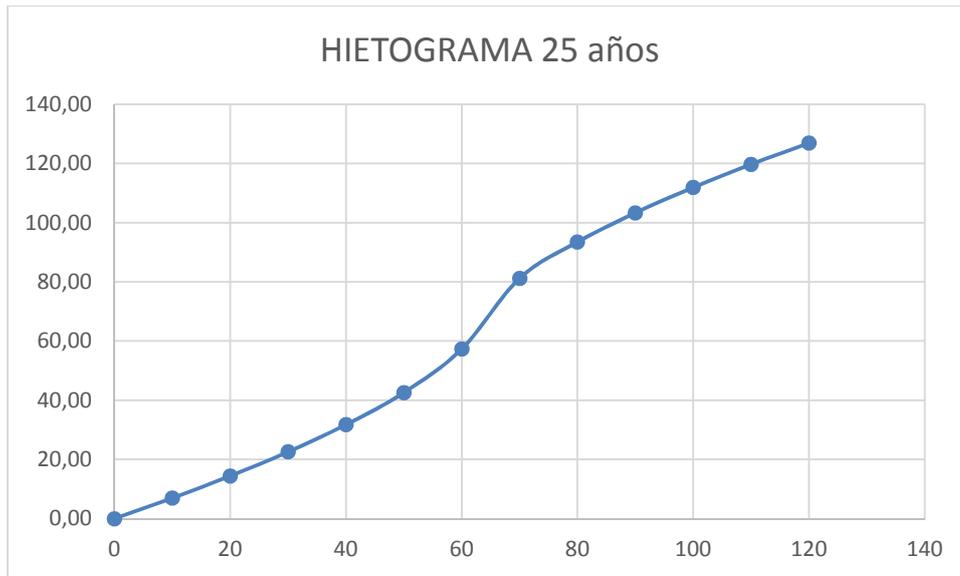


Figura 15: Curva del hietograma para Tr de 25 años. Autor: Pedro Estrella.

8.4. Realización del Modelo Hidrológico – Hidráulico.

Para la modelación hidrológica-hidráulica de la cuenca, se utilizó el software SWMM de la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América).

Este programa permite generar mediante, el módulo hidrológico, los hidrogramas del escurrimiento superficial, en cada una de las cuencas que aportan al sistema. El módulo hidráulico simula el tránsito de los hidrogramas a través de conductos o tuberías.

El SWMM es capaz de seguir la evolución de la cantidad y calidad del agua de esorrentía de cada cuenca, así como el caudal, nivel del agua en los sistemas de conducción, durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.

Las características empleadas para el presente estudio son:

Cuencas: Información brindada por EMAPAG-EP e INTERAGUA de topografía e infraestructura general.

Hietograma que se aplica a los hidrogramas unitarios obtenidos para cada una de las cuencas en que se divide el Macrolote 1 de la ciudadela Mucho Lote 2. De esta forma se representa la variación de la precipitación en el tiempo.

Se analizó por el método de modelación completa por onda dinámica, que utiliza las ecuaciones de Saint Venant. Estas suponen la aplicación de la ecuación de continuidad, de cantidad de movimiento de las conducciones y la continuidad de los volúmenes en los nodos, lo que permite obtener resultados más precisos, que con las otras opciones de simulación. Este también permite representar los fenómenos de remanso, flujo inverso, flujo a presión y distribuciones no ramificadas del sistema (SWMM, modelo de gestión de aguas pluviales. Manual de usuarios, 2015).

Se utilizó la geometría de las tuberías de acuerdo a las Normativa utilizada por EMAPAG-EP e INTERAGUA.

Se utilizó el coeficiente de Manning igual a 0,011 para las tuberías de PVC y 0,015 para tuberías de hormigón armado para sistemas de alcantarillado pluvial.

Para calcular las pérdidas y generar los hietogramas efectivos, se utilizó el número de curva de SCS (Soil Conservation Service). Se escogió el valor de 85, debido a que el área de estudio se encuentra completamente urbanizada.

Se empleó, como condición de frontera en la descarga, una curva de marea senoidal, que fluctúa entre 2,85 msnm y -1,15 msnm, de acuerdo a la información brindada por INTERAGUA.

Tabla 7: Valores obtenidos para la elaboración de la Curva de Marea. Autor: Pedro Estrella.

ANGULO	SENO	ALTURA	HORA	COTA
0	0	0,000	0	0,850
15	0,25881905	0,518	1,000	0,332
30	0,5	1,000	2,000	-0,150
45	0,70710678	1,414	3,000	-0,564
60	0,8660254	1,732	4,000	-0,882
75	0,96592583	1,932	5,000	-1,082
90	1	2,000	6,000	-1,150
105	0,96592583	1,932	7,000	-1,082
120	0,8660254	1,732	8,000	-0,882
135	0,70710678	1,414	9,000	-0,564
150	0,5	1,000	10,000	-0,150
165	0,25881905	0,518	11,000	0,332
180	1,2251E-16	0,000	12,000	0,850
195	-0,25881905	-0,518	13,000	1,368

210	-0,5	-1,000	14,000	1,850
225	-0,70710678	-1,414	15,000	2,264
240	-0,8660254	-1,732	16,000	2,582
255	-0,96592583	-1,932	17,000	2,782
270	-1	-2,000	18,000	2,850
285	-0,96592583	-1,932	19,000	2,782
300	-0,8660254	-1,732	20,000	2,582
315	-0,70710678	-1,414	21,000	2,264
330	-0,5	-1,000	22,000	1,850
345	-0,25881905	-0,518	23,000	1,368
360	-2,4503E-16	0,000	24,000	0,850

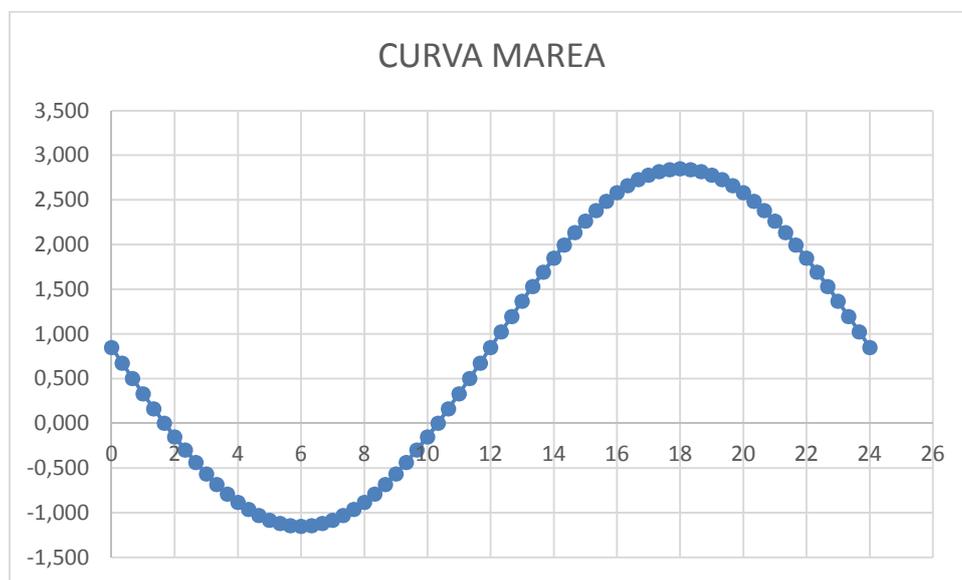


Figura 16: Curva de Marea. Autor: Pedro Estrella.

Los componentes físicos empleados en el análisis son:

- a) Ubicación de sumideros y nodos escogidos de acuerdo al diseño actual del Macrolote 1 de la ciudadela Mucho Lote 2.
- b) Conductos de acuerdo al prediseño y requerimiento de la simulación en SWMM.
- c) Descarga en el Río Daule escogida de acuerdo al diseño actual del Macrolote 1 de la ciudadela Mucho Lote 2.

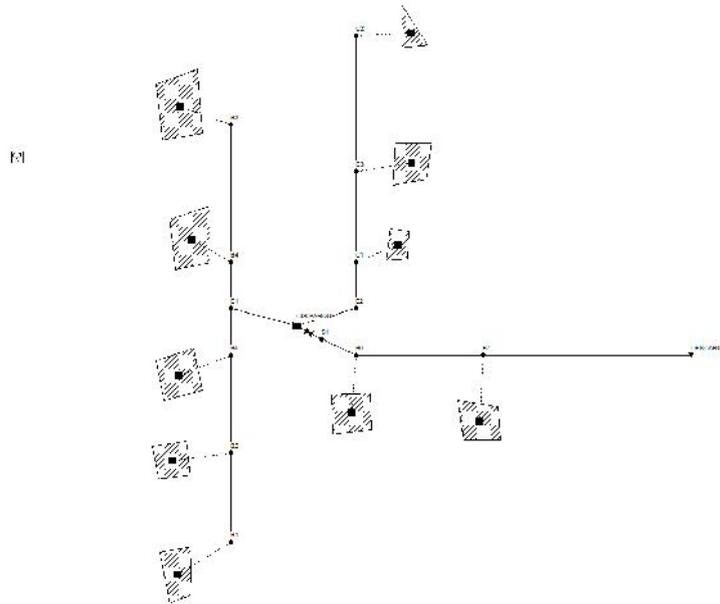


Figura 17: Modelo del sistema en el programa EPA-SWMM. Autor: Pedro Estrella.

9. Diseños del Sistema.

El presente estudio consideró un rediseño y el diseño de tres condiciones:

- Rediseño del Sistema Actual.
- Diseño con Reservorio Parque.
- Diseño con Reservorio Parque y Reservorios Techos.
- Diseño con Reservorios Techos.

9.1 Rediseño del sistema actual.

De acuerdo a la revisión de la información entregada por EMAPAG-EP e INTERAGUA, se determinó que el diseño actual del sistema no cumple con los cálculos correspondientes, debido a que no se consideró la suma de las áreas de aporte al sistema y, por consecuencia, se procedió al rediseño por el método racional adoptando un régimen permanente y un Tr igual a 5 años, a continuación tabla del rediseño realizado:

Tabla 8: Rediseño del Sistema de Alcantarillado Pluvial Actual. Autor: Pedro Estrella.

Cámara		L	Área (Ha)			Tiempo de Conc. Min.		c	i
Inicio	Final	m	Propia	Adic.	Total	de llegada	de escurr.	%	mm/h
B3	B4	102,65	0,97	0,00	0,97	7,00	1,23	0,80	108,66
B4	E1	34,62	1,05	0,97	2,02	8,23	0,41	0,80	104,11
B1	B2	66,05	1,82	0,00	1,82	7,00	0,50	0,80	108,66
B2	B5	74,01	2,45	1,82	4,27	7,50	0,83	0,80	106,70
B5	E1	35,43	1,58	4,27	5,85	8,33	0,35	0,80	103,78
E1	E2	93,60							
C2	C3	102,55	0,72	0	0,72	7,00	1,22	0,80	108,66
C3	C1	68,61	1,94	0,72	2,66	8,22	0,80	0,80	104,13
C1	E2	34,62	0,88	2,66	3,54	9,03	0,31	0,80	101,59
E2	B6	35,43							
B6	B7	95,21	0,54	0	0,54	7	1,14	0,8	108,66
B7	Des.	155,89	0,60	0,54	1,14	8,14	1,85	0,8	104,42

Cámara		q req	n	D	S	Q	V	Relaciones Hidráulicas		
Inicio	Final	l/s	Mat.	mm	o/oo	l/s	m/s	q/Q	y/D	v/V
B3	B4	234,4	0,011	500	2,89	239,90	1,22	0,977	0,799	1,14
B4	E1	467,7	0,011	700	1,91	478,38	1,24	0,978	0,800	1,14
B1	B2	439,8	0,011	600	6,05	564,42	2,00	0,779	0,663	1,11
B2	B5	1013,3	0,015	1000	2,43	1024,30	1,30	0,989	0,810	1,14
B5	E1	1350,2	0,015	1090	2,73	1366,19	1,46	0,988	0,809	1,14
E1	E2	1817,9	0,015	1200	3,00	1850,70	1,64	0,982	0,804	1,14
C2	C3	174,0	0,011	450	3,41	196,76	1,24	0,884	0,730	1,13
C3	C1	616,0	0,011	800	1,62	629,01	1,25	0,979	0,801	1,14
C1	E2	799,9	0,011	800	2,72	815,05	1,62	0,981	0,803	1,14
E2	B6	2617,7	0,015	1700	1,00	2704,93	1,19	0,968	0,792	1,14
B6	B7	2748,2	0,015	1800	1,00	3150,30	1,24	0,872	0,722	1,13
B7	Des.	2882,5	0,015	1800	1,00	3150,30	1,24	0,915	0,752	1,13

Cámara		y	v	Cotas		Invert		Recubrimiento	
Inicio	Final	mm	m/s	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
B3	B4	400	1,39	3,8	3,8	2,500	2,203	0,800	1,097
B4	E1	560	1,42	3,8	3,86	2,203	2,137	0,897	1,023
B1	B2	398	2,21	3,8	3,8	2,4	2,000	0,800	1,200
B2	B5	810	1,49	3,8	3,8	2,000	1,821	0,800	0,979
B5	E1	882	1,67	3,8	3,86	1,821	1,724	0,889	1,046
E1	E2	965	1,87	3,86	3,86	1,724	1,443	0,936	1,217
C2	C3	329	1,40	3,8	3,8	2,55	2,200	0,800	1,150
C3	C1	641	1,43	3,8	3,8	2,200	2,089	0,800	0,911
C1	E2	642	1,85	3,8	3,86	2,089	1,995	0,911	1,065
E2	B6	1346	1,36	3,8	3,8	1,443	1,408	0,857	0,892
B6	B7	1300	1,39	3,8	3,8	1,408	1,312	0,892	0,888
B7	Des.	1354	1,40	3,8	3	1,312	1,156	0,888	0,044

9.2. Diseño con Reservorio Parque.

9.2.1. Diseño de Sumideros y Cunetas.

Para el diseño de sumideros y cunetas se tomó en cuenta el caudal máximo que circula por los mismos, de acuerdo al análisis de las áreas de aporte realizado con el modelo hidrológico-hidráulico del programa EPA-SWMM.

El modelo determinó un caudal máximo para sumideros y cunetas de 23 l/s o 0,023 m³/s, para el cual se determinaron las siguientes estructuras:

-) Sumidero tipo de INTERAGUA, el cual tiene capacidad para captar 35 l/s.
-) Cuneta de acuerdo a las siguientes especificaciones:

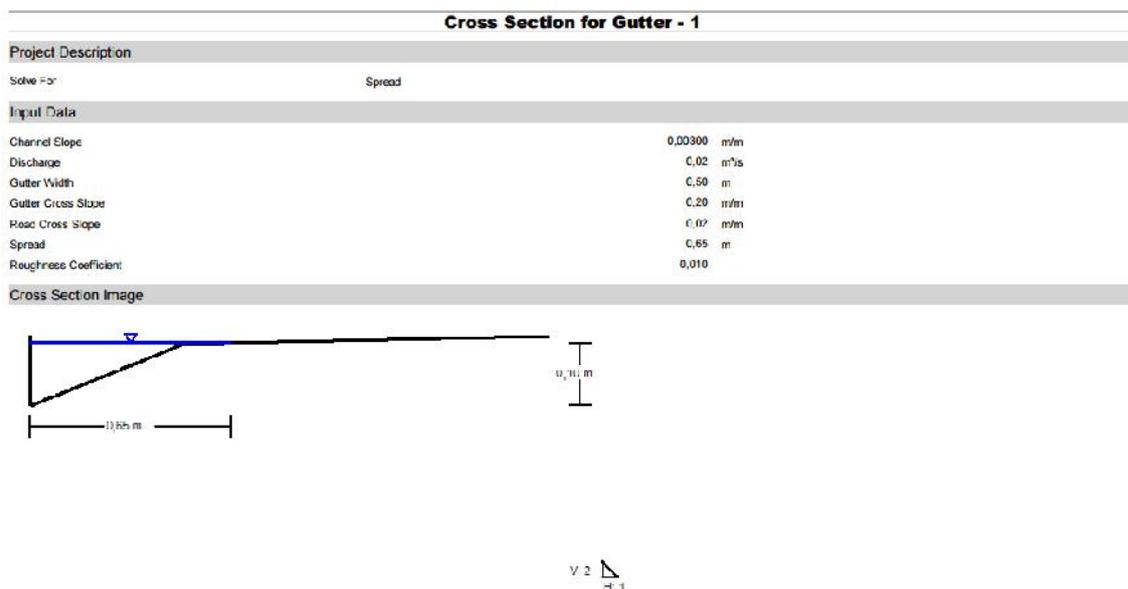


Figura 18: Simulación para diseño de cuneta (Gutter) realizada con el programa Flowmaster. (Flowmaster, Cross Section for Gutter, 2017).

9.2.2. Diseño de Reservorio.

Para el diseño del reservorio situado debajo del área del parque central, se tomó en cuenta las especificaciones técnicas de los geomódulos vendidos por PLASTIGAMA, las cuales ofrecen una resistencia de 56 T/m² suficientes para un área de paseo y reduce el volumen disponible para almacenamiento a un 75%. El área de parque es de 2080 m², entonces el área de almacenamiento es de 1560 m², la altura mínima estimada es de 1 m tomada desde el menor invert de las tuberías de entrada. En base a estos datos, se estimó un almacenamiento disponible

mínimo de 1560 m³ y con proyección a un almacenamiento mayor de acuerdo a la simulación del programa. Tomar en cuenta que desde la cota de la superficie se deja un recubrimiento de 0,2 m.

Para el proceso constructivo se realiza una excavación con un talud 2:1, se colocan los módulos del sistema y se procede a rellenar. Esto se puede realizar debido a que este sistema ofrece una resistencia lateral suficiente de 7.75 T/m², lo que ocasiona una reducción en costos.

9.2.3. Diseño del Sistema.

Para el prediseño se usó el sistema de cálculo de caudales por el método racional y régimen permanente, se tomó en cuenta las áreas de las cuencas de aportación a cada nodo, un tiempo de retorno de 5 años y se determinaron las tuberías antes de la descarga al reservorio. Después del reservorio, se estimaron unos diámetros de tuberías arbitrariamente.

Se procedió a la simulación del sistema en el programa SWMM y se determinó el caudal de salida del reservorio, con el cual se procedió a calcular los diámetros de descarga final sumando los caudales de las áreas de aporte aguas abajo.

Tabla 9: Hidrograma de salida del reservorio parque. Autor: SWMM.

Días	Horas	Flujo (m³/s)	VOLUMEN (m³)
0	0:15:00	0	0,00
0	0:30:00	0,16	144,00
0	0:45:00	0,31	279,00
0	1:00:00	0,42	378,00
0	1:15:00	0,53	477,00
0	1:30:00	0,66	594,00
0	1:45:00	0,7	630,00
0	2:00:00	0,73	657,00
0	2:15:00	0,74	666,00
0	2:30:00	0,72	648,00
0	2:45:00	0,69	621,00

0	3:00:00	0,66	594,00
0	3:15:00	0,63	567,00
0	3:30:00	0,59	531,00
0	3:45:00	0,55	495,00
0	4:00:00	0,5	450,00
0	4:15:00	0,44	396,00
0	4:30:00	0,37	333,00
0	4:45:00	0,29	261,00
0	5:00:00	0,17	153,00
0	5:15:00	0,08	72,00
0	5:30:00	0,03	27,00
0	5:45:00	0,01	9,00
0	6:00:00	0,01	9,00

Tabla 10: Prediseño del Sistema con Reservorio Parque. Autor: Pedro Estrella.

Cámara		L m	Área (Ha)			Tiempo de Conc. Min.		C %	i mm/h
Inicio	Final		Propia	Adic.	Total	de llegada	de escurr.		
B3	B4	102,65	0,97	0,00	0,97	7,00	1,23	0,80	108,66
B4	E1	34,62	1,05	0,97	2,02	8,23	0,41	0,80	104,11
B1	B2	66,05	1,82	0,00	1,82	7,00	0,50	0,80	108,66
B2	B5	74,01	2,45	1,82	4,27	7,50	0,83	0,80	106,70
B5	E1	35,43	1,58	4,27	5,85	8,33	0,35	0,80	103,78
C2	C3	102,55	0,72	0	0,72	7,00	1,22	0,80	108,66
C3	C1	68,61	1,94	0,72	2,66	8,22	0,80	0,80	104,13
C1	E2	34,62	0,88	2,66	3,54	9,03	0,31	0,80	101,59
E2	R.-P.	8,38							
E1	R.-P.	6,59							
R.-P.	B6	9,847							
B6	B7	95,21	0,54	0	0,54	7	1,51	0,8	108,66
B7	Des.	155,89	0,60	0,54	1,14	8,51	2,42	0,8	103,20

Cámara		q req	n	D	S	Q	V	RELACIONES HIDRAULICAS		
Inicio	Final	l/s	Mat.	mm	o/oo	l/s	m/s	q/Q	y/D	v/V
B3	B4	234,41	0,011	500	2,89	239,90	1,22	0,977	0,799	1,14
B4	E1	467,71	0,011	700	1,91	478,38	1,24	0,978	0,800	1,14
B1	B2	439,82	0,011	600	6,05	564,42	2,00	0,779	0,663	1,11
B2	B5	1013,26	0,015	1000	2,43	1024,30	1,30	0,989	0,810	1,14
B5	E1	1350,19	0,015	1090	2,73	1366,19	1,46	0,988	0,809	1,14
C2	C3	173,99	0,011	450	3,41	196,76	1,24	0,884	0,730	1,13
C3	C1	615,99	0,011	800	1,62	629,01	1,25	0,979	0,801	1,14
C1	E2	799,85	0,011	800	2,72	815,05	1,62	0,981	0,803	1,14
E2	R.-P.	799,85	0,011	800	2,72	815,05	1,62	0,981	0,803	1,14
E1	R.-P.	1817,89	0,015	1200	2,98	1844,52	1,63	0,986	0,806	1,14
R.-P.	B6	740	0,015	1090	1,00	826,85	0,89	0,895	0,738	1,13
B6	B7	870,50	0,015	1200	1,00	1068,50	0,94	0,815	0,685	1,11
B7	Des.	1001,64	0,015	1200	1,00	1068,50	0,94	0,937	0,768	1,14

Cámara		y	v	Cotas		Invert		Recubrimiento	
Inicio	Final	mm	m/s	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
B3	B4	400	1,39	3,8	3,8	2,500	2,203	0,800	1,097
B4	E1	560	1,42	3,8	3,86	2,203	2,137	0,897	1,023
B1	B2	398	2,21	3,8	3,8	2,4	2,000	0,800	1,200
B2	B5	810	1,49	3,8	3,8	2,000	1,821	0,800	0,979
B5	E1	882	1,67	3,8	3,86	1,821	1,724	0,889	1,046
C2	C3	329	1,40	3,8	3,8	2,55	2,200	0,800	1,150
C3	C1	641	1,43	3,8	3,8	2,200	2,089	0,800	0,911
C1	E2	642	1,85	3,8	3,86	2,089	1,995	0,911	1,065
E2	R.-P.	642	1,85	3,86	3,8	1,995	1,972	1,065	1,028
E1	R.-P.	967	1,86	3,86	3,8	1,724	1,704	0,936	0,896
R.-P.	B6	804	1,00	3,8	3,8	0,704	0,694	2,006	2,016
B6	B7	822	1,05	3,8	3,8	0,694	0,599	1,906	2,001
B7	Des.	922	1,07	3,8	3	0,599	0,443	2,001	1,357

9.3. Diseño con Reservorio Parque y Reservorios para Techos.

El diseño de sumideros, cunetas y reservorio de parque son los mismos usados en el diseño con reservorio, debido a que los parámetros de diseño son los mismos.

9.3.1. Diseño de Tanque para Aguas Lluvias de Techos.

Para el diseño del tanque se optó por el volumen de agua que cae sobre un área promedio del techo de una vivienda, para una lluvia con $Tr = 10$ años en un tiempo de concentración de 5 minutos y con una duración de 15 minutos (caso crítico). El caudal se calculó con la siguiente ecuación:

$$Q = 2.78 \times C \times I \times A$$

-) $C = 100\%$ para el área del techo.
-) $I = 146.63$ tomado para un tiempo de concentración de 5 min y una lluvia con Tr de 10 años.
-) $A = 55$ metros cuadrados ingresada en Ha.

Los resultados son descritos a continuación.

Tabla 11: Diseño de Tanque Reservorio para Aguas Lluvias de Techos. Autor: Pedro Estrella.

Q entrada	2,24017	l/s			
A RESERV	2	m ²	Duración	15	min
H RESERV	1	m	Volumen Res.	2016	Litros
D orificio	0,025	m			

9.3.2. Funcionamiento del Sistema de Reservorios para Aguas Lluvias de Techos.

El sistema de reservorios para aguas lluvias provenientes de los techos funciona de la siguiente manera:

1. El agua precipitada sobre el techo es colectada por un sistema de canaletas y direccionada mediante una bajante hacia un reservorio situado en la parte inferior-frontal de la vivienda. Descrito en el punto 7.8.1.1. (En la Fuente).

2. Este reservorio dispone de un orificio en la parte inferior para la salida amortiguada del caudal de agua lluvia.
3. El orificio vierte el caudal amortiguado a la acera.

9.3.3. Adaptación del Sistema de Reservorios para Aguas Lluvias de Techos.

Primero, se calculó el área de techos para cada cuenca y se la restó del área total, dando como resultado las siguientes áreas:

Tabla 12: Cálculo de áreas de techos para cada cuenca. Autor: Pedro Estrella.

Cuenca	Área (Ha)	Área Casas (Ha)	Área Techos (Ha)	^c Techos	Área Patios (Ha)	^c Patios	Área Calles (Ha)	^c Calles
CB3	0,97	0,64	0,46	1	0,18	0,8	0,33	0,7
CB1	1,82	1,30	0,94	1	0,37	0,8	0,52	0,7
CB2	2,45	1,78	1,28	1	0,50	0,8	0,67	0,7
CB4	1,05	0,75	0,54	1	0,21	0,8	0,30	0,7
CB5	1,58	0,93	0,67	1	0,26	0,8	0,65	0,7
CB6	0,54	0,27	0,20	1	0,08	0,8	0,27	0,7
CB7	0,6	0,17	0,12	1	0,05	0,8	0,43	0,7
CC1	0,88	0,66	0,48	1	0,18	0,8	0,22	0,7
CC2	0,72	0,69	0,50	1	0,19	0,8	0,03	0,7
CC3	1,94	0,72	0,52	1	0,20	0,8	1,22	0,7

Cuenca	A Patios y Calles	^c Patios y Calles	Width Total	Width P y C	Width Techos
CB3	0,51	0,74	97,07	50,98	17,92
CB1	0,88	0,74	65,63	31,77	13,17
CB2	1,17	0,74	67,71	32,25	13,79
CB4	0,51	0,74	86,52	42,20	17,24
CB5	0,91	0,73	74,89	43,17	12,34
CB6	0,34	0,72	59,39	37,87	8,37
CB7	0,48	0,71	42,09	33,56	3,32
CC1	0,40	0,75	68,34	31,40	14,36
CC2	0,22	0,79	76,27	23,83	20,39
CC3	1,42	0,71	84,34	61,74	8,79

Segundo, debido a que el agua proveniente de los reservorios no es recolectada directamente en un conducto, sino, que es vertida en una área para su posterior recolección en un sumidero, entonces su análisis debe ser muy detallado para cada sub-cuenca.

Tercero, para lograr una estimación muy cercana a lo que ocurre en la realidad, se realizó una simulación para una calle promedio de 100 metros, o 16 villas, ingresando el hidrograma proveniente del reservorio, de cada vivienda en la cuneta, la que descarga finalmente en un sumidero. Esta simulación da como resultado final el hidrograma que ingresa al sumidero.

Tabla 13: Hidrograma de Tanque Reservorio para Aguas Lluvias de Techos de cada vivienda. Autor: Pedro Estrella.

Tiempo (s)	Q saliente (m3/s)
10	0,0000
60	0,0003
120	0,0005
180	0,0006
240	0,0007
300	0,0007
360	0,0008
420	0,0009
480	0,0009
540	0,0010
600	0,0011
660	0,0011
720	0,0012
780	0,0012
840	0,0013
900	0,0013



Figura 19: Simulación para adaptación del sistema de reservorios para aguas lluvia de los techos. Autor: Pedro Estrella.

Tabla 14: Hidrograma promedio que ingresa a un sumidero. Autor: SWMM, 2017.

16		VILLAS
SUMIDERO		
		Flujo
Día	Hora	(m3/s)
0	0:15:00	0,00197
0	0:30:00	0,000157
0	0:45:00	0,000022
0	1:00:00	0,00001
0	1:15:00	0,000005
0	1:30:00	0,000004
0	1:45:00	0,000002
0	2:00:00	0,000001
0	2:15:00	0,000001
0	2:30:00	0,000001
0	2:45:00	0,000001
0	3:00:00	0,000001
0	3:15:00	0,000001
0	3:30:00	0,000001

Cuarto, para el hidrograma que entra a cada nodo se efectúa una ponderación a partir del hidrograma promedio según el número de villas correspondiente. Los resultados de las ponderaciones de los nodos para el modelo son los siguientes.

Tabla 15: Hidrogramas ponderados obtenidos para los sumideros del modelo en SWMM. Autor: Pedro Estrella.

B3		74	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m3/s)	
0	0:15:00	0,00911	
0	0:30:00	0,00073	
0	0:45:00	0,00010	
0	1:00:00	0,00005	
0	1:15:00	0,00002	
0	1:30:00	0,00002	
0	1:45:00	0,00001	
0	2:00:00	0,00000	
0	2:15:00	0,00000	
0	2:30:00	0,00000	
0	2:45:00	0,00000	
0	3:00:00	0,00000	
0	3:15:00	0,00000	
0	3:30:00	0,00000	

B4		90	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m3/s)	
0	0:15:00	0,01108	
0	0:30:00	0,00088	
0	0:45:00	0,00012	
0	1:00:00	0,00006	
0	1:15:00	0,00003	
0	1:30:00	0,00002	
0	1:45:00	0,00001	
0	2:00:00	0,00001	
0	2:15:00	0,00001	
0	2:30:00	0,00001	
0	2:45:00	0,00001	
0	3:00:00	0,00001	
0	3:15:00	0,00001	
0	3:30:00	0,00001	

B5		115	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m3/s)	
0	0:15:00	0,01416	
0	0:30:00	0,00113	
0	0:45:00	0,00016	
0	1:00:00	0,00007	
0	1:15:00	0,00004	
0	1:30:00	0,00003	
0	1:45:00	0,00001	
0	2:00:00	0,00001	
0	2:15:00	0,00001	
0	2:30:00	0,00001	
0	2:45:00	0,00001	
0	3:00:00	0,00001	
0	3:15:00	0,00001	
0	3:30:00	0,00001	

B2		193	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m3/s)	
0	0:15:00	0,02376	
0	0:30:00	0,00189	
0	0:45:00	0,00027	
0	1:00:00	0,00012	
0	1:15:00	0,00006	
0	1:30:00	0,00005	
0	1:45:00	0,00002	
0	2:00:00	0,00001	
0	2:15:00	0,00001	
0	2:30:00	0,00001	
0	2:45:00	0,00001	
0	3:00:00	0,00001	
0	3:15:00	0,00001	
0	3:30:00	0,00001	

B1		160	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m3/s)	
0	0:15:00	0,01970	
0	0:30:00	0,00157	
0	0:45:00	0,00022	
0	1:00:00	0,00010	
0	1:15:00	0,00005	
0	1:30:00	0,00004	
0	1:45:00	0,00002	
0	2:00:00	0,00001	
0	2:15:00	0,00001	
0	2:30:00	0,00001	
0	2:45:00	0,00001	
0	3:00:00	0,00001	
0	3:15:00	0,00001	
0	3:30:00	0,00001	

C2		82	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m3/s)	
0	0:15:00	0,01010	
0	0:30:00	0,00080	
0	0:45:00	0,00011	
0	1:00:00	0,00005	
0	1:15:00	0,00003	
0	1:30:00	0,00002	
0	1:45:00	0,00001	
0	2:00:00	0,00001	
0	2:15:00	0,00001	
0	2:30:00	0,00001	
0	2:45:00	0,00001	
0	3:00:00	0,00001	
0	3:15:00	0,00001	
0	3:30:00	0,00001	

C3		90	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m3/s)	
0	0:15:00	0,01108	
0	0:30:00	0,00088	
0	0:45:00	0,00012	
0	1:00:00	0,00006	
0	1:15:00	0,00003	
0	1:30:00	0,00002	
0	1:45:00	0,00001	
0	2:00:00	0,00001	
0	2:15:00	0,00001	
0	2:30:00	0,00001	
0	2:45:00	0,00001	
0	3:00:00	0,00001	
0	3:15:00	0,00001	
0	3:30:00	0,00001	

C1		78	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m)	
0	0:15:00	0,00960	
0	0:30:00	0,00077	
0	0:45:00	0,00011	
0	1:00:00	0,00005	
0	1:15:00	0,00002	
0	1:30:00	0,00002	
0	1:45:00	0,00001	
0	2:00:00	0,00000	
0	2:15:00	0,00000	
0	2:30:00	0,00000	
0	2:45:00	0,00000	
0	3:00:00	0,00000	
0	3:15:00	0,00000	
0	3:30:00	0,00000	

B6		34	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m3/s)	
0	0:15:00	0,00419	
0	0:30:00	0,00033	
0	0:45:00	0,00005	
0	1:00:00	0,00002	
0	1:15:00	0,00001	
0	1:30:00	0,00001	
0	1:45:00	0,00000	
0	2:00:00	0,00000	
0	2:15:00	0,00000	
0	2:30:00	0,00000	
0	2:45:00	0,00000	
0	3:00:00	0,00000	
0	3:15:00	0,00000	
0	3:30:00	0,00000	

B7		20	VILLAS
SUMIDERO			Flujo
Día	Hora	(m3/s)	
0	0:15:00	0,00246	
0	0:30:00	0,00020	
0	0:45:00	0,00003	
0	1:00:00	0,00001	
0	1:15:00	0,00001	
0	1:30:00	0,00001	
0	1:45:00	0,00000	
0	2:00:00	0,00000	
0	2:15:00	0,00000	
0	2:30:00	0,00000	
0	2:45:00	0,00000	
0	3:00:00	0,00000	
0	3:15:00	0,00000	
0	3:30:00	0,00000	

Quinto, se procedió a ingresar cada hidrograma en su respectivo nodo como un flujo adicional al caudal entrante proveniente de la cuenca que corresponde a las calles y patios.

9.3.4. Diseño del Sistema.

Para el prediseño del sistema se determinó el mayor caudal del hidrograma de salida de cada nodo, y mediante un diseño de régimen permanente se obtuvo el diámetro a usarse.

Tabla 16: Prediseño del Sistema de Aguas Lluvias con reservorio parque y reservorios techos. Autor: Pedro Estrella.

Cámara		L	q req	n	D	s	Q	V	Relaciones Hidráulicas		
Inicio	Final	m	l/s	Mat.	mm	o/oo	Lt/s	m/s	q/Q	y/D	v/V
B3	B4	102,65	111,77	0,011	400	2,89	132,31	1,05	0,845	0,704	1,12
B4	E1	34,62	216,80	0,011	600	1,91	317,13	1,12	0,684	0,606	1,08
B1	B2	66,05	157,31	0,011	400	6,05	191,44	1,52	0,822	0,690	1,12
B2	B5	74,01	353,90	0,011	600	2,43	357,71	1,27	0,989	0,810	1,14
B5	E1	35,43	509,05	0,011	700	2,73	571,92	1,49	0,890	0,734	1,13
C2	C3	102,55	51,60	0,011	400	3,41	143,72	1,14	0,359	0,414	0,92
C3	C1	68,61	318,56	0,011	700	1,62	440,56	1,14	0,723	0,630	1,09
C1	E2	34,62	393,98	0,011	700	2,72	570,87	1,48	0,690	0,610	1,08
E2	R.-P.	8,38	393,98	0,011	700	2,72	570,87	1,48	0,690	0,610	1,08
E1	R.-P.	6,59	725,85	0,011	800	2,98	853,11	1,70	0,851	0,708	1,12
R.-P.	B6	9,847	529,843	0,011	900	1,00	676,56	1,06	0,783	0,666	1,11
B6	B7	95,21	558,12	0,011	900	1,00	676,56	1,06	0,825	0,692	1,12
B7	Des.	155,89	609,68	0,011	900	1,00	676,56	1,06	0,901	0,742	1,13

Cámara		y	v	Cotas		Invert		Recubrimiento	
Inicio	Final	mm	m/s	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
B3	B4	282	1,18	3,8	3,8	2,600	2,303	0,800	1,097
B4	E1	364	1,21	3,8	3,86	2,303	2,237	0,897	1,023
B1	B2	276	1,70	3,8	3,8	2,6	2,200	0,800	1,200
B2	B5	486	1,44	3,8	3,8	2,200	2,021	1,000	1,179
B5	E1	514	1,68	3,8	3,86	2,021	1,924	1,079	1,236
C2	C3	166	1,05	3,8	3,8	2,6	2,250	0,800	1,150
C3	C1	441	1,25	3,8	3,8	2,250	2,139	0,850	0,961
C1	E2	427	1,60	3,8	3,86	2,139	2,045	0,961	1,115
E2	R.-P.	427	1,60	3,86	3,8	2,045	2,022	1,115	1,078
E1	R.-P.	566	1,90	3,86	3,8	1,924	1,904	1,136	1,096
R.-P.	B6	599	1,18	3,8	3,8	0,904	0,894	1,996	2,006
B6	B7	623	1,19	3,8	3,8	0,894	0,799	2,006	2,101
B7	Des.	668	1,20	3,8	3	0,799	0,643	2,101	1,457

9.4. Diseño con Reservorios de Techos.

El diseño de sumideros, cunetas, tanque para aguas lluvias de techos con su funcionamiento y adaptación son los mismos usados en el diseño con reservorio parque y reservorios techos, debido a que los parámetros de diseño son los mismos.

9.4.1. Diseño del Sistema.

Para el prediseño del sistema se determinó el mayor caudal del hidrograma de salida de cada nodo, y mediante un diseño de régimen permanente se obtuvo el diámetro a usarse.

Tabla 17: Prediseño del Sistema de Aguas Lluvias con reservorios techos. Autor: Pedro Estrella.

Cámara		L	q req	n	D	S	Q	V	Relaciones Hidráulicas		
Inicio	Final	m	l/s	Mat.	mm	o/oo	Lt/s	m/s	q/Q	y/D	v/V
B3	B4	102,65	111,77	0,011	400	2,89	132,31	1,05	0,845	0,704	1,12
B4	E1	34,62	216,80	0,011	600	1,91	317,13	1,12	0,684	0,606	1,08
B1	B2	66,05	157,31	0,011	400	6,05	191,44	1,52	0,822	0,690	1,12
B2	B5	74,01	353,90	0,015	600	2,43	262,32	0,93	1,349	1,000	1,00
B5	E1	35,43	509,05	0,015	700	2,73	419,41	1,09	1,214	1,000	1,00
E1	E2	93,60	725,85	0,011	800	3,00	855,97	1,70	0,848	0,706	1,12
C2	C3	102,55	51,60	0,011	400	3,41	143,72	1,14	0,359	0,414	0,92
C3	C1	68,61	318,56	0,011	700	1,62	440,56	1,14	0,723	0,630	1,09
C1	E2	34,62	393,98	0,011	700	2,72	570,87	1,48	0,690	0,610	1,08
E2	B6	35,43	1119,84	0,015	1200	1,00	1068,50	0,94	1,048	0,871	1,13
B6	B7	95,21	1120,00	0,015	1200	1,00	1068,50	0,94	1,048	0,871	1,13
B7	Des.	155,89	1160,00	0,015	1200	1,00	1068,50	0,94	1,086	1,000	1,00

Cámara		y	v	Cotas		Invert		Recubrimiento	
Inicio	Final	mm	m/s	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
B3	B4	282	1,18	3,8	3,8	2,600	2,303	0,800	1,097
B4	E1	364	1,21	3,8	3,86	2,303	2,237	0,897	1,023
B1	B2	276	1,70	3,8	3,8	2,6	2,200	0,800	1,200
B2	B5	600	0,93	3,8	3,8	2,200	2,021	1,000	1,179
B5	E1	700	1,09	3,8	3,86	2,021	1,924	1,079	1,236
E1	E2	565	1,91	3,86	3,86	1,924	1,643	1,136	1,417
C2	C3	166	1,05	3,8	3,8	2,6	2,250	0,800	1,150
C3	C1	441	1,25	3,8	3,8	2,250	2,139	0,850	0,961
C1	E2	427	1,60	3,8	3,86	2,139	2,045	0,961	1,115
E2	B6	1045	1,07	3,8	3,8	1,643	1,608	0,957	0,992
B6	B7	1045	1,07	3,8	3,8	1,608	1,512	0,992	1,088
B7	Des.	1200	0,94	3,8	3	1,512	1,356	1,088	0,444

10. Presentación y Discusión de resultados.

10.1. Resultados del Diseño con Reservorio Parque.

El amortiguamiento del hidrograma de entrada al reservorio con el hidrograma de salida es de alrededor de un 66%, lo cual es significativamente positivo.

Tabla 18: Hidrograma de entrada e hidrograma de salida. Autor: Pedro Estrella.

Hora	Flujo entrante	Flujo saliente
0:15:00	0,02	0
0:30:00	0,45	0,16
0:45:00	0,76	0,31
1:00:00	1,08	0,42
1:15:00	2,16	0,53
1:30:00	1,76	0,66
1:45:00	1,25	0,7
2:00:00	1,01	0,73
2:15:00	0,58	0,74
2:30:00	0,23	0,72
2:45:00	0,14	0,69
3:00:00	0,11	0,66
3:15:00	0,1	0,63
3:30:00	0,08	0,59
3:45:00	0,06	0,55
4:00:00	0,03	0,5
4:15:00	0,02	0,44
4:30:00	0,01	0,37
4:45:00	0,01	0,29
5:00:00	0,01	0,17
5:15:00	0	0,08
5:30:00	0	0,03
5:45:00	0	0,01
6:00:00	0	0,01

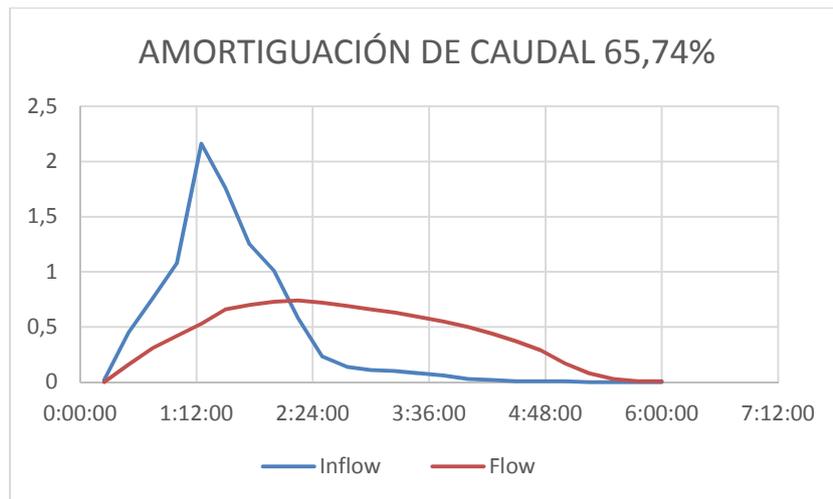


Figura 20: Hidrograma de entrada (inflow) vs hidrograma de salida (flow). Autor: Pedro Estrella.

El sistema se comporta correctamente para simulaciones con lluvias de 5 y 10 años; e incluso con influencia de marea.

A continuación se presentarán ilustraciones de los peores escenarios con lluvias de 5, 10 y 25 años.

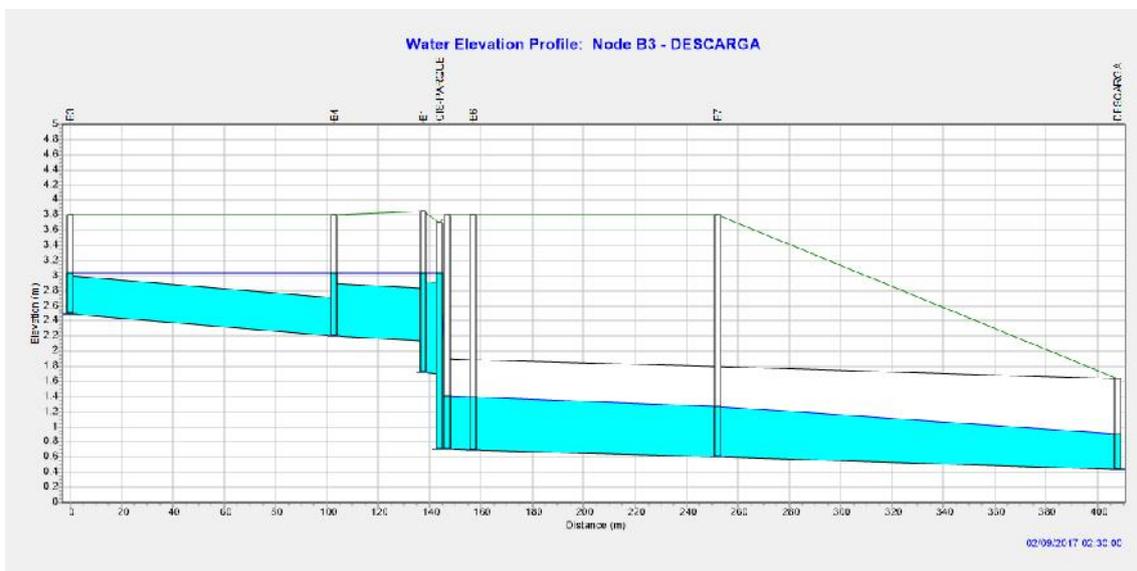


Figura 21: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 5 años. Autor: Pedro Estrella.

Como se puede observar en la figura 21, el sistema se inunda pero no surge agua a la superficie.

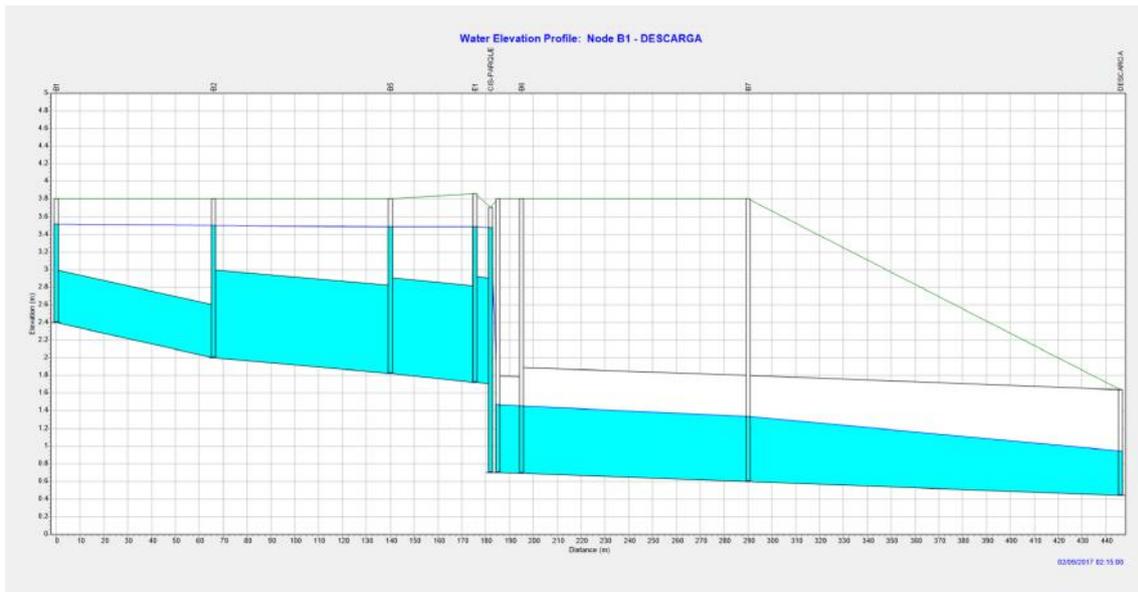


Figura 22: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 10 años. Autor: Pedro Estrella.

Como se puede observar en la figura 22, el sistema se inunda pero no surge agua a la superficie.

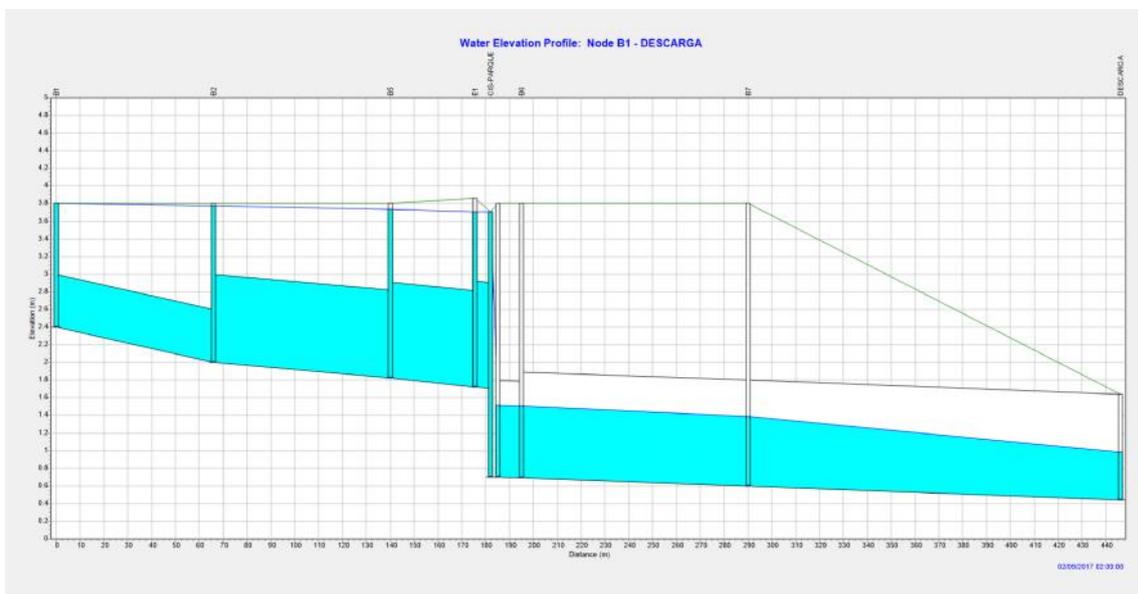


Figura 23: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 25 años. Autor: Pedro Estrella.

Como se puede observar en la figura 23, sucede una inundación de la superficie en el nodo B1 de 12 cms durante un tiempo de 30 minutos.

10.2. Resultados del Diseño con Reservorio Parque y Reservorios para Techos.

El amortiguamiento en el hidrograma de entrada al reservorio con el sistema de reservorios de techos es de alrededor de 50%. Adicionalmente, el amortiguamiento producido por el reservorio parque es de alrededor de 51%, se puede decir que el amortiguamiento total del sistema es de 75,5%.

Tabla 19: Hidrograma de entrada e hidrograma de salida. Autor: Pedro Estrella.

Hora	Flujo entrante	Flujo saliente
0:15:00	0,008703	0,001727
0:30:00	0,245025	0,116769
0:45:00	0,375926	0,218645
1:00:00	0,534407	0,290004
1:15:00	1,073007	0,377085
1:30:00	0,959192	0,487357
1:45:00	0,662686	0,521838
2:00:00	0,536567	0,529843
2:15:00	0,353076	0,527648
2:30:00	0,145186	0,499158
2:45:00	0,072434	0,452605
3:00:00	0,039879	0,392951
3:15:00	0,024465	0,319526
3:30:00	0,015792	0,229337
3:45:00	0,010422	0,110792
4:00:00	0,007167	0,048617
4:15:00	0,005349	0,004516
4:30:00	0,004178	0,002882
4:45:00	0,003439	0,000028
5:00:00	0,002881	0,000028
5:15:00	0,002447	0,000028
5:30:00	0,002125	0,000028
5:45:00	0,001852	0,000028
6:00:00	0,00163	0,000028

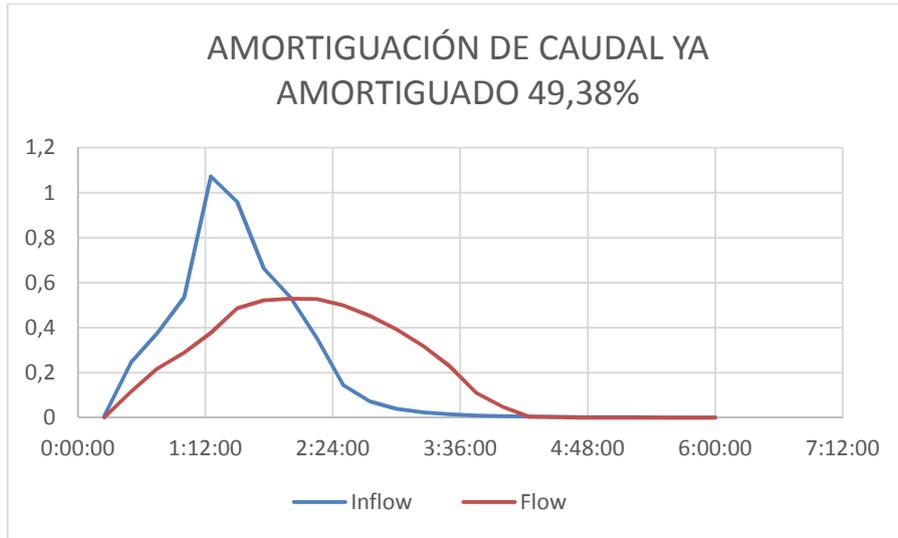


Figura 24: Hidrograma de entrada (inflow) vs hidrograma de salida (flow). Autor: Pedro Estrella.

El sistema se comporta correctamente para simulaciones con lluvias de 5, 10 y 25 años; e incluso con influencia de marea.

A continuación se presentarán ilustraciones de los peores escenarios con lluvias de 5, 10 y 25 años.

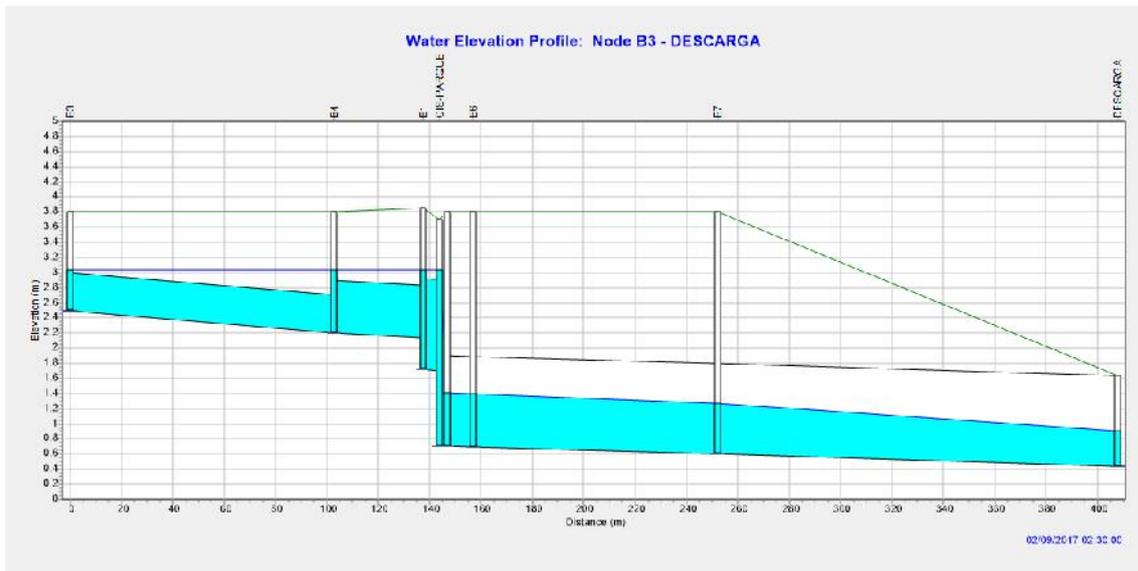


Figura 25: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 5 años. Autor: Pedro Estrella.

Como se puede observar en la figura 25, el sistema se inunda pero no surge agua a la superficie.

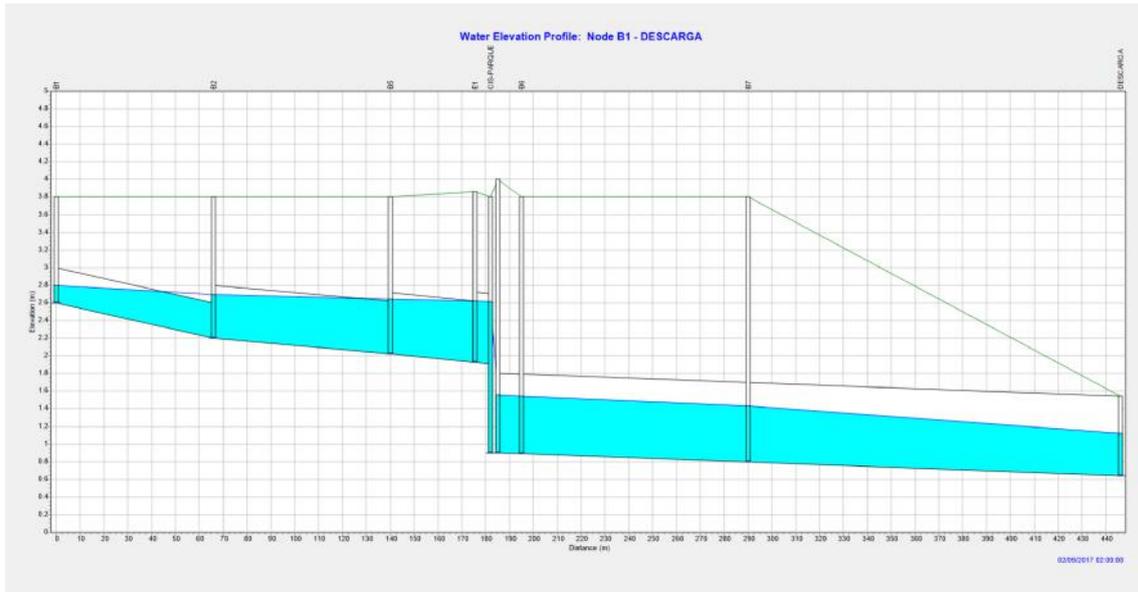


Figura 26: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 10 años. Autor: Pedro Estrella.

Como se puede observar en la figura 26, el sistema se inunda pero no surge agua a la superficie.

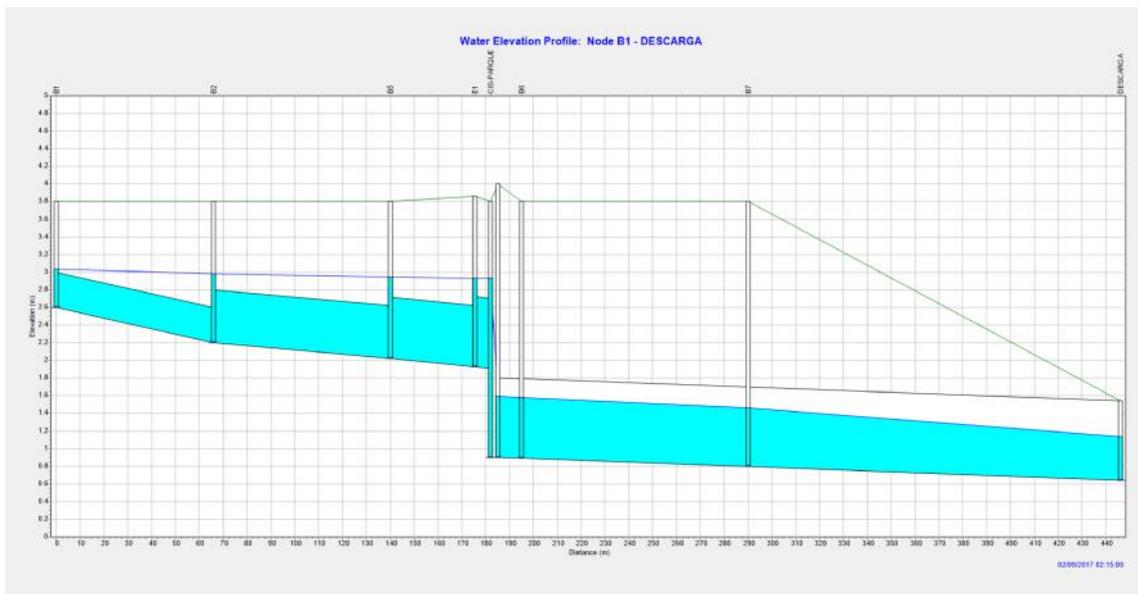


Figura 27: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 25 años. Autor: Pedro Estrella.

Como se puede observar en la figura 27, el sistema se inunda pero no surge agua a la superficie.

10.3. Resultados del Diseño con Reservorios para Techos.

El amortiguamiento en el hidrograma de entrada al reservorio con el sistema de reservorios de techos es de 51.39%.

Tabla 20: Hidrograma sin reservorios techos e hidrograma con reservorios techos.

Autor: Pedro Estrella.

Hora	Sin R. Techos	Con R. Techos
0:15:00	0,02	0,01
0:30:00	0,45	0,24
0:45:00	0,76	0,37
1:00:00	1,08	0,53
1:15:00	2,16	1,05
1:30:00	1,76	0,98
1:45:00	1,25	0,67
2:00:00	1,01	0,54
2:15:00	0,58	0,37
2:30:00	0,23	0,14
2:45:00	0,14	0,07
3:00:00	0,11	0,04
3:15:00	0,1	0,02
3:30:00	0,08	0,02
3:45:00	0,06	0,01
4:00:00	0,03	0,01
4:15:00	0,02	0,01
4:30:00	0,01	0
4:45:00	0,01	0
5:00:00	0,01	0
5:15:00	0	0
5:30:00	0	0
5:45:00	0	0
6:00:00	0	0

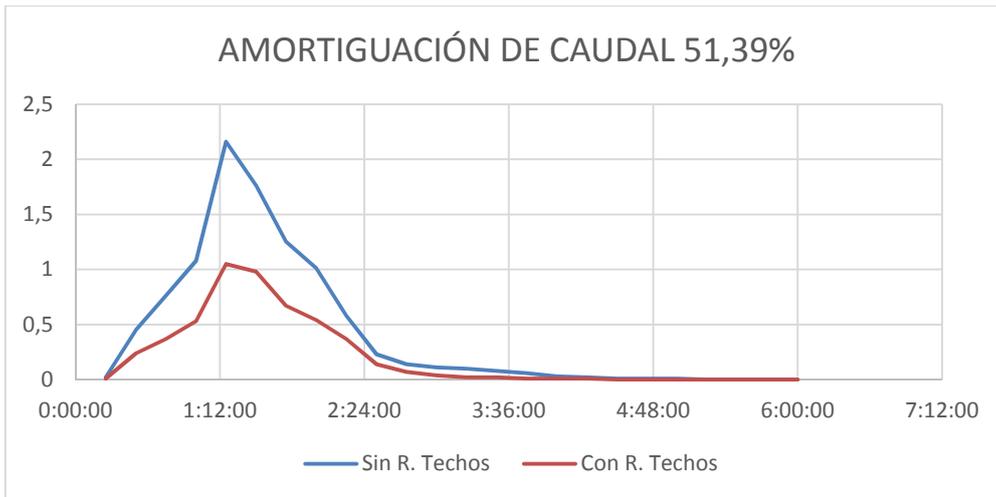


Figura 28: Hidrograma sin reservorios techos vs hidrograma con reservorios techos.

Autor: Pedro Estrella.

El sistema se comporta correctamente para simulaciones con lluvias de 5 y 10 años; e incluso con influencia de marea.

A continuación se presentarán ilustraciones de los peores escenarios con lluvias de 5, 10 y 25 años.

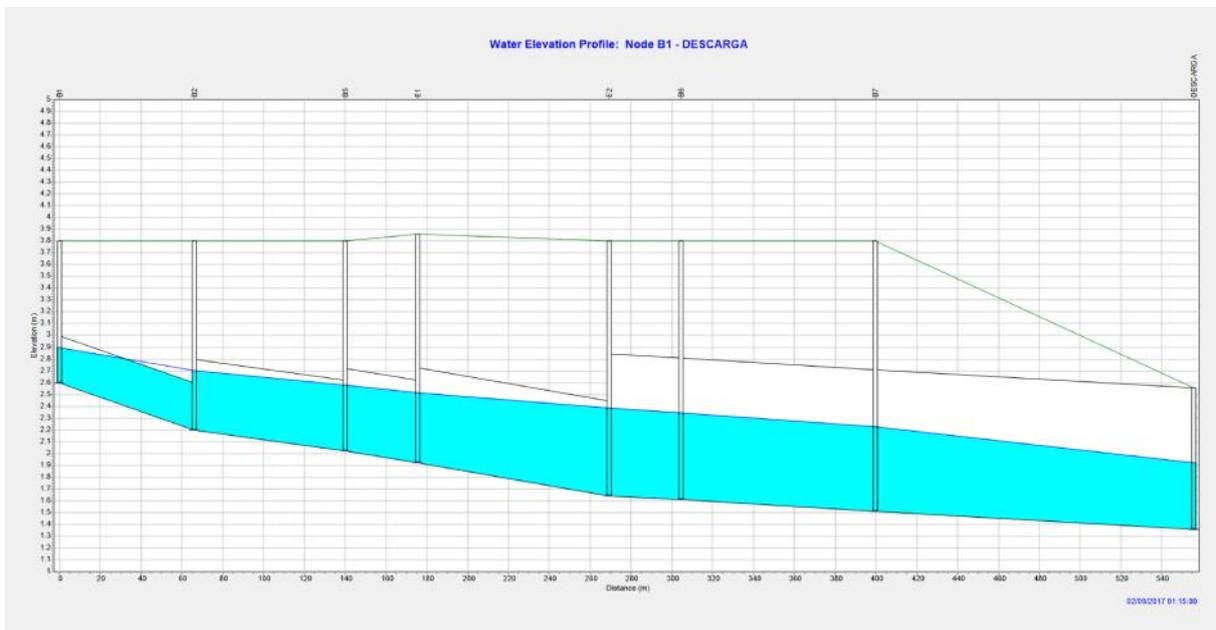


Figura 29: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 5 años. Autor:

Pedro Estrella.

Como se puede observar en la figura 29, el sistema se inunda pero no surge agua a la superficie.

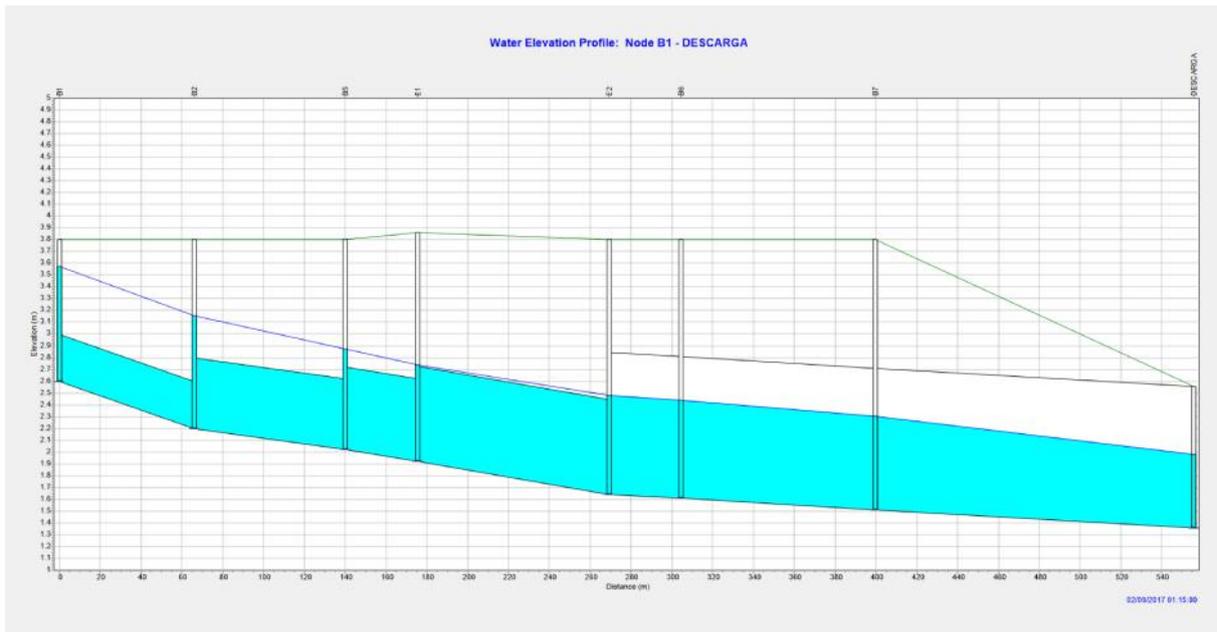


Figura 30: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 10 años. Autor: Pedro Estrella.

Como se puede observar en la figura 30, el sistema se inunda pero no surge agua a la superficie.

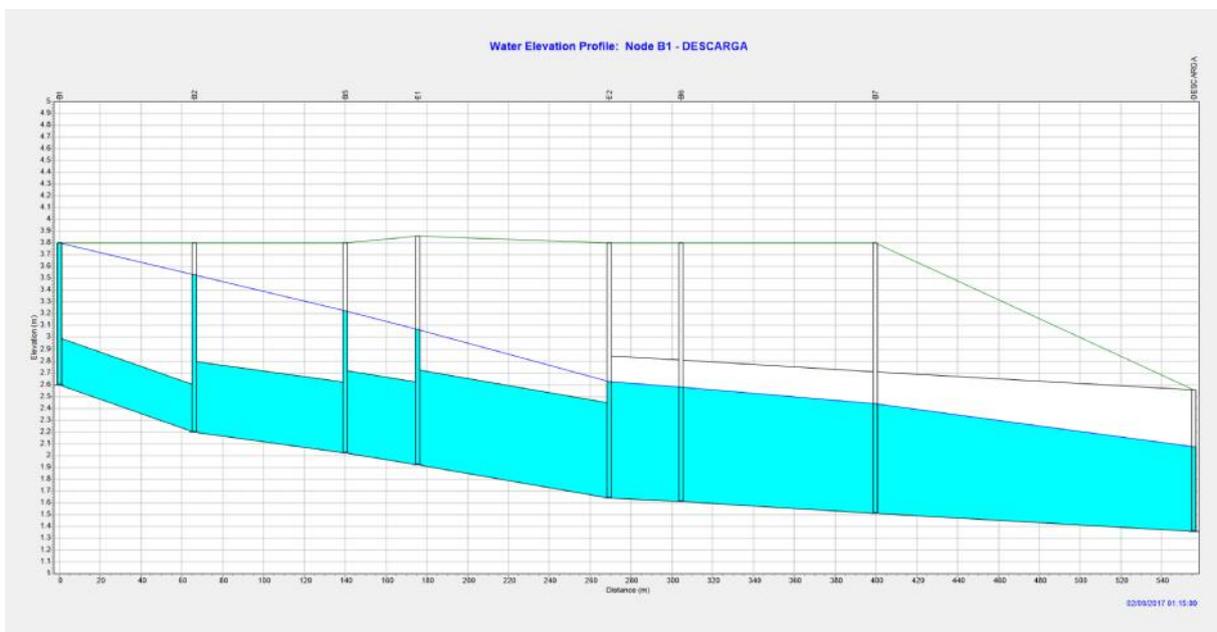


Figura 31: Ilustración de la fase crítica del sistema con lluvia de 25 años. Autor: Pedro Estrella.

Como se puede observar en la figura 31, se produce una pequeña inundación en el nodo B1 de 5 centímetros.

10.4. Comparación de Presupuestos.

Tabla 21: Presupuesto del Sistema sin Reservorio. Autor: Pedro Estrella.

Diseño Sin Reservorio				
Rubros	U	Cant.	Costo Unitario	Costo Total
Suministro e instalación de tubería de PVC 450	M	102,55	\$ 137,22	\$ 14.071,91
Suministro e instalación de tubería de PVC 500	M	102,65	\$ 146,81	\$ 15.070,05
Suministro e instalación de tubería de PVC 600	M	66,05	\$ 176,23	\$ 11.639,99
Suministro e instalación de tubería de PVC 700	M	34,62	\$ 201,04	\$ 6.960,00
Suministro e instalación de tubería de PVC 800	M	103,23	\$ 248,04	\$ 25.605,17
Suministro e instalación de tubería de HA 1000	M	74,01	\$ 678,42	\$ 50.209,86
Suministro e instalación de tubería de HA 1090	M	35,43	\$ 822,29	\$ 29.133,73
Suministro e instalación de tubería de HA 1200	M	93,6	\$ 843,78	\$ 78.977,81
Suministro e instalación de tubería de HA 1700	M	35,43	\$ 1.269,65	\$ 44.983,70
Suministro e instalación de tubería de HA 1800	M	251,1	\$ 1.279,51	\$ 321.284,96
Cámara tipo 2	U	6	\$ 3.500,00	\$ 21.000,00
Cámara tipo 3	U	3	\$ 5.000,00	\$ 15.000,00
Cámara tipo 5	U	3	\$ 10.000,00	\$ 30.000,00
Total				\$ 663.937,19

Tabla 22: Presupuesto del Sistema con Reservorio Parque. Autor: Pedro Estrella.

Diseño Con Reservorio Parque				
Rubros	U	Cant.	Costo Unitario	Costo Total
Suministro e instalación de tubería de PVC 450	M	102,55	\$ 137,22	\$ 14.071,91
Suministro e instalación de tubería de PVC 500	M	102,65	\$ 146,81	\$ 15.070,05
Suministro e instalación de tubería de PVC 600	M	66,05	\$ 176,23	\$ 11.639,99
Suministro e instalación de tubería de PVC 700	M	34,62	\$ 201,04	\$ 6.960,00
Suministro e instalación de tubería de PVC 800	M	111,61	\$ 248,04	\$ 27.683,74
Suministro e instalación de tubería de HA 1000	M	74,01	\$ 678,42	\$ 50.209,86
Suministro e instalación de tubería de HA 1090	M	45,277	\$ 822,29	\$ 37.230,82
Suministro e instalación de tubería de HA 1200	M	257,69	\$ 843,78	\$ 217.433,67
Cámara tipo 2	U	7	\$ 3.500,00	\$ 24.500,00
Cámara tipo 3	U	5	\$ 5.000,00	\$ 25.000,00
Total				\$ 429.800,05

Reservorio Parque				
Rubros	U	Cant.	Costo Unitario	Costo Total
Módulos de 0,50x0,50x1,00m	U	16640	\$ 6,50	\$ 108.160,00
Excavación	M3	8148	\$ 2,00	\$ 16.296,00
Relleno	M3	2324	\$ 4,00	\$ 9.296,00
Total				\$ 133.752,00

Costo Total Del Sistema	\$ 563.552,05
--------------------------------	----------------------

Obteniendo una diferencia a favor de \$100.385,14 comparando con el sistema con el sistema actual.

Tabla 23: Presupuesto del Sistema con Reservoirio Parque y Reservoirios para Techos. Autor: Pedro Estrella.

Diseño Con Reservoirio Parque Y Reservoirios Techos					
Rubros	U	Cant.	Costo U.	Costo Total	
Suministro e instalación de tubería de PVC 400	M	271,25	\$ 123,22	\$ 33.424,44	
Suministro e instalación de tubería de PVC 600	M	108,63	\$ 176,23	\$ 19.143,86	
Suministro e instalación de tubería de PVC 700	M	147,04	\$ 201,04	\$ 29.560,92	
Suministro e instalación de tubería de PVC 800	M	6,59	\$ 248,04	\$ 1.634,58	
Suministro e instalación de tubería de PVC 900	M	260,947	\$ 578,40	\$ 150.931,32	
Cámara tipo 2	U	10	\$ 3.500,00	\$ 35.000,00	
Cámara tipo 3	U	2	\$ 5.000,00	\$ 10.000,00	
Total				\$ 279.695,13	
Reservoirio Parque					
Rubros	U	Cant.	Costo Unitario	Costo Total	
Módulos de 0,50x0,50x1,00m	U	16640	\$ 6,50	\$ 108.160,00	
Excavación	M3	8148	\$ 2,00	\$ 16.296,00	
Relleno	M3	2324	\$ 4,00	\$ 9.296,00	
Total				\$ 133.752,00	
Reservoirio Techos					
Rubros	U	Cant.	Costo Unitario	Costo Total	
Tubería 110 Mm X 6m	U	3	\$ 29,00	\$ 87,00	
Agarraderas	M3	5	\$ 3,50	\$ 17,50	
Tanque	M3	1	\$ 200,00	\$ 200,00	
Mano de obra				\$ 75,00	
Total				\$ 379,50	
			Casas	930	
			Total	\$ 352.935,00	
Costo Total Del Sistema				\$ 766.382,13	

Obteniendo un diseño más costoso por \$102.444,94 que el sistema actual.

Tabla 24: Presupuesto del Sistema con Reservorios Techos. Autor: Pedro Estrella.

Diseño Con Reservorios Techos				
Rubros	U	Cant.	Costo Unitario	Costo Total
Suministro e instalación de tubería de PVC 400	M	271,25	\$ 123,22	\$ 33.424,44
Suministro e instalación de tubería de PVC 600	M	108,63	\$ 176,23	\$ 19.143,86
Suministro e instalación de tubería de PVC 700	M	138,66	\$ 201,04	\$ 27.876,21
Suministro e instalación de tubería de PVC 800	M	93,6	\$ 248,04	\$ 23.216,54
Suministro e instalación de tubería de HA 1200	M	286,53	\$ 843,78	\$ 241.768,28
Cámara tipo 2	U	10	\$ 3.500,00	\$ 35.000,00
Cámara tipo 3	U	2	\$ 5.000,00	\$ 10.000,00
Total				\$ 390.429,34

Reservorio Techos				
Rubros	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Tubería 110 Mm X 6m	U	3	\$ 29,00	\$ 87,00
Agarraderas	M3	5	\$ 3,50	\$ 17,50
Tanque	M3	1	\$ 200,00	\$ 200,00
Mano De Obra				\$ 75,00
Total				\$ 379,50
			Casas	930
			Total	\$ 352.935,00
Costo Total Del Sistema				\$ 743.364,34

Obteniendo un diseño más costoso por \$79.427,15 que el sistema actual.

11. Conclusiones

De acuerdo a la investigación realizada y a los diseños propuestos con nuevas alternativas para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial, se puede concluir que estos sistemas para reducción y amortiguación de escurrimiento superficial sí pueden ser aplicables para la ciudad de Guayaquil, ya que denotan una considerable mejora en la eficiencia del sistema de alcantarillado pluvial, en cuanto a proyección de lluvias, reducción de caudales y costos del mismo.

De los sistemas para reducción y amortiguación de caudales, se puede concluir lo siguiente:

-) Ofrecen un claro amortiguamiento de los caudales de escurrimiento superficial.
-) Al incrementar el tiempo de recurrencia, el sistema trabaja de forma eficiente.
-) El sistema con reservorio parque, en cuanto a su presupuesto, ofrece una reducción económica de aproximadamente el 15% con respecto al sistema actual; en cuanto a su eficiencia, ofrece soporte total para una lluvia de $Tr = 10$ años y una inundación de 12 cm en un solo nodo para una lluvia de $Tr = 25$ años.
-) El sistema con reservorio parque y reservorios para techos, no ofrece una reducción del presupuesto con respecto al sistema actual (\$102.444,94 más caro), pero debido a la ventaja de que soporta una lluvia de hasta 25 años de periodo de recurrencia, se puede concluir que este sistema es el más eficiente.
-) El sistema con reservorios para techos, no ofrece una reducción del presupuesto con respecto al sistema actual (\$79.427,15 más caro), resulta más económico que el sistema con reservorio parque y reservorios para techos, pero sometido a una lluvia de $Tr = 25$ años se produce una pequeña inundación de 5 centímetros en el nodo más crítico.
-) Si se compararan los sistemas de reducción y amortiguamiento de caudales contra sistemas tradicionales, diseñados bajo un mismo tiempo de retorno de lluvias, las ventajas técnicas y económicas serían muy notables.

12. Recomendaciones

Como recomendación general, el estudio de este campo de la ingeniería hidráulica debería ser mayormente analizado y estudiado, debido a que Guayaquil es una ciudad propensa a inundaciones y nos encontramos en un país donde los recursos tienen que ser bien administrados, ya habiéndose demostrado sus ventajas técnicas y económicas.

Se recomienda lo siguiente:

-) Realizar un análisis más detallado de las cuencas con reservorios para las aguas lluvias de los techos.
-) Promocionar mayormente el estudio de esta área de la Ingeniería hidráulica.
-) Establecer normas y leyes en las cuales se abarquen estos temas.
-) Fomentar el espacio de áreas de recreación dentro de la ciudad, para de esta forma tener mayor facilidad de implementación de estos sistemas.

13. Referencias Bibliográficas.

- Censo de Población y Vivienda. (2010). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC.
- Plan Nacional del Buen Vivir, (2013-2017).
- Avilés E. (2008). Enciclopedia del Ecuador Histórica, Geográfica y Biográfica.
- JVP Consultores. (2016) Manual de Drenaje Pluvial Urbano de la Ciudad de Guayaquil, Con Aplicaciones Prácticas sobre la Cuenca de Orquídeas.
- Tucci C. (1997). Água no Meio Urbano, Universidade do Rio Grande do Sul.
- Tucci, C. E. (2007). Gestión de inundaciones urbanas. Porto Alegre, Brasil: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.
- Chocat B. (1997). Le rôle possible de l'urbanisation dans l'aggravation du risque d'inondation: l'exemple de l'Yzeron (Lyon).
- Chow, V. T. (1994). Hidrología aplicada. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- EPA. (2015). U. S. Environmental Protection Agency. SWMM, modelo de gestión de aguas pluviales. Manual de usuarios. Washington, USA.
- FISRWG. (2001). Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practice.
- Ceballo, D. (2013). Deforestación de Cuencas Hidrográficas. Recuperado de: <http://www.conciencia-agroecologica.com/2013/11/deforestacion-cuencas.html>.
- Atlantis. (2017). Recuperada de: <http://drenajesostenible.com/productos-atlantis/>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Estrella Rodríguez, Pedro Andrés**, con C.C: # **0930798178** autor/a del trabajo de titulación: **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAJE DE AALL Y UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA EVACUACIÓN DE LOS CAUDALES GENERADOS POR LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL. CASO DE ESTUDIO: CIUDADELA MUCHO LOTE 2, GUAYAQUIL**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 20 de **marzo** de **2017**.

f. _____

Nombre: **Estrella Rodríguez, Pedro Andrés**

C.C: **0930798178**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAJE DE AALL Y UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA EVACUACIÓN DE LOS CAUDALES GENERADOS POR LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL. CASO DE ESTUDIO: CIUDADELA MUCHO LOTE 2, GUAYAQUIL.		
AUTOR(ES)	Estrella Rodríguez, Pedro Andrés		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Castro Beltrán, Andrés		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de marzo de 2017.	No. PÁGINAS:	DE 90
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería Civil, Ingeniería Hidráulica, Ingeniería Sanitaria.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	ANÁLISIS COMPARATIVO SISMTEMA AALL CONVENCIONAL Y SOSTENIBLE, MUCHO LOTE 2, GUAYAQUIL.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p><i>La ciudad de Guayaquil cuenta con un sistema de drenaje pluvial independiente del sistema de alcantarillado sanitario, que no alcanza a cubrir el 100% de su área urbana. Esto se debe al crecimiento desordenado de la ciudad y al elevado costo que representa la ejecución del sistema de recolección de aguas lluvias.</i></p> <p><i>Los costos elevados son el resultado de los grandes diámetros demandados por la alta intensidad de las lluvias; el nulo manejo de las cuencas hidrográficas generadoras del caudal; la poca pendiente de la ciudad y el nivel de la marea; y la alta impermeabilidad con que construimos nuestros barrios y ciudadelas.</i></p> <p><i>El presente trabajo de investigación analiza, para la ciudadela Mucho Lote 2 en la ciudad de Guayaquil y en conformidad con los criterios actuales de desarrollo sustentable y de conservación del medio ambiente, una alternativa para reducir y/o regular los caudales de escurrimiento, logrando una reducción de diámetros y, por consecuencia, costos de estos sistemas.</i></p>			



ADJUNTO PDF:			<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	CON	Teléfono:	+593-4-6046305	E-mail: pedro_strella@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	LA	Nombre:	Ing. Clara Glas	
		Teléfono:	+593-984616792	
	DEL	E-mail:	claglas@hotmail.com	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA				
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):				
Nº. DE CLASIFICACIÓN:				
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):				