

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE URBANO PLUVIAL EN LAS
AVENIDAS VICTOR LARCO, FÁTIMA Y HÚSARES DE JUNÍN –
TRUJILLO- LA LIBERTAD**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA

AUTORES: BR. Benites Rodriguez, Melanie
BR. Bustamante Quiroz, Adrian

ASESOR: ING. Sagastegui Plasencia, Fidel German

TRUJILLO - PERÚ

2020

DEDICATORIA

A Dios que me ha servido de guía y fortaleza para cada aspecto de mi vida.

A mi compañero de tesis por el apoyo y esfuerzo puesto en este informe.

A mis papas, quienes en ningún momento dudan de mis capacidades y logros.

A mi hermana porque cuento con su apoyo ante cualquier dificultad que se me presente.

A mi tía July que es mi segunda mamá, a quien le debo todo el apoyo brindado en el cumplimiento de mis metas.

A mi familia quienes siempre se preocupan por mi bienestar.

Br. Benites Rodriguez, Melanie Alina

DEDICATORIA

En primer lugar, a esa fuerza interna que me empuja a superar obstáculos que me los creo o se me son impuestos.

A mis padres Rosita y Carmelo de los que estoy orgulloso y que me mostraron que existen diferentes maneras de hacer las cosas, y por quererme incondicionalmente.

A mi tía Norma que fue como una segunda madre en el proceso de mi formación y que culmina con este trabajo, a mi tía abuela a la que llamábamos “La niña” quién falleció cuando me incursionaba en la carrera y que estoy seguro de que está orgullosa donde quiera que se encuentre.

Finalmente quiero dedicar a los compañeros de universidad que se volvieron amigos, y algunos se han vuelto como familia, por las historias vividas y por el apoyo que muchas veces se necesita o se da.

Br. Bustamante Quiroz, Adrian Alexander

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme vida y salud para permitirme cumplir mis metas.

Agradezco a mi compañero de tesis, por todo el tiempo invertido, por su apoyo y colaboración.

Agradezco a mis papas, que a pesar de la distancia siempre me dan su apoyo y cariño incondicional.

Y finalmente, a mi familia que siempre me motiva a superar lo que me proponga y siempre están presentes.

Br. Benites Rodriguez, Melanie Alina

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy las gracias a Dios por brindarme buena salud ya que es el pilar más importante para poder hacer cualquier cosa.

A mi madre que depositó su confianza en mí y a mi padre que me mostró el camino para adentrarme en la carrera de ingeniería civil.

A esos buenos catedráticos que siempre ponen a prueba tu capacidad para demostrarte a ti mismo que puedes superar obstáculos y que de eso se trata la vida, en consecuencia, siempre se los llevará en la memoria.

Al ingeniero Juan Pablo García Rivera que nos guió y nos dijo que la educación es el camino y que considero un buen ejemplo a seguir

Finalmente agradezco a la Universidad Privada Antenor Orrego por acogerme y no sólo pueda desarrollar mi parte analítica e intelectual, sino también la parte humana la que te hace trabajar en equipo y lograr cualquier cosa.

Br. Bustamante Quiroz, Adrian Alexander

RESUMEN

Esta investigación tiene como principal objetivo determinar la influencia del caudal generado en épocas de la llegada del niño costero y el diseño del sistema de drenaje urbano pluvial para las avenidas Víctor Larco Herrera, Fátima y Húsares de Junín – Trujillo – La Libertad, para ello se propuso un sistema de drenaje que consiste en 2 subsistemas llamados: sub sistema de la izquierda y sub sistema de la derecha, con 2 descargas: la salida1 y salida2 respectivamente, conteniendo todo el sistema 31 buzones unidos mediante tuberías respetando pendientes mínimas y máximas. Se modeló la propuesta en un software especializado llamado SWMM V.5.1 para comprobar que el sistema propuesto funciona, evitando sobrecargas e inundaciones en los buzones, se utilizó para el cálculo hidrológico el modelo de depósito no lineal y para el cálculo hidráulico se utilizó las fórmulas de la onda dinámica que emulan el flujo no permanente. Para el hietrograma de proyecto se utilizó la precipitación más representativa, la cual fue transformada en intensidad y fue adaptada la forma de la curva sintética IDF generada por el método ILLA SENAMHI UNI para un periodo de retorno de 25 años. Para delimitar la cuenca para la cual se tuvo en cuenta la topografía, dicha cuenca se dividió en 31 sub cuencas urbanas, las cuales se dividieron en 3 áreas: área permeable, área impermeable y área impermeable sin encharcamiento; para el modelo de infiltración se utilizó el número de curva. Como conclusión se obtuvo que, con la implementación del sistema de drenaje urbano pluvial mitigará el caudal generado en las avenidas Víctor Larco, Fátima y Húsares de Junín para épocas de la llegada del niño costero.

Palabras clave: Onda dinámica, Modelo hidráulico, Modelo hidrológico, flujo no permanente, infiltración

ABSTRACT

The main goal of this research is to determine the influence between flow generated at the time of the arrival of the “niño costero” and the design of the urban storm drainage system for the avenues Víctor Larco Herrera, Fátima and Húsares de Junín - Trujillo - La Libertad. He proposed a drainage system consisting of 2 subsystems called: sub left system and sub right system with 2 outputs: salida1 and salida2 respectively, all the system containing 31 “boxes” joined by pipes respecting minimum and maximum slopes. The proposal was modeled in specialized software called SWMM V.5.1 to verify that the proposed system works, avoiding overloads and flooding in the mailboxes, the non-linear tank model was used for the hydrological calculation and the formulas were used for the hydraulic calculation of the dynamic wave that emulate the non-permanent flow which takes into account inertial forces, pressure forces, gravity forces and friction forces. For the project hietrogram, the most representative precipitation was used, which was transformed into intensity and the shape of the synthetic IDF curve generated by the ILLA SENAMHI UNI method was adapted for a return period of 25 years. To delimit the urban basin of 51.58 hectares, the topography was taken into account. This basin was divided into 31 urban sub-basins, so that later each one is divided into 3 areas: permeable area, impervious area and impervious area without puddling; The curve number was used for the infiltration model. As a conclusion, it was obtained that, with the implementation of the urban pluvial drainage system, it will mitigate the flow generated in the avenues Víctor Larco, Fátima and Húsares de Junín for times of the arrival of the “niño costero”.

Key words: Dynamic wave, hydraulic model, hydrological model, no permanent flow, infiltration

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra consideración, el presente trabajado de investigación titulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE URBANO PLUVIAL EN LAS AVENIDAS VICTOR LARCO, FÁTIMA Y HÚSARES DE JUNÍN – TRUJILLO- LA LIBERTAD”, con el propósito de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Atentamente,

BACH. BENITES RODRIGUEZ, MELANIE

BACH. BUSTAMANTE QUIROZ, ADRIAN

Tesis: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE URBANO PLUVIAL EN LAS AVENIDAS VICTOR LARCO, FÁTIMA Y HÚSARES DE JUNÍN – TRUJILLO- LA LIBERTAD"

JURADO EVALUADOR:

ING. CABANILLAS QUIROZ, Guillermo Juan
PRESIDENTE
CIP:17902

ING. GARCIA RIVERA, Juan Pablo
SECRETARIO
CIP:68614

ING. HENRIQUEZ ULLOA, Juan Paul
VOCAL
CIP:118101

ASESOR:

ING. SAGASTEGUI PLASENCIA, Fidel
ASESOR
CIP: 32720

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTO | iv |
| RESUMEN | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| PRESENTACIÓN..... | vii |
| ÍNDICE | ix |
| INDICE DE TABLAS..... | xii |
| INDICE DE FIGURAS | xiii |
| 1. I. INTRODUCCION | 1 |
| 1.1. Problema de Investigación:..... | 1 |
| 1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática..... | 1 |
| 1.1.2. Descripción del Problema..... | 4 |
| 1.1.3. Formulación del problema | 4 |
| 1.2. Objetivos de la Investigación..... | 4 |
| 1.2.1. Objetivo General | 4 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 4 |
| 1.3. Justificación del Estudio | 5 |
| 2. II. MARCO DE REFERENCIA | 6 |
| 2.1. Antecedentes de estudio..... | 6 |
| 2.1.1. Antecedentes Locales:..... | 6 |
| 2.1.2. Antecedentes Nacionales: | 6 |
| 2.1.3. Antecedentes Internacionales:..... | 8 |
| 2.2. Marco teórico..... | 10 |
| 2.2.1. Hidrología | 10 |
| 2.2.2. Hidráulica | 22 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.2.3. | Fenómeno del Niño Costero | 24 |
| 2.2.4. | Información Básica Necesaria:..... | 24 |
| 2.2.5. | Cálculo de caudales de escurrimiento | 24 |
| 2.2.6. | Alcantarillado | 27 |
| 2.2.7. | Sistema de Alcantarillado Pluvial..... | 28 |
| 2.2.8. | Topografía | 32 |
| 2.2.9. | IILA SENAMHI – UNI 1983 | 40 |
| 2.2.10. | Software HydroIILA | 41 |
| 2.2.11. | Software SWMM v.5.1..... | 42 |
| 2.2.12. | Sistemas De Información Geográfica | 45 |
| 2.3. | Marco Conceptual | 48 |
| 2.4. | Hipótesis | 54 |
| 2.5. | Variables | 54 |
| 2.5.1. | Variable dependiente..... | 54 |
| 2.5.2. | Variable independiente | 54 |
| 2.5.3. | Cuadro de operacionalización de variables | 54 |
| 3. | METODOLOGIA EMPLEADA | 56 |
| 3.1. | Tipo y nivel de investigación | 56 |
| 3.1.1. | Tipo de Investigación | 56 |
| 3.1.2. | Nivel de investigación | 56 |
| 3.2. | Descripción del Área de Estudio: | 56 |
| 3.2.1. | Ubicación: | 56 |
| 3.3. | Población y muestra de estudio | 57 |
| 3.3.1. | Población | 57 |
| 3.3.2. | Muestra..... | 57 |
| 3.4. | Diseño de investigación | 57 |
| 3.5. | Técnicas e instrumentos de investigación | 57 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.6. | Procesamiento y análisis de datos..... | 58 |
| 3.6.1. | Topografía:..... | 58 |
| 3.6.2. | Modelo hidrológico..... | 61 |
| 3.6.3. | Propuesta del sistema urbano pluvial | 71 |
| 3.6.4. | Modelamiento en SWMM..... | 77 |
| 4. | IV. PRESENTACION DE RESULTADOS..... | 90 |
| 4.1. | Propuesta de Investigación..... | 90 |
| 4.2. | Análisis e Interpretación de Resultados | 90 |
| 4.2.1. | Sub cuencas..... | 91 |
| 4.2.2. | Buzones..... | 95 |
| 4.2.3. | Tuberías..... | 98 |
| 4.2.4. | Salidas | 103 |
| 4.2.5. | Perfil del nivel de agua de los sub-sistemas..... | 103 |
| 4.2.6. | SECCION TIPO | 121 |
| 5. | V. DISCUSION DE RESULTADOS | 122 |
| | CONCLUSIONES | 122 |
| | RECOMENDACIONES | 124 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 125 |
| | ANEXOS | 127 |

INDICE DE TABLAS

CAPITULO II

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1 Coeficientes de rugosidad..... | 23 |
| Tabla 2.2 Variable Dependiente..... | 54 |
| Tabla 2.3 Variable dependiente | 55 |

CAPITULO III

| | |
|--|----|
| Tabla 3.1 Datos históricos pluviométricos..... | 62 |
| Tabla 3.2 Intensidad y altura de precipitación generada por HidroLLA..... | 65 |
| Tabla 3.3 Datos de la intensidad adaptados | 68 |
| Tabla 3.4 Desagregado de lluvia de proyecto..... | 70 |
| Tabla 3.5 Características de las sub-cuencas | 72 |
| Tabla 3.6 Características de los buzones | 74 |
| Tabla 3.7 Características de las tuberías del sistema propuesto..... | 76 |

CAPITULO IV

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.1 Resultados hidrológicos de cada sub cuenca urbana pertenecientes del sub sistema de la izquierda..... | 91 |
| Tabla 4.2 Resultados hidrológicos de cada sub cuenca urbana pertenecientes al sub sistema de la derecha..... | 92 |
| Tabla 4.3 Hora de ocurrencia de los tirantes máximos en los buzones del subsistema de la izquierda..... | 96 |
| Tabla 4.4 Hora de ocurrencia de los tirantes máximos en los buzones | 96 |
| Tabla 4.5 Caudal máximo que pasa por los buzones, con su respectiva hora de ocurrencia del sub sistema de la izquierda | 97 |
| Tabla 4.6 Caudal máximo que pasa por los buzones, con su respectiva hora de ocurrencia del sub sistema de la derecha Fuente: propia | 98 |
| Tabla 4.7 Caudal máximo que pasa por las tuberías, del sub sistema de la derecha | 99 |
| Tabla 4.8 Caudal máximo que pasa por las tuberías, del sub sistema de la izquierda..... | 99 |
| Tabla 4.9 Resultados de la descarga de lo sub sistemas. | 103 |

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1 Puntos críticos de inundación..... 3

Figura 1.2 Población afectada 3

CAPÍTULO II

Figura 2.1 Ciclo hidrológico. 12

Figura 2.2 1 litro de agua en 1 m²..... 14

Figura 2.3 Tipos de Cuencas..... 15

Figura 2.4 Balance de energía 18

Figura 2.5 Infiltración de la sección transversal de un suelo 19

Figura 2.6 Sección esquemática del agua subterránea..... 21

Figura 2.7 Sistema de Alcantarillado Pluvial..... 27

Figura 2.8 Sistemas de Alcantarillado Combinado 28

Figura 2.9 Tipo de sumideros pluviales. 29

Figura 2.10 Trazo de una red de alcantarillado 29

Figura 2.11 Secciones transversales de conductos cerrados..... 30

Figura 2.12 Secciones transversales de conductos abiertos..... 30

Figura 2.13 Ejemplo de cinta cada 25 metros 35

Figura 2.14 Medición de distancia bajando la pendiente..... 36

Figura 2.15 Medición de distancia subiendo la pendiente 36

Figura 2.16 Línea auxiliar A-B 37

Figura 2.17 Archivo KML proporcionado por el software 42

Figura 2.18 Interfaz del software 42

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Ubicación de la zona de estudio..... 56

Figura 3.2 Cotas de buzón 59

Figura 3.3 Cotas de buzones de desagüe..... 59

Figura 3.4 Archivo .csv con cerca de 300 pts. Del alcantarillado existente 60

Figura 3.5 Puntos del archivo .CSV en programa Civil 3d para post proceso 60

| | |
|---|----|
| Figura 3.6 Triangulación de puntos | 61 |
| Figura 3.7 Parte del plano topográfico..... | 61 |
| Figura 3.8 Interfaz software HidroILLA | 64 |
| Figura 3.9 Curva intensidad duración..... | 66 |
| Figura 3.10 Hietograma generado por la metodología IILA SENAMHI UNI..... | 67 |
| Figura 3.11 Comparación de curvas Intensidad Duración | 69 |
| Figura 3.12 Hietograma de proyecto | 71 |
| Figura 3.13 Delimitación de sub cuencas urbanas | 73 |
| Figura 3.14 Ubicación de buzones en Qgis | 75 |
| Figura 3.15 Trazo de tuberías en Qgis | 77 |
| Figura 3.16 Elección de las unidades a trabajar..... | 79 |
| Figura 3.17 Configurando el Offsets | 79 |
| Figura 3.18 Elección de Auto-Length: off | 80 |
| Figura 3.19 Configuración predeterminada | 81 |
| Figura 3.20 Configurando Etiquetas | 81 |
| Figura 3.21 Configuración predeterminada de cuencas | 82 |
| Figura 3.22 Configuración predeterminada de buzones y tuberías. | 82 |
| Figura 3.23 Insertando datos hidrológicos al software SWMM..... | 83 |
| Figura 3.24 Configuración de la lluvia, elección de la onda dinámica y elección del modelo de infiltración | 84 |
| Figura 3.25 Configuración del tiempo de duración de lluvia | 84 |
| Figura 3.26 Configuración de duración del intervalo de tiempo durante el calculo | 85 |
| Figura 3.27 Configuración de la onda dinámica | 85 |
| Figura 3.28 Modelado de buzones | 86 |
| Figura 3.29 Modelado de las tuberías de buzón a buzón..... | 87 |
| Figura 3.30 Imagen obtenida de SasPlanet en formato .W para utilizarla en el SWMM | 87 |
| Figura 3.31 Modelado de sub cuenca urbanas en SWMM..... | 88 |
| Figura 3.32 Resumen de todo el modelado con sus características | 89 |
| CAPÍTULO IV | |
| Figura 4.1 Calculo del programa SWMM mostrando los errores de continuidad que son aceptables | 90 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.2 Cuencas con resultados a los 75 minutos con su respectiva escala de colores..... | 93 |
| Figura 4.3 Cuencas con resultados a los 80 minutos con su respectiva escala de colores..... | 93 |
| Figura 4.4 Cuencas con resultados a los 85 minutos con su respectiva escala de colores..... | 94 |
| Figura 4.5 Cuencas con resultados a los 90 minutos con su respectiva escala de colores..... | 94 |
| Figura 4.6 Cuencas con resultados a los 95 minutos con su respectiva escala de colores..... | 95 |
| Figura 4.7 Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 30 minutos con su respectiva escala de colores | 100 |
| Figura 4.8 Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 60 minutos con su respectiva escala de colores | 101 |
| Figura 4.9 Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 90 minutos con su respectiva escala de colores | 101 |
| Figura 4.10 Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 120 minutos con su respectiva escala de colores..... | 102 |
| Figura 4.11 Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 150 minutos con su respectiva escala de colores..... | 102 |
| Figura 4.12 Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 104 |
| Figura 4.13 Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 104 |
| Figura 4.14 Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 105 |
| Figura 4.15 Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema | 105 |
| Figura 4.16 Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 106 |
| Figura 4.17 Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 107 |
| Figura 4.18 Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 107 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.19 Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 108 |
| Figura 4.20 Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 108 |
| Figura 4.21 Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 109 |
| Figura 4.22 Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 110 |
| Figura 4.23 Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 110 |
| Figura 4.24 Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 111 |
| Figura 4.25 Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 111 |
| Figura 4.26 Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 112 |
| Figura 4.27 Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 113 |
| Figura 4.28 Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 113 |
| Figura 4.29 Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 114 |
| Figura 4.30 Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 114 |
| Figura 4.31 Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 115 |
| Figura 4.32 Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 116 |
| Figura 4.33 Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 116 |
| Figura 4.34 Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 117 |
| Figura 4.35 Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 117 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.36 Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 118 |
| Figura 4.37 Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 119 |
| Figura 4.38 Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 119 |
| Figura 4.39 Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 120 |
| Figura 4.40 Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 120 |
| Figura 4.41 Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema. | 121 |
| Figura 4.42 Sección Tipo..... | 121 |

I. INTRODUCCION

1.1. Problema de Investigación:

1.1.1. Descripción de la Realidad Problemática.

Actualmente alrededor del mundo se pueden percibir las repercusiones del cambio climático ocasionado por la contaminación ambiental, en algunas zonas del mundo se presentan sequías que afectan notablemente a la agricultura de una sociedad como, por ejemplo: “Cabo, Sudáfrica, una ciudad de casi cuatro millones de habitantes, se ha enfrentado a tres años de sequía durante los cuales las lluvias de invierno no se materializaron” (Hughes, 2019)

También se ha visto un incremento de precipitaciones que pueden llegar a ser mortales como, por ejemplo: “Resistencia, capital de la provincia del Chaco, en Argentina, batieron récord de lluvias con 556,8 milímetros en este caso. Centenares de vecinos tuvieron que ser evacuados, ya que entre el 40% y el 50% de la localidad acabó inundada” (Gozzer, 2019). Es por ello que las ciudades se ven obligadas a buscar solución a estos cambios climáticos para disminuir los riesgos que presentan para la sociedad.

“Fenómeno el niño” o “El niño” o “Fenómeno el niño” o “El niño costero”, “La niña costera” o “El niño en el pacífico central” o “La niña en el pacífico central”, estos cuatro últimos términos acuñados en el 2012 por la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno del niño(ENFEN), crean confusión entre la gente, quienes simplemente utilizan el término que se les haga más familiar, cabe precisar que existe diferencia entre ellos. (Martínez y Takahashi, 2017)

En el Perú, de acuerdo a lo informado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú(SEMANHI), en la época de verano generalmente entre los meses de diciembre y marzo se presenta un aumento de precipitaciones y esto puede llevar al aumento de intensidad por la llegada de “El Niño Costero” pasando de moderada a fuerte. (Rocha, 2011)

A todo esto, se suma que la concurrencia del “El niño costero” no es cíclica ni periódica, son estocásticos, es decir ocurren en cualquier momento, a veces en intervalos muy grandes y otros en muy cortos. Por lo tanto, es de suma importancia contar con un sistema que nos permita enfrentar dicho fenómeno o al menos mitigarlo.

En esta investigación nos enfocaremos en la ciudad de Trujillo la cual presenta precipitaciones que tienen como influencia de “El niño costero” que se dan en el norte del Perú, este tipo de precipitaciones, como se ha visto en el “El niño costero” de 2017 donde según el plan de contingencia, SEDALIB (2017) graficó la:

Ubicación de 38 puntos críticos, áreas afectadas por la acumulación de las aguas de lluvia, debido a no contar con un sistema de drenaje pluvial y mal uso del sistema de alcantarillado para evacuar estas aguas y sedimentos mediante la apertura de buzones por parte de la población, que en conjunto con los residuos sólidos estancados por la falta de mantenimiento y por su antigüedad del sistema hacen que el servicio colapse. (pág. 5)

Dichos puntos se muestran en la Figura 1.1 ocasionando que afecte a la sociedad trujillana como se observa en la Figura 1.2

En ese sentido el gobierno central en coordinación de los gobiernos locales en su afán de hacer frente a este problema se hizo la contratación de la consultoría para la “Elaboración del plan maestro y estudios de pre inversión del perfil del proyecto de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Trujillo-La Libertad” (Plan Maestro) sin embargo, cuando se empezó esta investigación dicho plan estaba en desarrollo, consecuentemente no se toma en cuenta el mencionado plan maestro.

Figura 1.1

Puntos críticos de inundación



Fuente: Plan de contingencia SEDALIB(2017)

Figura 1.2

Población afectada



Fuente: Perú 21(2017)

1.1.2. Descripción del Problema

La zona de estudio se ubica en la unión de las avenidas Víctor Larco, Fátima y Húsares de Junín, las cuales se inundaron en el 2017 por la llegada de El Niño Costero siendo un sector de la zona urbana afectada y está ubicada en el lado sur oeste de la ciudad de Trujillo, su altura es 35 mts sobre el nivel del mar (msnm); está ubicada en el distrito de Trujillo, en la Región La Libertad. (DEMETRU, 2003)

Por todo lo expuesto anteriormente, se cree conveniente desarrollar el proyecto “Diseño de un sistema de drenaje urbano pluvial en las avenidas Víctor Larco, Fátima y Húsares de Junín – Trujillo – La Libertad” a fin de determinar la influencia entre el caudal generado por las precipitaciones en épocas de el niño costero y el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano.

1.1.3. Formulación del problema

¿De qué manera la determinación del caudal influye en el diseño del sistema de drenaje pluvial urbano en las avenidas Víctor Larco, Fátima y Húsares de Junín?

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Determinar el diámetro correcto de las tuberías del sistema de drenaje urbano pluvial para las avenidas Víctor Larco Herrera, Fátima y Húsares De Junín – Trujillo – La Libertad, en consecuencia conocer el volumen de agua captado por dicho sistema.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Proponer el sistema de drenaje urbano pluvial.
- Determinar la topografía de la zona de estudio.
- Delimitar las sub cuencas urbanas de acuerdo a la topografía del terreno.
- Determinar el modelo hidrológico para el posterior procesado.
- Modelar y diseñar hidráulicamente el sistema de drenaje urbano pluvial.
- Presentar planos del sistema de drenaje urbano pluvial.

1.3. Justificación del Estudio

El propósito de la presente investigación es aportar al entendimiento de la dinámica pluvial urbana y a manera de ejemplo proponer un sistema de alcantarillado pluvial urbano para épocas de la llegada del fenómeno del niño costero, para que se pueda en el futuro acoplar al plan maestro, es decir, descargar de sus aguas en un colector principal, esto debido a que no se conoce hasta el momento la propuesta de dicho plan maestro.

Esta investigación se enfocó en diseñar un sistema de drenaje urbano pluvial en las avenidas Víctor Larco, Fátima y Húsares de Junín – Del distrito de Trujillo – Provincia de Trujillo – Departamento de La Libertad, ya que no existe antecedentes locales en sistemas de drenaje urbano pluvial y el plan maestro está en desarrollo,

Según la norma peruana OS 060 (2006) hace referencia a que toda nueva habilitación urbana ubicada en localidades en donde se produzcan precipitaciones frecuentes con lluvias iguales o mayores a 10 mm en 24 horas, deberá contar en forma obligatoria con un sistema de alcantarillado pluvial, puesto que en Trujillo el pasado 17 de marzo de 2017 llovió 27.2 mm en 24 horas dato obtenido del SENAMHI siendo esta precipitación acumulada durante 1 día la más significativa de los últimos años para así poder elaborar nuestro modelo hidrológico, además la norma también hace referencia que la entidad prestadora de servicios o gobiernos locales podrá exigir el sistema de drenaje pluvial en localidades que no reúnan las exigencias antes mencionadas por consideraciones técnicas específicas y de acuerdo a las condiciones existentes.

La importancia de este proyecto radica en que nos permitió determinar las dimensiones de las tuberías(diseño) y ubicación de colectores en la zona de estudio y en consecuentemente su pudo calcular el volumen captado por el sistema de drenaje urbano pluvial, además generar un antecedente el cual podrá ser tomado en futuros estudios como por ejemplo para la elaboración de expedientes técnicos de zonas específicas para que puedan acoplarse al plan maestro.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes Locales:

Hasta el momento no se han realizado investigaciones similares en la localidad a estudiar.

2.1.2. Antecedentes Nacionales:

Lima M. y Quispe L. (2018) en su investigación “EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES APLICANDO TECNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN LA LOCALIDAD DE ALTO LIBERTAD” proponen evacuar aguas pluviales mediante drenajes urbanos sostenibles, tomando en cuenta el agua captada y el uso que se le dará, por lo que desarrollaron la investigación en 9 capítulos que permiten su explicación por etapas, parte de la investigación es la explicación teórica de las metodologías existentes y su fundamentación. Debido a que el objetivo de la investigación es almacenar el agua y se observó que una cisterna no sería suficiente para su almacenamiento, se optó por utilizar pozas o lagunas de captación. El drenaje sostenible que se utilizara se les denomina drenes filtrantes, los cuales son zanjas poco profundas rellenas con piedras, dentro de ellas se colocara una tubería que sirva como transporte de hacia los sistemas de drenaje aguas abajo. Para la modelación del sistema de drenaje se utilizó el programa SWMM debido a que es de licencia libre y se enfoca especialmente a zonas urbanas, con este programa se designaron 8 puntos de descarga donde se observaba estancamiento de agua. Se realizaron 3 modelos principales, el modelo de la situación actual donde el agua escurre por las calles, el modelo de los drenes filtrantes, el modelo del sistema colector pluvial que será utilizado comparación de eficiencia de los drenes filtrantes en el que se modelaran las rejillas, sistema colector y emisor de la red, sin embargo, este último solo se realizó en una zona de la investigación. Los resultados para los 3 modelos fueron favorables ya que en los 3 se retrasa el tiempo en el que se presenta el caudal máximo, asimismo los drenes filtrantes tuvieron un resultado más eficiente disminuyendo el caudal que circula por las calles. Esta investigación nos permite ver nuestra investigación desde un enfoque más ecológico.

Vásquez, R. (2016) en su investigación “DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL URBANO PARA LA URBANIZACIÓN NUEVE DE ABRIL Y SECTOR LOS JARDINES, DISTRITO DE TARAPOTO PROVINCIA Y REGIÓN DE SAN MARTIN” se propuso realizar el diseño hidráulico y estructural, del sistema de alcantarillado pluvial urbano para mejorar el tránsito tanto peatonal y vehicular en la urbanización Nueve de Abril y sector los jardines distrito de Tarapoto para lo cual desarrolló: el levantamiento topográfico de la urbanización Nueve de Abril además del estudio de mecánica de suelos también recopiló información de precipitaciones, calculó caudales provenientes de las subcuentas y realizó el diseño hidráulico y estructural de un canal rectangular por donde discurriría el agua pluvial La investigación llegó a los siguientes resultados: El proyecto se encuentra entre los 317 m.s.n.m. hasta los 269 m.s.n.m. de y es terreno llano con ondulaciones y pendientes moderadas con una pendiente que varía entre 0.11% y 11.73%, en los ensayos de suelos se identificó arenas limosas SM arenas arcillo limosas SC-SM, Arcillas inorgánicas CL, arenas arcillosas SC, con una capacidad portante de 1.00 kg/cm^2 , un peso específico de 1800 kg/m^3 un Angulo de fricción interna de 30° y una cohesión de 0.0 determinando que la sección del canal tendría que ser rectangular y sus dimensiones van variando cada cierto tramo El principal aporte al trabajo de investigación es que pudimos identificar la metodología y criterios para determinar el correcto diseño del alcantarillado urbano pluvial en una urbanización en el distrito de Tarapoto provincia de San Martín.

Flores, G. y Tejada,A. (2017) en su investigación “INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN LA CIUDAD DE CHUQUIBAMBILLA, PROVINCIA DE GRAU - APURIMAC” propusieron realizar el levantamiento topográfico, manipular la información obtenida del levantamiento para confeccionar los planos de curvas de nivel y de detalles para lo cual desarrollaron: El levantamiento topográfico de la zona de interés, estudio hidrológico aplicando métodos estadísticos incluidas pruebas de bondad de ajuste luego calcularon la escorrentía, posteriormente realizaron un estudio de suelos haciendo 2 calicatas una en la av. Benavides y otra en la av. Illaraxsa a 1.50 m. de profundidad finalmente diseñaron el sistema de alcantarillado pluvial. La investigación llegó a los siguientes resultados: planos topográficos con 1 m. de equidistancia entre curvas de nivel también determinaron que el mejor ajuste probabilístico fue para la

distribución Log Pearson tipo III con un delta de 0.1118, obteniendo precipitaciones de 38.88 mm. 51.48 mm. y 55.05 mm. para periodos de retorno de 2, 10 y 20 años respectivamente además determinaron el caudal de 5 calles y 1 pasaje mediante la fórmula racional para los cuales calcularon el coeficiente de escorrentía, el Área(ha) de las sub-cuencas y tiempo de concentración y la intensidad a partir de las curvas IDF, para el estudio de suelos la primera calicata fue grava (GC) según clasificación SUCS y suelo material de piedra y grava A-1-b (0) según clasificación ASSHTO para la segunda calicata encontraron suelo fino (CL) según SUCS y suelo material de limo arcilloso A-4(5) según ASSHTO, finalmente obtuvieron las dimensiones de los conductos cerrados de 24" en las calles Benavides, Illaraxsa y Circunvalación, además obtuvieron las dimensiones de conductos abiertos de tipo rectangular de 0.40x0.50 m. para las calles Tancarpatá y Francisco Valdivia, los colectores serán estructuras abiertas de concreto tipo triangular de 0.30x0.20 m. El principal aporte al trabajo de investigación es que nos muestra de manera clara cómo se desarrolla un sistema de drenaje pluvial y la metodología empleada.

2.1.3. Antecedentes Internacionales:

García, Y. ; Montoya, N. y Rodríguez, D. en su investigación "DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO LA CONCEPCIÓN MASAYA-NICARAGUA" se propuso diseñar el sistema de drenaje pluvial para el casco urbano del municipio de La Concepción-Masaya para lo cual desarrollaron: una encuesta socioeconómica (pag.44), visitas in-situ para recopilar datos y hacer una evaluación del estado físico y estructural del drenaje pluvial existente luego procesaron los datos, delimitaron y subdividieron a la cuenca, calcularon el caudal que aporta la cuenca mediante el método racional y algunos cálculos hidráulicos para la obtención de las dimensiones de las cunetas (pag.76) y un canal trapezoidal finalmente estimaron el costo y el tiempo de ejecución de la obra La investigación llegó a los siguientes resultados: La calle principal donde está la zona más afectada tiene una pendiente promedio de 2.26% y una longitud de 1022.00 m y 420 m de cuneta se encuentran en mal estado y el segundo tramo más afectado tiene 934 m del cual el 63.30% de cunetas están en regular estado. El caudal calculado que aporta la cuenca al área urbana es de 4.623 m³/s y el caudal propio del casco urbano es de 1.033 m³/s, sumando 5.656 m³/s. Su diseño propone 31 pozos de vista pluvial, 76 tragantes combinados y tuberías

de 15", 24", 30", 42" y 48". El diámetro para las tuberías de los tragantes a los pozos de vista serían de 8", 12", 15" y 4 rejillas que servirían de colectoras, todo este sistema trabajaría por gravedad, además propusieron un canal de sección trapezoidal con un ancho en el fondo de 1.30m en 60 m después de este tramo será 1.20m de ancho de fondo hasta empatar con dos alcantarillas de 0.61m de diámetros hasta 290m de canal finalmente el costo estimado fue de 18 688 525.91 millones de córdobas que son un 1 889 367.80 millones de soles aproximadamente y el tiempo de ejecución de 248 días calendarios, El principal aporte al trabajo de investigación es entender los criterios y metodologías utilizadas en extranjero y poder analizar nuestra realidad local y tratar de mejorar la calidad de vida de los beneficiarios.

Martínez,G. (2013) en su investigación "SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE "SUDS" COMO ALTERNATIVA DE CONTROL Y REGULACIÓN DE LAS AGUAS LLUVIAS EN LA CIUDAD DE PALMIRA" proponen una alternativa no convencional para el control y regulación de las precipitaciones de un proyecto urbanístico en la ciudad de Palmira de Colombia. Para esta investigación se realizó un estudio previo y recolección de datos que les permitirán generar los caudales a utilizar, con esta información se puede hallar el volumen del estanque, el cual tiene la función de reducir el caudal máximo aguas abajo. Posteriormente se realiza el modelamiento. Consecuentemente se llegó los siguientes resultados: para un área total de $52000m^2$ y un periodo de retorno de 25 años, se colocaron 13 conductos en los cuales se calculó el caudal máximo, los canales serán de pasto lo cual trae múltiples ventajas entre ellas reducir las velocidades y disminuir la erosión. La cámara de descarga conectada a la tubería Dn250mm (10"), tiene una altura de 0.6 metros y corresponde al umbral de descarga para un periodo de retorno de 1:5 años, esta provista para tener volúmenes de agua mayores al tamaño de la cámara, cuenta con un orificio en la parte frontal que incluye una rejilla para impedir el paso de residuos, este orificio permite el vaciado completo del estanque. El principal aporte al trabajo de investigación es que nos permite conocer métodos para drenaje urbano poco convencionales, pero utilizando los criterios básicos para su modelamiento.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Hidrología

2.2.1.1. Historia.

Los conceptos abstractos que se tenía de la hidrología los podemos ver presente desde la antigüedad donde civilizaciones antiguas que se desarrollaron antes de cristo, ya construían sus sistemas para salvaguardar sus vidas de las lluvias y direccionar las mismas, además crear embalses para tener resiliencia en las sequías.

Pensadores como Homero, Tales de Mileto, Platón, Aristóteles, Séneca ya especulaban acerca del recorrido del agua, pero Anaxagoras de Clazomene tuvo una idea más clara pero primitiva del ciclo hidrológico, más tarde Teofrastró fue el que explicó de una manera lógica acerca de la formación de las precipitaciones por medio de la condensación y el congelamiento. (Chow, 1964)

Conforme ha pasado el tiempo fueron mejorando los conceptos, agregando nuevas ideas, nuevas teorías. Aparicio (1992) dice:

Aparentemente le correspondió a Pierre Perrault el gran mérito de demostrar con evaluaciones cuantitativas en su libro *De 'origine des fontaines*, publicado en 1674, que las precipitaciones y las nevadas son la causa del flujo en los ríos, con lo cual marcó la pauta para el reconocimiento universal del ciclo hidrológico en su interpretación moderna. Lo anterior justificó la decisión de aceptar la obra de Pierre Perrault como principio de la hidrología científica y de celebrar su tricentenario en 1974. (pág. 16)

A lo largo del siglo XVII se puede decir que se desarrollaron elementos casi necesarios para dar inicio a la Hidrología, pero sin ser considerada como una ciencia específica, después en los siglos XVIII, XIX y XX ya fue desarrollándose con más fuerza, con representantes como Bernoulli, Chezy, Darcy, Manning, entre otros. (Aparicio, 1992)

La hidrología desarrollada en el siglo XX estudió muchos aspectos, la literatura generalmente abarca los temas de ciclo hidrológico, cuencas hidrográficas, precipitaciones, evaporación, almacenamiento, infiltración, relación entre lluvia y

escorrentía, agua subterránea, sedimentación y Estadística es decir probabilidad en la hidrología.

Actualmente la hidrología, con el desarrollo de las computadoras ha podido desarrollar y probar ideas que sólo eran teorías, gracias a esto se está dando pasos agigantados, por ejemplo, la aplicación de Machine Learning que es una rama de la Inteligencia artificial, la cual tiene diferentes aplicaciones, como la que se ha visto en Shanghai donde aplicaron Machine Learning para poder generar el diseño urbano pluvial identificando tipologías de la ciudad para generar la mejor solución posible.

Finalmente es necesario comentar que la hidrología está presente en casi todas las ramas de la ingeniería civil y que ha ganado más adeptos en los últimos años, está presente, por ejemplo cuando se requiere una central hidroeléctrica, cuando se necesita información para poder diseñar geométricamente una carretera teniendo en cuenta posibles desbordes en máximas avenidas, para el abastecimiento de agua para una población, para el diseño de un puente, para poder generar diseños pluviales urbanos, para diseñar canales, diseñar bocatomas, sifones, enrocados, gaviones, etc.

2.2.1.2. Ciclo Hidrológico.

Es un término fundamental de la hidrología la cual se encarga de su estudio del agua en todas sus fases, el ciclo hidrológico es literalmente un círculo ya que no tiene un inicio o un final definido, por eso podríamos decir que empieza con la con la precipitación de partículas de agua, esto debido a que llegan a tener una masa necesaria con las condiciones correctas, en consecuencia, se precipitan.

Una vez en la superficie con la cantidad de gotas de agua acumuladas podrían asociarse y formar cuerpos lénticos y cuerpos lóticos estos últimos con la pendiente necesaria llegan en su mayoría al mar, ya sea como agua superficial forma ríos, arroyos o de manera sub superficial como acuíferos.

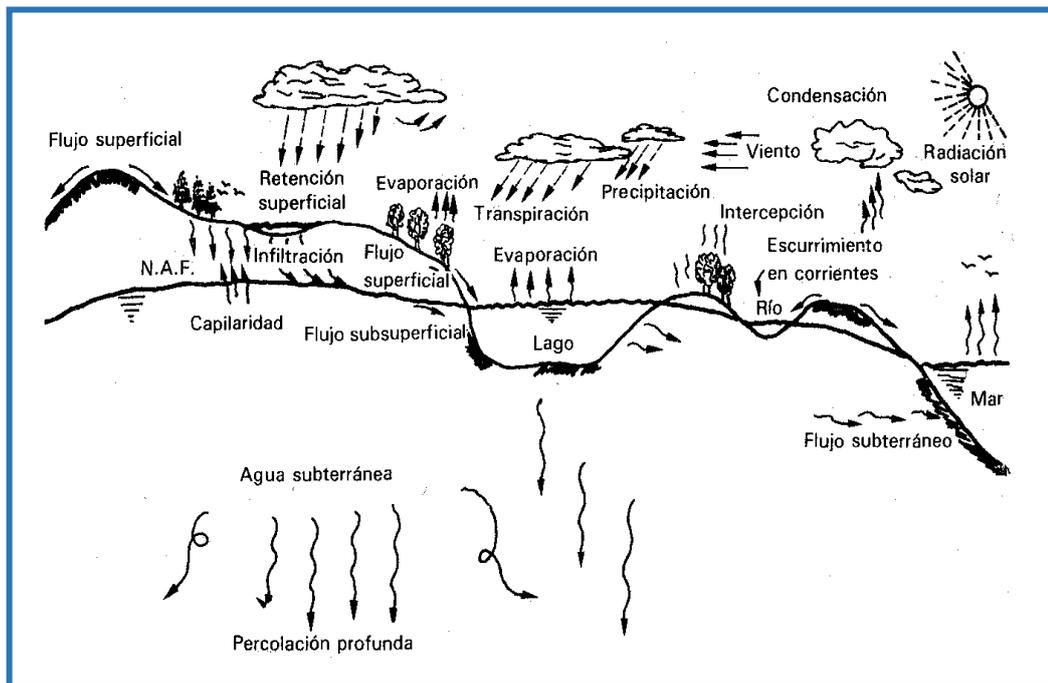
En una precipitación siempre existen pérdidas, las cuales se dan principalmente por 4 motivos, el primero es la interceptación de la precipitación que sucede por la presencia de árboles, edificios, etc. La segunda es por la evaporación que se da

gracias cambio de temperatura la cual hace que al agua superficial y la subterránea se evapore además del proceso de evapotranspiración, el tercero es la infiltración que depende del tipo de suelo, ya sea si es permeable o impermeable, y sí es este último con las condiciones de topografía sucedería la cuarta pérdida que es el encharcamiento.

Centrándonos en la evaporación y evapotranspiración hacen que las moléculas del agua se condensen y estando en estado gaseoso se conviertan en estado líquido que posteriormente vuelven a caer completando así el ciclo hidrológico, el cual se visualiza mejor en la Figura 2.1

Figura 2.1

Ciclo hidrológico.



Fuente: Aparicio (1992)

2.2.1.3. Precipitación.

Las características de una precipitación se dan principalmente por los factores climatológicos las cuales son afectadas como por ejemplo por el hielo, la nieve, el viento, la temperatura, la humedad y la evapotranspiración de las plantas. Entonces la meteorología juega un rol muy importante sobre el clima y esta a su vez sobre las precipitaciones. “La radiación solar es la fuente principal de energía de nuestro planeta y determina sus características climatológicas. Tanto la tierra como el sol irradian energía como cuerpos negros”. (Linsley, et al, 1977)

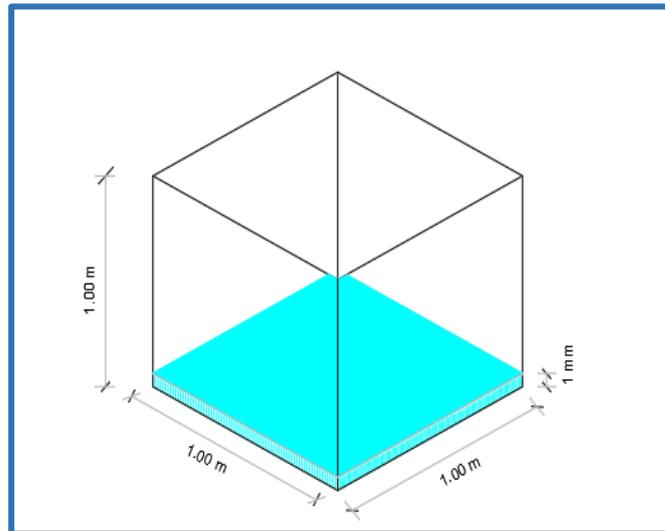
La precipitación es la humedad formada a partir de las nubes, la cual se precipita y llega a la capa superficial de la tierra, pudiendo ser según su forma: llovizna, lluvia, Escarcha, Nieve, o Granizo. además, se pueden clasificar como: precipitación de convección, precipitación orográfica y precipitación ciclónica. Para la ingeniería, la precipitación es el punto de partida para sus análisis y posibles soluciones de los problemas que se puedan llegar a originar. (Villón, 2004)

Para poder medir la precipitación, se utiliza principalmente 2 tipos de medidores, el primero es pluviómetro el cual tiene un pequeño inconveniente y es el siguiente, este mide la precipitación acumulada a lo largo de 24 horas, y cuando se extrae y administra la data, estos son números fríos que no nos muestran cómo se comporta lo registrado. El segundo es el pluviógrafo y este es ideal, ya que nos muestra el comportamiento de lo registrado en un gráfico llamado pluviograma, cabe precisar que el pluviógrafo es más caro que el pluviómetro y en muchos casos este es el motivo por el cual se opta por el más barato y se aplican diferentes metodologías para obtener de una manera teórica el desagregado de la precipitación.

La unidad de medida de la precipitación son los mm, para tener una idea más clara imaginemos un cubo de 1 m de lado, el cual su área de una de sus caras es 1 m², ahora pensemos que este cubo tiene 1 mm de precipitación acumulada, esto me representa que mi cubo el cual tiene 1 mm de precipitación equivale a 1 litro de agua. Para una mejor comprensión podemos observar lo mencionado en la Figura 2.2

Figura 2.2

1 m³ con 1 mm de precipitación equivale a 1 litro de agua



Fuente: Propia

2.2.1.4. Cuencas Hidrográficas.

Cuando se producen precipitaciones considerables en algún lugar, estas caen a la superficie terrestre que por lo general generan corrientes que van hacia un punto de salida en común, estas corrientes pueden ir acumulándose dentro de la cuenca, mientras algunas otras van hacia alguna corriente principal que por lo general terminan en el mar.

Si hacemos una comparación para poder explicar mejor, una cuenca sería como un recipiente que contiene a la precipitación que van hacia un punto en común, es decir que la corriente tiende ir hacia la parte más baja, Cuando se delimita una cuenca se tiene en cuenta el parteaguas que también se lo conoce como *divortium aquarum*, las características físicas de las cuencas son las responsables de la respuesta de las mismas.

Se las puede clasificar según el tamaño, en cuencas grandes o pequeñas, es decir para las primeras predominan las características fisiográficas de la misma, como su pendiente, elevación, área y cauce. Para fines prácticos para algunos autores consideran cuenca grande a las que son mayores a 250 km² en su área, mientras

que considera cuencas pequeñas aquellas que son menores a 250 km² en su área. (Villón, 2004)

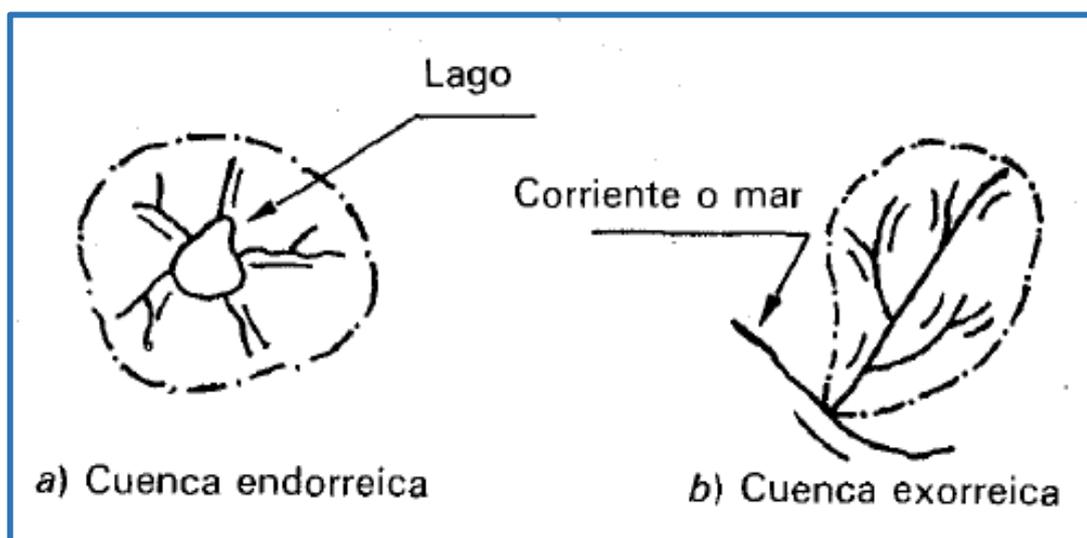
También es necesario comentar que existe cuencas subterráneas las cuales su vista en planta se asemeja a la de la cuenca superficial. Para otros autores la cuenca se clasifica según sus características, tal como se muestra en la Fig. 2.3 Aparicio (1992) sostiene:

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. (pág. 19)

Finalmente cabe precisar que también existe cuencas urbanas que también tienen las características antes mencionadas, pero se centran en las ciudades las cuales han ido teniendo explosión demográfica a través del tiempo y esto lleva a construir ciudades más extensas, que se pueden ver afectados con precipitaciones anómalas.

Figura 2.3

Tipos de Cuencas



Fuente: Aparicio (1992)

2.2.1.5. Esguurrimiento.

Cuando la precipitación cae a la superficie y se va acumulando esta se infiltra en la parte permeable, la cual en cierto momento se satura, a la vez en la superficie se encharca en la parte impermeable con depresión, luego todo va escurriendo hasta un punto de salida con cota más baja, esto desde un punto de vista general.

Para poder cuantificar y estimar cuanto caudal es el que escurre se tiene que tener en cuenta diferentes aspectos, y características de la cuenca, en primer lugar, se tiene que tener data histórica es decir los registros de los acontecimientos meteorológicos proporcionados por algunas entidades oficiales, este caso de Perú existe 2 principales el SANMHI y ANA, después obtenidos los datos ordenarlos y completarlos si es necesario aplicando los diferentes métodos estadísticos luego se aplica pruebas de bondad de ajuste como Chi cuadrado o Kolmogorov Smirnov.

Luego con la data completa se hace un modelo hidrológico, es decir se obtiene la curva IDF que es la de intensidad duración frecuencia, la intensidad se mide en mm/h la cual se puede obtener de manera directa si se ha medido el registro con un pluviógrafo de lo contrario se tiene que crear, la duración es el tiempo en que dura la precipitación en acumularse, por último, la frecuencia está asociada al periodo de retorno.

Una de las características principales que se tiene que tener en cuenta es el famoso tiempo de concentración, que es el tiempo que demora en recorrer una gota de agua desde la parte más lejana hasta el punto de salida de la cuenca, es necesario mencionar, que hay que tener en cuenta que el tiempo de concentración se utiliza para cuencas rurales, mientras que para las cuencas urbanas se utiliza el ancho característico.

Para el tiempo de concentración se utiliza diferentes métodos como kirpich, California Culvers Practice, Izzard, Federal Aviation Administration, Ecuaciones de Morgali y Lindsey, por último, la ecuación de retardo del Soil Conservation Service (SCS) que ahora es Natural Resources Conservation Service (NRCS) de los estados unidos.

Por último, para poder obtener el caudal máximo generado también existen diferentes métodos como el de la Formula Racional, Método de Creager, Método del Hidrograma unitario triangular, y el método del Estudio de la Hidrología del Perú, por último, el método del Sistema Dipeo, todas estas para cuencas rurales.

2.2.1.6. Evaporación.

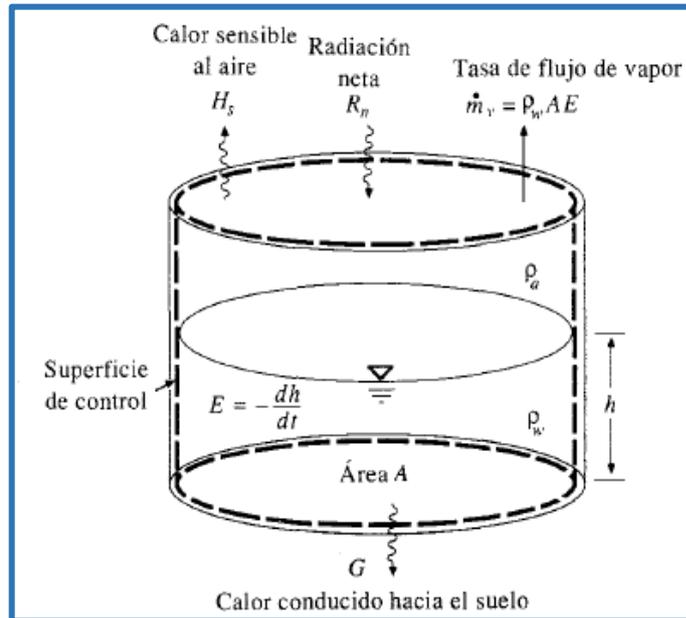
Es el proceso mediante el cual el agua que se encuentra almacenada en la superficie alguna porción encharcada y otra parte infiltrada en capas sub superficiales, pasan del estado líquido y se convierte a estado gaseoso, que después pasa a la atmosfera, además existe el fenómeno de la transpiración que consiste en generar vapor a partir de las plantas que consume el agua del suelo, la combinación de estos 2 fenómenos se la como evapotranspiración. (Aparicio, 1992, pág. 47)

Para otros autores la evaporación es una etapa permanente del ciclo hidrológico, siendo un fenómeno netamente físico. Siendo los principales factores que afectan la evaporación los meteorológicos, como por ejemplo radiación, temperatura del aire, presión de vapor, el viento y presión atmosférica. Para su cálculo se puede utilizar el método Thornthwaite que es aplicable para regiones húmedas. (Villón, 2004, pág. 305)

Los ingenieros civiles muchas veces se centran en la evaporación cuando está diseñando embalses, ya que pretenden evaluar qué cantidad de agua se pierde, en cambio otras veces se enfoca en la evapotranspiración cuando se trata de sistemas de irrigación, además el ingeniero puede calcular la evaporación total de una cuenca si lo requiere, para su cálculo también se utiliza el método de balance hídrico cuyo análisis se puede dar a partir de la Figura 2.4

Figura 2.4

Balance de energía



Fuente: Vente Chow (Pág. 83)

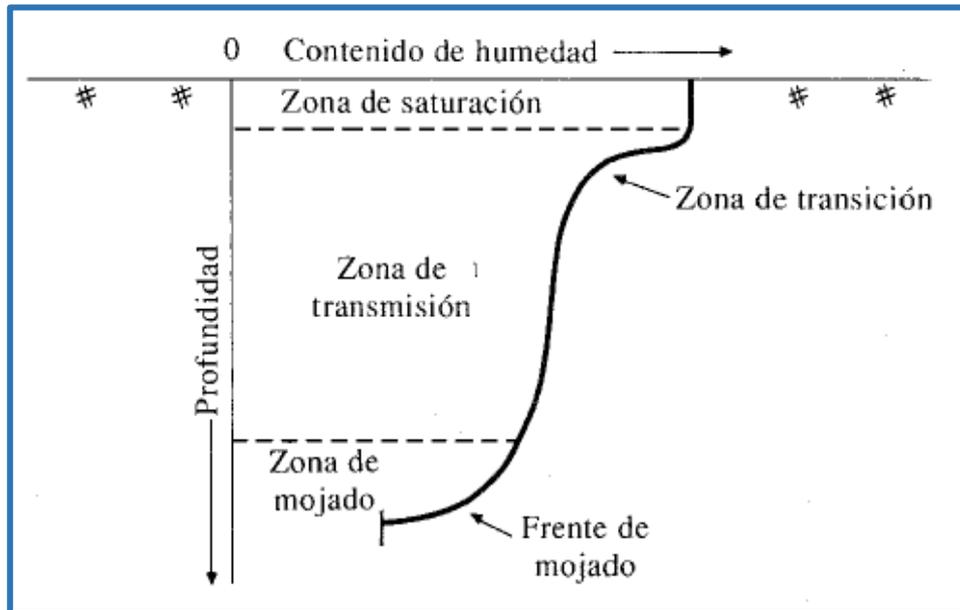
2.2.1.7. Infiltración.

Es el proceso en el cual el agua generada por las precipitaciones penetra desde la superficie terrestre hacia el suelo, la infiltración depende mucho de las características de la superficie, si hay o no vegetación, además depende de las propiedades físico mecánicas del suelo, es decir si es poroso o no, si sus partículas tienen cohesión o no, si el suelo está saturado o parcialmente Saturado, todo esto es necesario para que se sepa la tasa de infiltración.

Si revisamos la bibliografía Chow (1964) sostiene que: “Existen cuatro zonas de humedad: una zona saturada cerca de la superficie, una zona de transmisión ... una zona de mojado en la cual la humedad decrece con la profundidad y un frente mojado” (pág. 3), tal como se muestra en la Figura 2.5, además existe principalmente 3 métodos para calcular la infiltración que son: Ecuación de Horton, Método de Green-Ampt, y finalmente el más utilizado por su simplicidad el Número de Curva.

Figura 2.5

Infiltración de la sección transversal de un suelo



Fuente: Vente Chow (Pág. 83)

2.2.1.7.1. Curva número.

Es un método que lo desarrolló el Soil Conservation Service (SCS) que ahora es el Natural Resources Conservation Service (NRCS) de los estados unidos, el cual es un método basado en la experiencia, consiste en asignar un valor a una determinada cuenca que va desde 0 a 100, este número elegido está en función de la capacidad de la cuenca en generar escorrentía superficial, esto quiere decir que 0 representa una muy alta permeabilidad, mientras que 100 representa condiciones impermeables. (Villegas, 2017)

2.2.1.8. Relación entre lluvia y escorrentía.

Cuando llueve, todas las precipitaciones tienen pérdidas como la evaporación, interceptación, infiltración y encharcamiento, el remanente se la conoce como lluvia neta y la suma de todo se la llama lluvia bruta, la lluvia neta se convierte en escorrentía conforme transcurre el tiempo y se acumula, para medir esto es un poco complicado, ya sea si se necesita calcular la escorrentía de una cuenca rural

muchas veces los aforos en los ríos son escasos y en las cuencas urbanas es más complicado medir, es por ello que desarrollaron diferentes metodologías.

Entonces a la hora de calcular la esorrentía y revisar textos al respecto, nos muestran los siguientes métodos: El método de las envolventes, la fórmula racional, el método del hidrograma unitario, métodos matriciales. (Aparicio, 1992, pág. 203)

Sin embargo, para cuencas urbanas la norma peruana OS 060 (2006) recomienda la fórmula racional la cual está en función del coeficiente de esorrentía, el área y la intensidad la cual se elige en función al tiempo de concentración, luego de multiplicar estos valores se obtiene el caudal pico.

Es necesario añadir que, para cuencas urbanas, se utiliza el método del reservorio no lineal, el cual utiliza ecuaciones diferenciales para poder obtener resultados en cada instante de tiempo que deseamos, pero para aplicar esta metodología se necesita algún software especializado, como por ejemplo el SWMM el cual requiere algunos datos de entrada para poder calcular la esorrentía.

Los datos que se requiere son datos de las características de la cuenca como área permeable, área impermeable, ancho característico, el comportamiento o desagregado de las precipitaciones, el modelo de infiltración y finalmente la pendiente promedio de la cuenca o sub cuenca urbana.

2.2.1.9. Agua subterránea.

El agua subterránea también forma parte del ciclo hidrológico, la cual se acumula y se puede utilizar dependiendo de las características del agua generalmente se extrae con bombeo para su uso, pasa que cuando se extrae mucha agua, el nivel de la superficie, es decir la cota de terreno va disminuyendo, perjudicando a las personas que viven dentro del área de influencia afectada, esto depende además de las características del suelo.

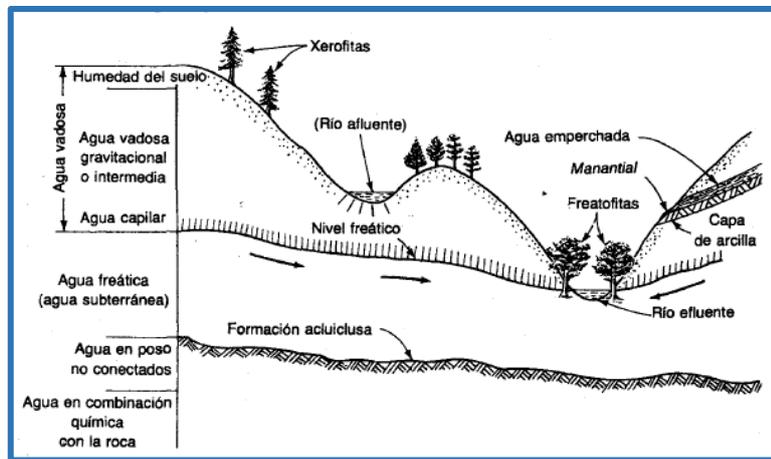
La característica del suelo determina si un suelo es permeable o impermeable lo que quiere decir esto, es que si presentan cohesión es sus partículas del suelo resulta ser arcilloso, siendo poco permeable, por otro lado, si presenta ángulo de

fricción interna y con poca cohesión de partículas resulta ser un suelo arenoso siendo este permeable.

Como se observa en la Figura 2.6 existen ríos, lagos, lagunas en la superficie también existen agua en la capa sub superficial terrestre, que se los conoce como acuíferos otra definición sería es “Una formación geológica que contiene agua y que la transmite de un punto a otro en cantidades suficientes para permitir su desarrollo económico, recibe el nombre de acuífero”. (Linsley, et al, 1977, pág. 163)

Figura 2.6

Sección esquemática del agua subterránea



Fuente: (Linsley, et al, 1977, Pág. 157)

2.2.1.10. Estadística es decir probabilidad en la hidrología.

Cuando se va a proyectar una obra hidráulica se tiene que tener en cuenta el periodo de retorno dependiendo de la importancia de la obra, luego con la data que se tiene de los registros ya sea aforos, pluviómetros o pluviógrafos que muchas veces los datos están incompletos es necesario llenarlos con algunos métodos matemáticos.

Posteriormente a la data completada necesita ser asociada a eventos hidrológicos futuros, que están en relación directa con el periodo de retorno, haciendo esto con métodos matemáticos o físicos los valores se vuelven muy exagerados, es por eso que la hidrología se ayuda del uso de la estadística y probabilidad.

Para su aplicación se utiliza modelos estadísticos que son distribuciones, donde los datos de los registros pretenden ajustarse de la mejor manera posible a dichas distribuciones, se puede apoyar de hojas de cálculo o del software llamado HIDROESTA, finalmente se utiliza pruebas de bondad de ajuste que sirven para ver cuál es la que mejor se ajusta y poder elegirla, las principales distribuciones son:

- Normal
- LogNormal 2 parámetros
- LogNormal 3 parámetros
- Gamma 2 parámetros
- Gamma 3 parámetros
- LogPearson tipo III
- Gumbel
- LogGumbel

2.2.2. Hidráulica

2.2.2.1. Fórmula de Manning

Es la fórmula cuyo uso se halla más extendido en la actualidad. (Rocha, 2011, pág. 265). La cual permite el cálculo para condiciones de flujo permanente, sin embargo, en la realidad entran a tallar más variables las cuales se describen en el flujo no permanente.

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

V= velocidad

n= Coeficiente de rugosidad

R= Radio hidráulico (sección transversal/ perímetro mojado)

S= Pendiente

Los valores del coeficiente de rugosidad son los que se muestran a continuación:

Tabla 2.1*Coeficientes de rugosidad*

| <i>SUPERFICIE</i> | <i>n</i> |
|---------------------------------------|-----------------|
| Superficie metálica, lisa, sin pintar | 0.012 |
| Superficie metálica, lisa, pintada | 0.013 |
| Superficie metálica, corrugada | 0.025 |
| Cemento liso | 0.011 |
| Mortero de cemento | 0.013 |
| Madera cepillada | 0.012 |
| Madera sin cepillar | 0.013 |
| Concreto liso | 0.013 |
| Concreto bien acabado, usado | 0.014 |
| Concreto frotachado | 0.015 |
| Concreto sin terminar | 0.017 |
| Superficie asfáltica lisa | 0.013 |
| Superficie asfáltica rugosa | 0.016 |
| Tierra, limpia, Sección Nueva | 0.018 |
| Tierra, limpia, Sección Nueva | 0.022 |
| Tierra, limpia, Sección Nueva | 0.025 |
| Tierra, limpia, Sección Nueva | 0.027 |
| Tierra, limpia, Sección Nueva | 0.035 |
| Tierra, limpia, Sección Nueva | 0.035 |
| Tierra, limpia, Sección Nueva | 0.040 |
| Metal, liso | 0.010 |
| Acero soldado | 0.012 |
| Acero ribeteado | 0.016 |
| Fierro fundido | 0.013-0.014 |
| Cemento | 0.011-0.013 |
| Vidrio | 0.010 |

Fuente: (Rocha, 2011, pág. 262)

2.2.3. Fenómeno del Niño Costero

El término “El niño” fue introducido científicamente por primera vez en 1892 en El Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima en Perú, a raíz de que en el sur de Paita los lugareños lo llamaban así, pero ocurre que con el pasar del tiempo comienza a utilizarse en la comunidad científica internacional, pero para identificar el calentamiento del mar en el pacífico central y no en las costas peruanas como se refería en el Boletín antes mencionado, en consecuencia existía discrepancia entre la información proveniente de fuera y la generada en nuestro territorio, por este motivo el ENFEN demarco la diferencia entre “El niño costero” para referirse al calentamiento en la costas peruanas y “El niño en el pacifico central” como su nombre lo indica, al calentamiento del mar en el pacífico central. (Martínez y Takahashi, 2017)

“Es un fenómeno climático cíclico que provoca estragos a nivel mundial, siendo las más afectadas América del Sur y las zonas entre Indonesia y Australia, provocando con ello el calentamiento de las aguas sudamericanas.” (SENAHMI, 2014)

2.2.4. Información Básica Necesaria:

Según las Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma peruana OS 060 (2006) se tiene lo siguiente:

Cualquier proyecto de alcantarillado pluvial tiene como obligación tener la siguiente información, la cual deberá ser recolectada en Instituciones oficiales tales como: SENAHMI, Municipalidades, Ministerio de vivienda, entre otros.

- Información Meteorológica.
- Planos Catastrales.
- Planos de Usos de Suelo.

2.2.5. Cálculo de caudales de escurrimiento

Los caudales de escurrimiento pueden ser calculados por los siguientes métodos:

Uno de ellos es el Método Racional, el cual se puede utilizar para áreas de drenaje que no excedan los 13 Km^2

Para áreas mayores de 0.5 Km^2 se podrán usar técnicas de hidrogramas unitarios y para áreas que superen los 13 Km^2

Asimismo, se podrán usar metodologías más complejas según la discreción del diseñador.

2.2.5.1. Método racional

Este método es utilizado en áreas urbanas en la que el área de drenaje está constituida por subareas o subcuencas de diferentes particularidades, el caudal pico se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 0.278 \cdot \sum_{j=1}^m C_j - A_j$$

donde:

Q = Caudal pico (m^3/s)

I= Intensidad de la lluvia de diseño (mm/h)

A_j = Área de drenaje de la j-ésima de las subcuencas (Km^2)

C= Coeficiente de escorrentía para la j-ésima subcuencas

m= Número desubcuencas drenadas por un alcantarillado.

Las subcuencas están compuestas por las entradas o sumideros a los ductos y/o canalizaciones del sistema de drenaje. La cuenca se define como el traslado concluyente de aguas hacia un depósito natural o artificial.

2.2.5.1.1. Coeficiente de Escorrentía

Para seleccionar el valor del coeficiente de escorrentía se debe considerar los efectos de:

- Características de la superficie.
- Tipo de área urbana.
- Condición futura dentro del horizonte de vida del proyecto.
- Intensidad de la lluvia (teniendo en cuenta su tiempo de retorno).
- Pendiente del terreno.

2.2.5.1.2. Intensidad de la Lluvia

La intensidad de lluvia de diseño en un punto del sistema es la intensidad promedio de una lluvia en la que la duración será el tiempo de concentración del área que se drena hacia ese punto y el periodo de retorno está determinado por el diseño de la obra de drenaje.

Es por ello que se utiliza una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y frecuencia semejante al recíproco del periodo de retorno del diseño de obra para utilizar la curva intensidad- duración- frecuencia (IDF).

El tipo de escorrentía superficial presente determina la ecuación idónea para evaluar t_0 .

Asimismo, el tiempo de concentración no debe ser inferior a 10 minutos.

El tiempo de flujo, t_f , se da en la siguiente ecuación:

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

donde:

L_i = Longitud del i -ésimo conducción (ducto o canal) a lo largo del recorrido del flujo.

V_i = Velocidad del flujo en el ducto o canalización.

En cualquier punto de entrada al sistema de ductos y canalizaciones, una ruta sólo tiene tiempo de entrada al sistema de ductos, t_0 . Si existen otras rutas estas tienen tiempos t_0 . y t_f .

2.2.5.1.3. Área de Drenaje

Se establece el tamaño y forma de la cuenca o subcuenca con la utilización de mapas topográficos. Los intervalos entre las curvas de nivel deben ser considerables con el fin de poder distinguir la orientación del flujo superficial.

2.2.5.1.4. Periodo de Retorno

El sistema menor de drenaje se debe diseñar para un periodo de retorno en un rango de 2 y 10 años. El periodo de retorno se encuentra en función de la importancia económica de la urbanización, siendo 2 años para pueblos pequeños. Para el sistema mayor de drenaje se utilizará un periodo de retorno de 25 años.

2.2.6. Alcantarillado

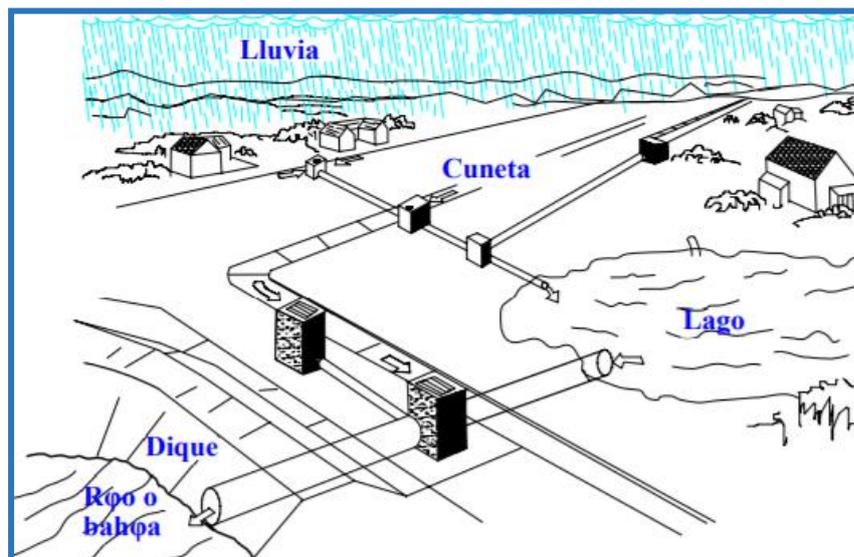
La función más importante es la conducción de aguas residuales y/o pluviales hacia algún área donde no causen daños o inconvenientes a la población aledaña. Se constituyen por una red de conductos e instalaciones que deben permitir la operación, mantenimiento y reparación.

2.2.6.1. Tipos de sistema de alcantarillado

Los sistemas de alcantarillado se clasifican en tres tipos: sanitarios cuando trasladan solo aguas residuales, pluviales cuando transportan exclusivamente aguas del escurrimiento superficial de la lluvia (Figura 2.7), y combinados cuando transportan los dos tipos de aguas (Figura 2.8).

Figura 2.7

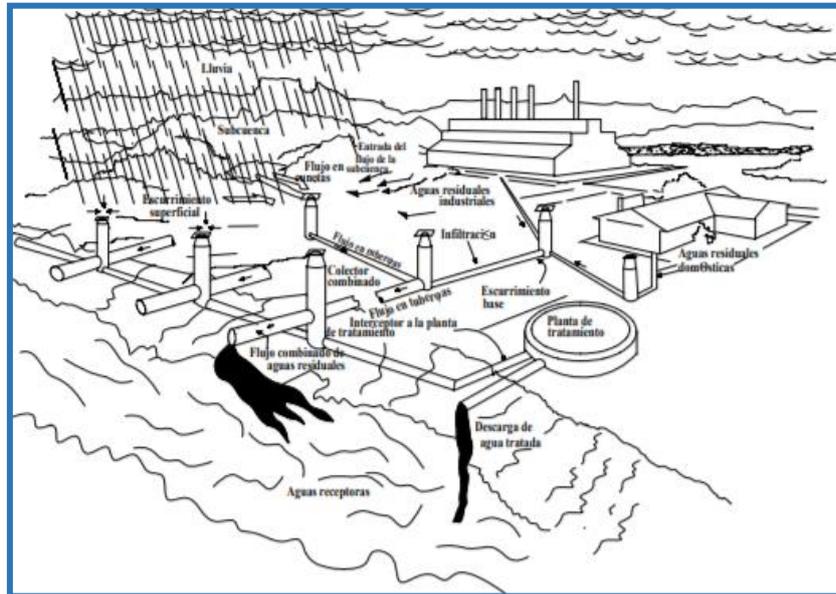
Sistema de Alcantarillado Pluvial



Fuente: ASCE, 1992

Figura 2.8

Sistemas de Alcantarillado Combinado



Fuente: ASCE, 1992

2.2.7. Sistema de Alcantarillado Pluvial

2.2.7.1. Estructuras de Captación:

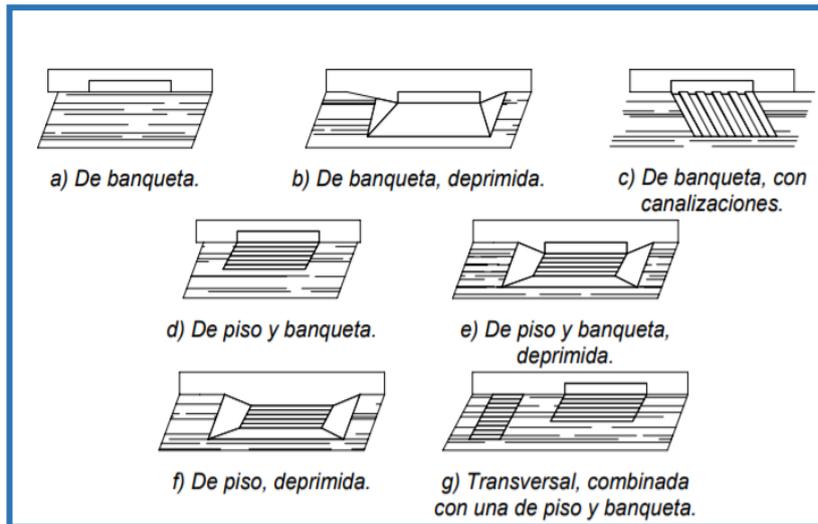
Son estructuras que reúnen el agua que fluye sobre la superficie del terreno. Se componen por una caja que tiene la función de desarenador en la que se filtran las materias pesadas que pueda traer el agua. Asimismo, se les denominan bocas de tormenta y están posicionadas a determinada distancia en calles y puntos bajos donde se pueda almacenar agua.

2.2.7.2. Obras de conducción:

Son las estructuras que llevan aguas recaudadas por las bocas de tormenta hasta el sitio de vertido. Se pueden clasificar según la relevancia del conducto en el sistema de drenaje o según el material y método de construcción del conducto, en la Figura 2.9 se observa los diferentes tipos de sumideros que se puede considerar a la hora de proyectar una obra. En la Figura 2.10 podemos observar como estaría dispuesta una red de alcantarillado, en este caso distribuido uniformemente.

Figura 2.9

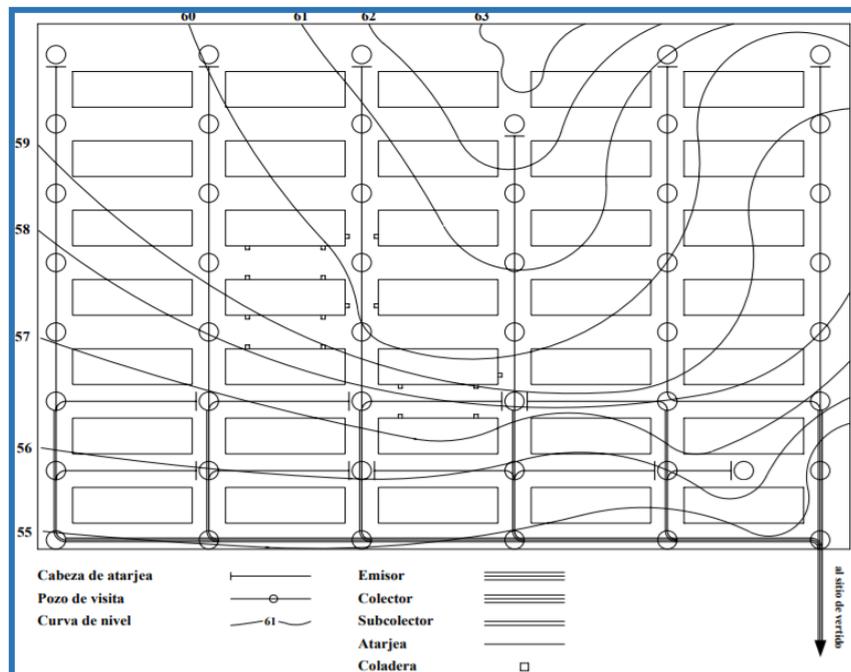
Tipo de sumideros pluviales.



Fuente: ASCE, 1992

Figura 2.10

Trazo de una red de alcantarillado

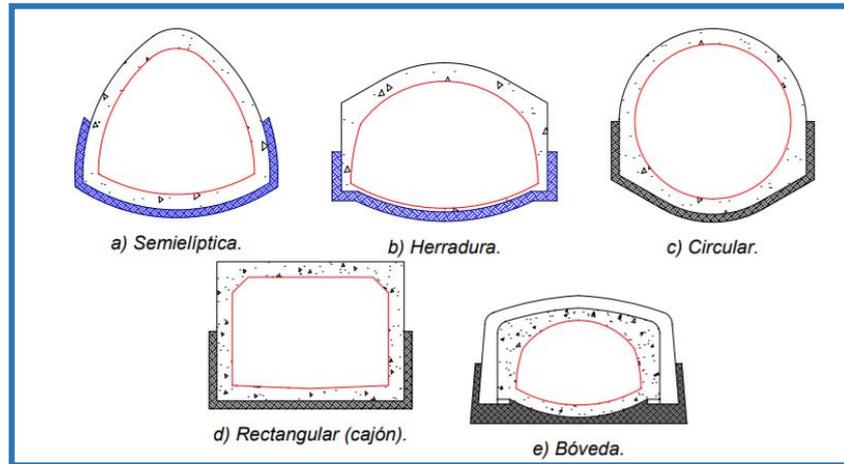


Fuente: ASCE, 1992

En la Fig. 2.11 se presentan las secciones transversales más habituales en conductos cerrados y en la Figura 2.12, a cielo abierto, aunque unas de ellas frecuentan ser combinadas (por ejemplo, triangular y trapecial).

Figura 2.11

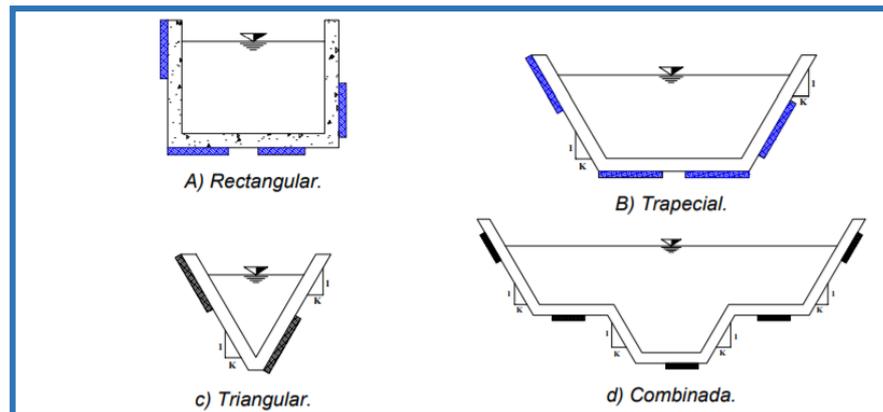
Secciones transversales de conductos cerrados



Fuente: (Comisión Nacional del Agua 2007)

Figura 2.12

Secciones transversales de conductos abiertos



Fuente : (Comisión Nacional del Agua 2007)

2.2.7.3. Estructuras de conexión y mantenimiento:

Son estructuras subterráneas ubicadas hasta el nivel del suelo o pavimento, además deben contar con una tapa. En la parte inferior son de forma cilíndrica y la

parte superior es de tronco cónico, una de sus características es que son lo suficientemente amplias como para que un hombre realice maniobras en el interior con el fin de ejecutar el mantenimiento o inspección de los conductos.

2.2.7.4. Estructuras de vertido:

Se define como la última obra del sistema de alcantarillado, la cual permite la descarga a una corriente receptora. Se tienen dos tipos:

Estructura de vertido en conducto cerrado: Es la estructura que permite el encauce de una descarga a la corriente receptora y así se evite que el emisor posea deslaves o taponamientos. Esto se da cuando se entuba la conducción por el emisor de una red y además se requiere evacuar las aguas a una corriente receptora que tenga una velocidad y dirección específica, se utiliza una estructura que permita el encauce de la descarga a la corriente receptora y evite que el emisor posea deslaves y taponamientos.

Estructura de vertido en canal a cielo abierto: Es una estructura de un canal a cielo abierto cuyo ancho se desarrolla según la corriente acogida, esto permite la disminución de la velocidad y que no exista socavación.

2.2.7.5. Obras complementarias:

Se manejan obras complementarias según la naturaleza de diseño.

Estaciones de bombeo: Se constituye de un tanque en el que las aguas son dispensadas por el sistema de alcantarillado y a la misma vez se extraen por un grupo de bombas que ocasionan la elevación del agua hasta cierto punto para permitir el paso hasta el vertido final.

Vertedores: Se trata de una estructura hidráulica cuya función es la derivación hacia otro cauce del agua que sobrepasa la capacidad de una estructura de conducción o de almacenamiento.

Estructuras de cruce: Es la que permite el paso de la tubería, ya sea por debajo o sobre los obstáculos que no permitan la construcción de la red de alcantarillado.

Entre ellos tenemos: Sifones invertidos, cruces elevados, alcantarillas pluviales y puentes.

Disposición final

Es el destino del agua captada por un sistema de alcantarillado. Se suelen verter a una corriente natural que logre conducir y degradar los contaminantes del agua.

2.2.8. Topografía

Según Alcántara (2014) la topografía es la ciencia aplicada que estudia los distintos métodos y procedimientos para medir sobre el terreno con la finalidad de representar gráfica o analíticamente una escala determinada. Antiguamente existe la manera tradicional de hacer levantamiento topográfico que en muchos casos toma más tiempo para su realización que la que se utiliza actualmente, como es la topografía a partir de fotogrametría y escaneo con sensores laser (Lidar).

Se entiende por levantamiento Topográfico al conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información necesaria que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, ya sea directamente o mediante un proceso de cálculo, con las cuales se obtiene la representación gráfica del terreno levantado, el área y volúmenes de tierra cuando así se requiera; (Torres y Villate, 1968, pág. 17) lo resumen como “el proceso de medir, calcular y dibujar para determinar la posición relativa de los puntos que conforman una extensión de tierra”. (Pachas, 2009)

Según Gámez (2015) en su estudio indica que pueden ser dos tipos de levantamientos, topográfico y geodésico. Asimismo, indica que comprende dos etapas: la de campo que es la etapa en la que se desarrolla la toma de datos, tales como ángulos, distancias, etc. Y el gabinete que es la etapa en la que se realiza el cálculo y dibujo de lo levantado en el campo, Los levantamientos topográficos también se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Levantamiento de terrenos en general: Tienen por objeto marcar linderos o localizarlos, medir y dividir superficie, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones.

- Topografía de vías de comunicación: Se utiliza para estudiar y construir caminos, ferrocarriles, líneas de transmisión, acueductos, etc.
- Topografía de minas: tiene por objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales.
- Levantamientos catastrales: son los que se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios, para fijar linderos o estudiar las obras urbanas. (Gámez, 2015, pág. 39)

2.2.8.1. Levantamiento Topográfico antiguo

2.2.8.1.1. Medidas Lineales y Registro de Datos

En topografía, distancia entre dos puntos se entiende qué es la distancia horizontal, aunque con frecuencia se miden inclinadas y se reducen a su equivalente en su proyección horizontal antes de usarse, por medio de datos auxiliares que son pendiente o ángulo vertical. (Gámez, 2015)

2.2.8.1.2. Medidas Lineales

El método más común de determinar una distancia es por la medida directa, por medio de una cinta que permite conocer a precisión la distancia requerida.

La medida de una distancia entre dos puntos se puede realizar por:

- Medidas directas (con longímetros o cintas): es la realizada con cinta (cadena) directamente sobre el terreno, su ejecución necesita de dos personas llamadas cadeneros. (Gámez, 2015)
- Medidas indirectas (con telémetros): es la realizada haciendo uso de otros instrumentos topográficos que no aplican las medidas de rectas, como la estación total y teodolito, mediante transmisión de ondas (ondas de radio u ondas luminosas).

2.2.8.1.3. Medición con cinta

A la operación de medir una distancia con cinta se le llama cadeneo. Las cintas más comunes que se usan en la actualidad están hechas de diferentes materiales, peso y longitud, las más comunes son las de tela y acero. (Gámez, 2015)

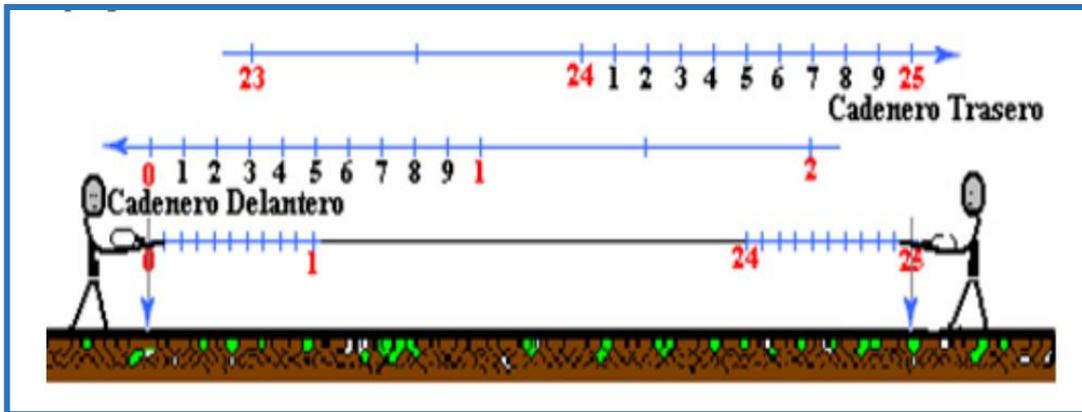
- Cintas de acero: se utilizan para medidas de precisión, las longitudes más comunes son de 20, 25, 30 y 50m. Estas traen graduado en decímetros el primer metro y algunas también en el último metro. (Gámez, 2015)
- Cintas de tela: están hechas de material impermeable y llevan un entretejido de delgados hilos de acero o bronce para evitar que se alarguen, generalmente vienen en longitudes de 10, 20 y 30m. Estas cintas no se usan para levantamientos de grandes extensiones y de mucha precisión. (Gámez, 2015)
- Cintas de metal invar: se emplean para levantamiento de alta precisión ya que el invar es una aleación de acero y níquel a la que afectan poco los cambios de temperatura. Debido a su alto costo es de poco uso en levantamientos topográficos. (Gámez, 2015)

La medición de distancia con cinta en terrenos planos, no presenta ningún problema, ya que la cinta (cadena) se puede extender en toda su longitud. El cadenero delantero es el encargado de llevar el juego de fichas e ir colocando una en cada cintada, la cual el cadenero trasero tiene que ir recogiendo para al final darse cuenta cuántos cadenasos (cintadas) se dieron y así determinar la distancia medida. (Gámez, 2015)

Lo importante que hay que tener en cuenta es que los dos cadeneros tienen que mantener la cinta de forma horizontal y al mismo tiempo, libre de todo obstáculo. En lo que corresponde a la última parte de la medida, siempre hay que tener en cuenta de que el cadenero trasero debe ponerse en un número cerrado en la última ficha y el cadenero delantero restarle un metro a esa cantidad y agregarle los decimales del metro graduado para determinar la distancia entre los dos puntos. Sumándole el número de cintadas en función del número de fichas que tenga el cadenero trasero como se muestra en la Figura 2.13. (Gámez, 2015)

Figura 2.13

Ejemplo de cinta cada 25 metros



Fuente: (Gámez, 2015, pág. 31)

2.2.8.1.4. Medición de distancias en terrenos Inclinados

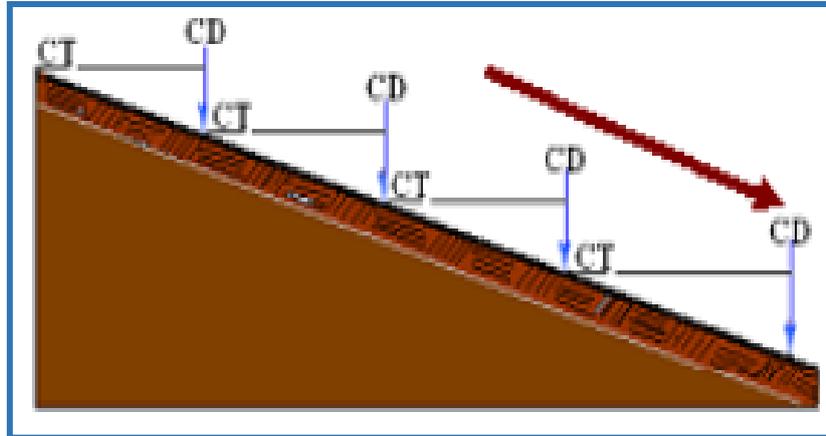
En la medición de distancias en terrenos inclinados se puede usar el nivel de mano para mantener en forma horizontal la cinta, aunque con cierta experiencia en la operación de medir distancias, se puede mantener horizontalmente la cinta que es el requisito principal en la medición de una distancia, ya sea en terrenos planos o inclinados.

En terrenos con pendientes mayores del 7%, se hace imposible extender en toda su longitud la cinta de 25 metros y mantenerla horizontalmente, es por esta razón que la distancia se tiene que medir en tramos que van a estar en función del grado de la pendiente. En esta medida se presentan dos casos: (Gámez, 2015)

- Cuando la medición se realiza bajando la pendiente. Como en la Figura 2.14, este es caso, lo que podemos notar es la posición que deben tomar los cadeneros para mantener horizontal la cinta. La posición del cadenero trasero es lo más bajo que se permite, si el terreno está libre de obstáculos (malezas) perfectamente puede apoyar la cinta contra el punto marcado en el suelo, en cambio el cadenero delantero mantendrá la plomada lo más alto, hasta lograr la horizontalidad deseada, en esta posición el mayor esfuerzo lo realiza el cadenero delantero, ya que debe tener cuidado de mantener lo más fijo la proyección de la plomada sobre el terreno.

Figura 2.14

Medición de distancia bajando la pendiente.

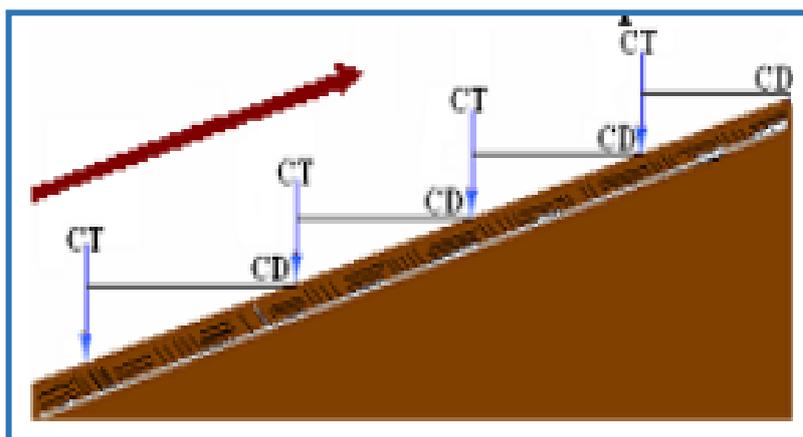


Fuente: Gamez, pág. 32

- Cuando la medición se realiza subiendo la pendiente. Como en la figura 2.15, este es otro caso, que es subiendo la pendiente, la forma de medición sigue el mismo procedimiento, con la variable de que, las posiciones de los cadeneros se invierten con respecto al primer caso, este caso también lo vamos a ilustrar con una gráfica para apreciar mejor el procedimiento de medición de una distancia subiendo la pendiente.

Figura 2.15

Medición de distancia subiendo la pendiente



Fuente: Gamez, pág. 32

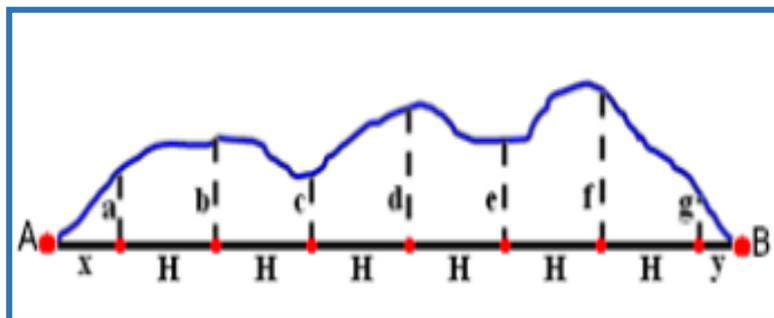
2.2.8.1.5. Medición de linderos irregulares

Cuando un lindero es irregular o curvo como la línea que forma la playa, un río o un camino sinuoso, el procedimiento usual de localizar el lindero es por medio de ordenadas (perpendiculares) a una línea recta auxiliar lo más cerca posible del lindero. Para facilitar los cálculos, las ordenadas se deben levantar a intervalos regulares o sea a igual distancia sobre una línea auxiliar **A-B**, como se observa en la Figura 2.16

Si la distancia de las ordenadas no pasa de aproximadamente unos 15m a 20m, estas perpendiculares se pueden levantar al ojo y se logra una precisión aceptable, en trabajos de mayor precisión las perpendiculares se levantan con cinta, teodolito o prisma. (Gámez, 2015)

Figura 2.16

Línea auxiliar A-B



Fuente: Gamez, pág. 45

2.2.8.1.6. Levantamiento de una poligonal con teodolito y cinta

La poligonal es la sucesión de líneas que unen una serie de puntos establecidos a lo largo de la ruta de un levantamiento. Las distancias entre los puntos son medidas en forma directa (cadena) o indirecta (estadía) y en cada punto se realiza una medida angular. (Gámez, 2015)

Para el levantamiento de una poligonal con teodolito y cinta, existen varios métodos, entre ellos tenemos:

- Por radiación
- Por intersección
- Por ángulos internos
- Por ángulos externos
- Por ángulos de deflexión

2.2.8.1.7. Método por Radiación

Este método se usa únicamente en terrenos pequeños, que sean relativamente planos y libres de obstáculos, para poder observar todos los vértices de la poligonal desde un solo punto, tiene la ventaja que el instrumento se planta una sola vez y los datos se registran inmediatamente después de realizada cada medición en un modelo de cartera (previamente elaborado). (Gámez, 2015)

2.2.8.1.8. Método por Intersección

Este método se basa en el principio de triangulación, el cual consiste en medir una línea base con la mayor precisión que se pueda, con la condición de que desde los extremos de la línea base, se puedan observar todos los vértices de la poligonal. Tiene la ventaja que sólo se mide una distancia (la línea base). (Gámez, 2015)

2.2.8.1.9. Método por Ángulos Internos

Para aplicar este método en un terreno existente, primero se deben localizar y marcar perfectamente las esquinas. Si es posible, el instrumento se debe colocar directamente en estos puntos. (Gámez, 2015)

2.2.8.2. Levantamientos Topográfico actuales

Actualmente se han desarrollado la fotogrametría y los sistemas Lidar para obtener la topografía ya que antes con la manera tradicional era además de costoso peligroso para las cuadrillas, en terrenos de poco acceso, con nuevas formas de levantamiento topográfico toma menos tiempo y en algunos casos más confiable y preciso en la captura de datos, todo dependerá de la precisión con la que se requiera la topografía. (Gámez, 2015)

2.2.8.2.1. Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica que desde el siglo pasado se viene desarrollando, los satélites que están orbitando la tierra, tomaban y toman fotografías de la tierra, posteriormente lo hacían las aeronaves pilotadas, hoy en día pueden tomar fotos desde drones o aeronaves no tripuladas.

Dichas fotos son captadas con cámaras especiales, las cuales pueden tomar imágenes espectrales, esto quiere decir que su sensor capta ciertas longitudes de onda del espectro electromagnético, que nuestros ojos no son capaces de percibir, luego obtenemos una imagen donde cada pixel representa un valor numérico que posteriormente se puede utilizar como un raster.

Las fotos tomadas por drones o por aeronaves no tripuladas, utilizan planes de vuelo donde barren toda la zona de interés de manera paralela y perpendicular, para la topografía a partir de la fotogrametría, se basa en que las fotografías tomadas tengan cierto traslape entre 50% y 80% a lo largo y ancho respectivamente entre foto y foto para un posterior procesado.

Cada foto debe contener información muy importante si se quiere precisión a la hora del post proceso, la principal información de cada una de las fotos es, por ejemplo, las coordenadas geográficas y proyectadas, el IMU (unidad de medida inercial) que nos proporciona datos necesarios, como ángulos con respecto a la horizontal.

Finalmente, en un software especializado se procesa las imágenes, obteniendo mediante algoritmos una nube de puntos, esto quiere de decir que imágenes de 2 dimensiones se convirtieron en una nube de puntos de 3 dimensiones, los cuales se clasifican y se obtiene las curvas de nivel del área de interés.

2.2.8.2.2. Lidar

Lidar es un acrónimo en inglés que su traducción sería “medición a través de la luz”, esta tecnología también tiene su desarrollo en el siglo pasado, donde satélites tenían sensores que emitían pulsos a la superficie terrestre y estos sensores captaban el retorno.

El sistema lidar consiste en que un sensor emite un pulso laser del cual se conoce su velocidad, dicho sensor mide el tiempo en que demora en ir y regresar hacia un punto en alguna superficie, determinando la distancia entre el sensor y el punto de interés.

Hoy en día su uso es variado, son utilizados en robots, para la fabricación automatizada, aspiradoras con sensor lidar, autos con sensor que sirve para el manejo con piloto automático, y sensores montados sobre un dron para escanear la superficie, es decir una topografía avanzada.

Puesto que estos sensores son muy caros actualmente, con el tiempo disminuirá su precio por el avance tecnológico que se viene dando a pasos agigantados, para la topografía existen diferentes tipos de sensores unos que simplemente te emiten un pulso y otros que se ayudan de la fotografía y cada punto puede ser captado con RGB.

Un sensor montando en un dron con un plan de vuelo, va escaneando toda la superficie de interés, es decir va generando una nube de puntos de alta precisión que puede penetrar vegetaciones densas. Los resultados obtenidos son modelos digitales de elevación (MDE), este está compuesto por su modelo digital de superficie (MDS) y su modelo digital de terreno (MDT), si restamos el primero (MDS) menos el segundo (MDT) obtendremos el tamaño de los árboles, viviendas, edificios, etc.

2.2.9. IILA SENAMHI – UNI 1983

El estudio de la hidrología del Perú se enmarca en el Convenio de Cooperación Técnica suscrito por el Instituto Italo – Latino Americano (IILA), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), en el ámbito de sus respectivas competencias institucionales. (Lima y Quispe, 2018)

El estudio tiene como finalidad proporcionar a los técnicos elementos necesarios para evaluar:

- Los recursos hídricos disponibles en las diferentes zonas del país e identificar las posibilidades que existen para su mejor aprovechamiento.
- Las máximas avenidas que pueden verificarse a lo largo de los cursos de agua que atraviesan las diferentes zonas del país e identificar las posibilidades que existen para reducir los daños que ellas pueden provocar, por medio de apropiadas capacidades de embalses.

Cuando no se cuenta con información pluviográfica para algún estudio hidrológico y se requiere la intensidad la metodología planteada por el IILA-SENAMHI-UNI, a través del “Estudio hidrológico del Perú” tiene en cuenta una fórmula la cual está en función del tiempo de duración de la lluvia y del periodo de retorno.

Existe un software programado para que grafique de manera automatizada la curva intensidad duración y su hietograma, asociada a su ubicación geográfica y a un periodo de retorno, dicho software se llama HydrollLA, sin embargo, dicha gráfica generada sirve como forma no como cantidad.

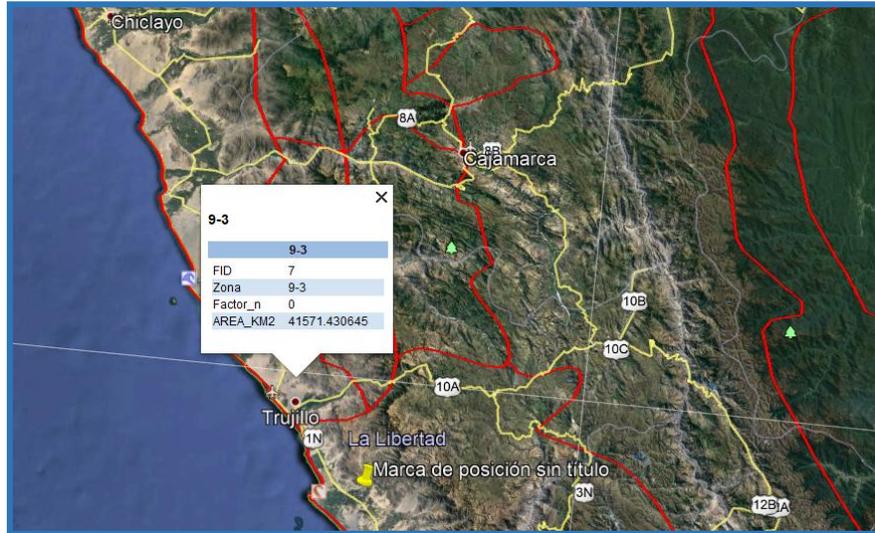
2.2.10. Software HydrollLA

HydrollLA es un software diseñado para calcular la intensidad de tormentas e hietogramas de diseño en diversas zonas del Perú. se desarrolló con el fin de obtener automáticamente los valores de hietogramas de diseño, al final estos resultados dados por el programa fueron contrastados con otros hietogramas de diseño obtenidos a partir de registros históricos de precipitaciones máximas en 24 horas, de las estaciones pluviométricas. (Esquen y Rodriguez, 2016)

El software HidroLLA tiene un archivo .KML como se muestra en la Figura 2.17, donde muestra los parámetros necesarios para el cálculo de acuerdo a su zona geográfica, a partir del llenado de los Datos de entrada como Zona (Costa norte y selva), Sub zona (se ve en el archivo .KML), Dm (distancia media al mar), T (periodo de retorno), t(duración), i(intervalo de tiempo), como se muestra en la Figura 2.18.

Figura 2.17

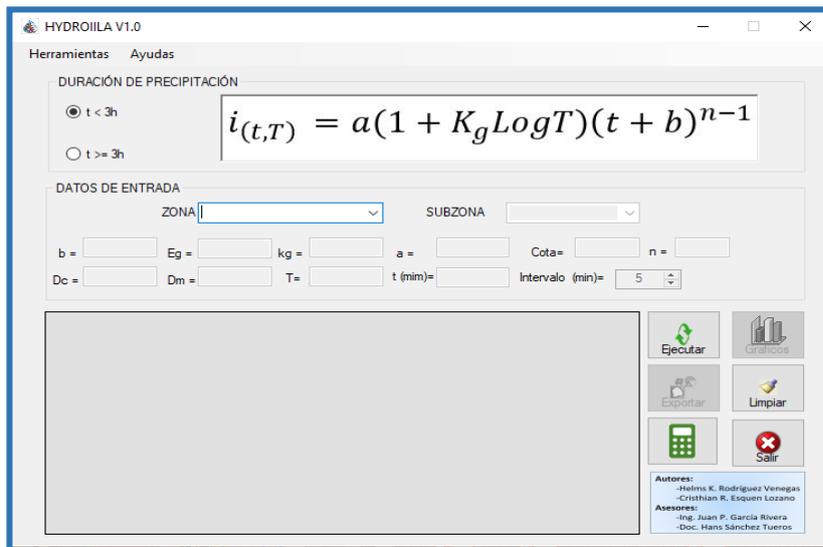
Archivo KML proporcionado por el software



Fuente: KML. Abierto en google earth

Figura 2.18

Interfaz del software



Fuente: HidroILLA

2.2.11. Software SWMM v.5.1

El software SWMM (Storm Water Management Model) fue desarrollado por el US EPA (Environmental Protection Agency) y es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones en este modelo se puede simular tanto la calidad

como la cantidad del agua de las precipitaciones especialmente en colectores pluviales. (Lima y Quispe, 2018, pág. 140)

Es un programa que se utiliza para la simulación del comportamiento de algún sistema de drenaje pluvial urbano que se modele, dicho sistema puede presentar buzones, tuberías, vertidos, bombas, etc. Es un programa intuitivo que requiere tener conocimientos básicos-intermedios de hidrología e hidráulica.

Este software utiliza principalmente el modelo hidrológico que utiliza el método del reservorio no lineal y el modelo hidráulico que tiene 3 opciones de cálculo, el flujo uniforme, el de la onda cinemática y finalmente el tercero utiliza la onda dinámica que proviene de la ecuación de Saint Venant.

Para el modelo hidrológico necesita datos de entrada, que van desde la cuenca con sus características como, por ejemplo, que tipo de áreas que presenta (permeable, impermeable e impermeable con encharcamiento), el ancho tributario, el modelo de infiltración, la evaporación, también tiene un modelo de derretimiento de nieve, finalmente se puede introducir el comportamiento de la lluvia con datos de hietograma o datos de intensidad.

Para el modelo hidráulico se necesita algunas condiciones del sistema de drenaje pluvial urbano a modelar, como pendientes mínimas y máximas de las tuberías, cotas de fondo, de los buzones, topografía de la zona de estudio, dimensiones longitudes mínimas y máximas de tuberías,

2.2.11.1. Modelo Hidrológico

La escorrentía superficial generada por una cuenca se puede calcular con diferentes métodos, por ejemplo, la formula racional, hidrograma unitario, sistema dipeo, etc. Sin embargo, el método que utiliza el software SWMM es el modelo de depósito no lineal que también se lo conoce como reservorio no lineal.

2.2.11.1.1. Reservorio no lineal

Este modelo utiliza las fórmulas de continuidad y manning, es decir el volumen de agua de entrada a la cuenca(precipitaciones) menos el volumen de agua de salida

de la cuenca (evaporación e infiltración) respecto al tiempo, a diferencia de la fórmula racional que sólo genera un caudal máximo para el diseño.

2.2.11.2. Modelo Hidráulico

Para el modelo hidráulico la norma técnica peruana “OS 060 drenaje pluvial urbano” remienda la fórmula de Manning, es decir flujo permanente para el diseño de las tuberías, sin embargo, esta metodología se aleja de la realidad resultando obsoleta, es por eso que el software SWMM utiliza para calcular el modelo hidráulico la ecuación de Saint-Venant que se la conoce como onda dinámica.

2.2.11.2.1. Onda Cinética

Es la ecuación simplificada de la ecuación de Saint-Venant que sólo tiene en cuenta la fuerza de gravedad y la fuerza de fricción que disipa energía, ya que simplifica notablemente su cálculo. Es necesario el uso de herramientas matemáticas para su cálculo. (Chow, 1964, pág. 282)

2.2.11.2.2. Onda dinámica

El modelo de transporte de la onda dinámica resuelve las ecuaciones completas unidimensionales de Saint Venant y por tanto teóricamente genera los resultados más precisos. Estas ecuaciones suponen la aplicación de la ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento en las conducciones y la continuidad de los volúmenes entre estos.

Con este tipo de modelo es posible representar el flujo presurizado cuando una conducción cerrada se encuentra completamente llena, de forma que el caudal que circula por lo mismo puede exceder el valor del caudal a tubo completamente lleno obtenido mediante la ecuación de Manning. Las inundaciones ocurren en el sistema cuando la profundidad (tirante) del agua excede el valor disponible.

El modelo de Onda Dinámica puede contemplar efectos como el almacenamiento, resalto hidráulico, pérdidas en entradas y salidas de los pozos de registro, el flujo inverso y el flujo presurizado; el único inconveniente es la necesidad de utilizar incrementos de tiempo de cálculo pequeños de 1 minuto o menos.

Es la ecuación Saint Venant en toda su expresión, esta fórmula es la que se puede utilizar en el modelo hidráulico de SWMM, consiste en cuatro términos que son los siguientes: las fuerzas inerciales, la fuerza de presión, la fuerza de gravedad y la fuerza de fricción. (Chow, 1964, pág. 320)

2.2.12. *Sistemas De Información Geográfica*

SIG es el acrónimo de Sistemas de Información Geográfica, es un término que en los últimos años su uso se ha extendido, antiguamente cuando se tenía que ubicar algunos lugares en concreto se usaban mapas cartográficos, croquis, dibujos, etc. Luego con el avance tecnológico todo se fue digitalizando, es decir se escaneaban o se graficaban los mapas en una computadora.

Luego, una vez los mapas digitalizados era necesario agregar información encima de los mapas, en cierto punto se saturaban, haciendo todo esto una información estática, posteriormente era necesario vincular la información o data que había que vincularla geográficamente, como lugares, encuestas localizadas, zonas de peligro, etc.

Es por eso es que ingenieros muy capacitados crearon softwares libres y de paga, que vincule a la información obtenida con mapas, pero de una manera dinámica, es decir que se pudiera manipular tanto al mapa como a la información, generando mapas temáticos muy valiosos con respecto a información que se quería representar gráficamente, hoy en día los softwares permiten representaciones en 3 dimensiones.

Además, los softwares han ido desarrollándose constantemente, es decir cada año en cada versión nueva de algún software SIG salen herramientas que ayudan a sus usuarios a hacerles la vida más simple, detrás de estas herramientas están los desarrolladores que aplican algoritmos útiles, actualmente los SIG se asocian con la topografía, la minería, la agricultura, etc. Y básicamente se dice que los archivos SIG son de formato. shapefile que puede ser un raster o un vector, podrían organizarse en una geotadabase o en un geopackage.

2.2.12.1. ArcGIS

Es un software SIG, en la que se tiene que pagar la licencia, si es que se lo quiere utilizar profesionalmente, ArcGIS es un sistema completo que utiliza algunas variantes del software existente, se puede utilizar en su versión de escritorio, en tablets o en otros dispositivos.

En los últimos años han lanzado su versión online esto quiero decir que no se necesita un hardware robusto para utilizarse, simplemente se necesita una buena conexión a internet, ya que la empresa ESRI es la que provee sus servidores gigantes para que la experiencia sea agradable y sin demoras.

ESRI es una empresa que dedica a los SIG, si hacemos una analogía es como si dijéramos Arcgis es a ESRI como AutoCAD es a AutoDesk, me gusta hacer esta comparación ya que nos da entender de una manera clara que ESRI ya es una empresa consolidada, hasta ofrece en su página web cursos gratuitos para adentrarnos en el fascinante mundo de los SIG.

El software utiliza principalmente los archivos nativos .shapefile de ESRI, que se bien puede ser un raster o un vector, si es el primero lo asociamos con una imagen ya que cada imagen al igual que un raster tienen pixeles, al que se le da un valor único, si es el segundo utiliza 3 elementos: el punto, la línea y el polígono, todos estos están asociados a información que se puede almacenar una tabla de atributos

Alrededor del mundo las empresas dedicadas al rubro de la información geográfica, utilizan su aplicación ya que incluyen planificación y análisis, como por ejemplo para obras de infraestructura vial, también permite la administración de datos como en puertos, catastros, inspecciones de campo y aplicaciones web con georreferenciación, además permite: (ESRI, 2019)

- Solucionar problemas.
- Mejores decisiones respecto a todo lo involucrado.
- Tener una buena planificación.
- Graficar mapas de peligros.

- Tener resiliencia ante el cambio.
- Ser eficaz en las operaciones de mantenimiento.
- Incluir a todos los involucrados tanto en campo como en oficina.
- Retroalimentación entre los trabajadores.
- Permita mostrar información más agradable y precisa
- Crear mapas temáticos de interés.
- Mapas interactivos.
- Recabar información geográfica
- Administrar la data de una manera sencilla
- Crear servicios de mapas web.

2.2.12.2. Qgis

Es un software libre, de sistemas de información geográfica el cual fue desarrollada por voluntarios alrededor del mundo apasionados por los SIG, cada nueva versión corrige algunos algoritmos pasados que estaban mal planteados, este software lee diferentes formatos de archivos como: .Shapefile, .KML, .KMZ, .dwg, imágenes como .jpg, Geotiff, etc.

Cada vez que lanzan una versión nueva consolidada, existe una nueva con la versión beta, que no es tan estable, esto quiere decir que muchas veces cuando se trabaja con el software y no puede procesar algún algoritmo se cierra automáticamente, perjudicando el trabajo realizado, o si algún algoritmo no trabaja como se espera.

Un punto en contra de este software es que, si se detecta el problema, simplemente se les hace saber a los desarrolladores y ellos verán si lo solucionan o no, a diferencia de algunos programas de paga que hay desarrolladores de soporte que se dedican a solucionar problemas de los clientes.

2.2.12.3. SASPLANET

Este es un programa gratuito, se lo utiliza cuando se quiere obtener imágenes de alta resolución y calidad que se encuentren correctamente georreferenciadas, además puede proporcionar archivos como .map, .dat, .kml, .tab, .w (que se puede ingresar al software SWMM), para la ubicación del área de interés se puede utilizar archivos .shapefile para que se superponga con mapas que se basan principalmente de servidores convencionales como: (Morales, 2014)

- Google Earth.
- Google Maps
- Bing Maps.
- Nokia.
- Here.
- Yahoo!.
- Yandex.
- OpenStreetMap.
- ESRI.
- Navteq.

El programa tiene diversas opciones como:

- Medir distancias.
- Buscar lugares con distintos proveedores.
- Elegir la fuente de datos: Cache solo (cuando no tenemos conexión a internet), Internet solo o Internet y Cache (por defecto).

2.3. Marco Conceptual

- **Berma:** Parte lateral de las calzadas pudiendo estar pavimentadas o no, principalmente se utiliza para no causar interrupción en el tránsito por alguna parada de emergencia.
- **Bombeo de la pista:** Pendiente transversal en tramos longitudinales, en curvas se lo conoce como peralte, estos se expresan en porcentaje.

- **Buzón:** Estructura cilíndrica generalmente de mampostería o concreto también pueden ser prefabricados, o contruidos insitu, tienen por lo general 1.20 m de diámetro y sirven para cambios de dirección de flujo, para inspección y presentan una base semicircular
- **Calzada:** Parte de la pista utilizada por los vehículos para circular y sirve de superficie de rodadura.
- **Canal:** Conducto abierto o cerrado en el cual circula algún fluido, puede ser agua y presentar algunos sólidos que quedarán atrapados en el filtro del sistema, los canales funcionan a gravedad, además pueden ser naturales o artificiales, las tuberías o alcantarillados pueden ser incluidos como conductos cerrados.
- **Captación:** Estructura hidráulica que recibe las aguas las cuales se dirigen para poder entrar al sistema de drenaje urbano.
- **Cuneta:** Estructura hidráulica que permite el transporte de aguas, que se generan de las precipitaciones, por lo general están ubicadas entre la calzada y vereda o entre la calzada y sardinel.
- **Derecho de vía:** Parte de la carretera que está destinada a futuras ampliaciones.
- **Drenaje urbano:** Sistema de drenaje de ciudades y poblados que sirven para evacuar el agua en exceso proveniente de las precipitaciones, y dichos drenajes son diseñados bajos normas técnicas correspondientes a cada país.
- **Drenaje urbano mayor:** Sistema de drenaje pluvial que evacua caudales que se presentan con poca frecuencia y que además de utilizar el sistema de drenaje menor (alcantarillado pluvial), utiliza las pistas delimitadas por los sardineles de las veredas, como canales de evacuación. (OS 060 , 2006, pág. 3)

- **Drenaje urbano menor:** Sistema de alcantarillado pluvial que evacua caudales que se presentan con una frecuencia de 2 a 10 años. (OS 060 , 2006, pág. 3)
- **Entrada:** Estructura hidráulica que se encarga de captar el agua de la lluvia proveniente de las sub-cuencas.
- **Estructura de unión:** Estructura hidráulica subterránea que es utilizada en los puntos donde coinciden los conductos del sistema, pero no sé, puede acceder a ellos desde la superficie, su principal función principal es evitar la turbulencia.
- **Frecuencia de lluvias:** Son las veces que se repiten las lluvias en un tiempo determinado, también se la conoce como periodo de retorno.
- **Filtro:** Material artificial o natural que es colocado para que los finos no lleguen a obturar los conductos, pero sí permite el agua en exceso del sistema.
- **Flujo uniforme:** El flujo es uniforme, si los parámetros hidráulicos (tirante, velocidad, área, etc.) no cambian con respecto al espacio, es decir, que las características: profundidad, área transversal, velocidad y caudal en cada sección del canal son constantes, por lo cual la pendiente de la línea de energía, la pendiente de la superficie libre de agua y la pendiente del fondo del canal son numéricamente iguales y por lo tanto son paralelas. (Villón, 2004, pág. 63)
- **Hietograma:** Es un gráfico de forma escalonada como un histograma que representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de la tormenta, en el transcurso de la misma expresada en minutos u horas, mediante este hietograma es muy fácil decir a qué hora la precipitación adquirió su máxima intensidad y cuál fue su valor de esta. (Villón, 2004, pág. 89)
- **Hidrograma unitario:** Puesto que las características físicas de la cuenca (forma, tamaño, pendiente, cubierta, etc.) son constantes, se debe esperar

una similitud considerable en la forma de los hidrogramas resultantes de tormentas parecidas. Esta es la esencia del hidrograma unitario tal como la propuso Sherman en 1932. El hidrograma unitario de las t_1 horas de una cuenca se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de 1 cm de lluvia neta caída en t_1 horas, generada uniformemente sobre el área de la cuenca a una tasa uniforme (Chereque, 1989, pág. 136)

- **Montante:** Tubería ubicada en forma vertical mediante el cual se evacua aguas de lluvia de niveles superiores a los inferiores.
- **Pavimento:** Estructura conformada por sub-base, base y carpeta de rodadura, pueden ser pavimento flexible, rígido o articulado.
- **Pendiente longitudinal:** Es paralelo al eje longitudinal de la vía.
- **Pendiente transversal:** Es perpendicular al eje longitudinal de la vía.
- **Precipitación:** Fenómeno producido por la atmosfera que son medidos con pluviógrafos o pluviómetros su unidad de medida son los mm.
- **Precipitación efectiva:** Es parte del agua que no se infiltra y tampoco se retiene en la superficie, ni se evapora.
- **Ponding (lagunas de retención):** Sistema que sirve para retardar las aguas del sistema de drenaje pluvial urbano, para que este no se sobrecargue.
- **Rasante:** parte de la infraestructura de transporte por donde pasarán los vehículos puede estar pavimentada o no.
- **Rejilla:** Estructura con abertura generalmente de metal y tamaño uniforme y principalmente sirve para que sólidos no ingresen al sistema de drenaje urbano.

- **Registro:** Estructura hidráulica subterránea que sirve para inspeccionar al sistema y se puede acceder desde la superficie.
- **Sardinel:** Borde que limita la vereda de la calzada.
- **Sistemas de evacuación por gravedad:** Sistema que descargan libremente de manera natural.
- **Sumidero:** Estructura hidráulica generalmente ubicada antes de las esquinas con el objetivo de interceptar las aguas pluviales antes de la zona peatonal.
- **Tormenta:** Conjunto de lluvias que pertenecen a un mismo fenómeno atmosférico pueden durar minutos, horas y a veces puede llegar hasta días, abarcando pequeñas zonas y extensas regiones.
- **Tuberías ranuradas:** Son tuberías que presentan agujeros y estos permiten el paso de las aguas pluviales, generalmente son de metal.
- **Velocidad de autolimpieza:** Velocidad mínima necesaria para evitar la sedimentación en los conductos.
- **Vereda:** Se utiliza para el tránsito de transeúntes, generalmente con un bruñado cada 1 metro y junta de dilatación cada 4 metros.
- **Vías calle:** Una vía que se utiliza para doble propósito uno de ellos sería para el transporte vehicular y el otro para evacuación de aguas pluviales en máximas avenidas.
- **Tiempo de concentración:** Es el tiempo que demora una gota de agua en recorrer, desde la parte más alta y lejana de la cuenca hasta el punto de salida o interés, este tiempo se utiliza principalmente para cuencas rurales.
- **Ancho característico:** Es la medida que se obtiene del cociente del área de la cuenca entre la longitud desde el punto de interés hasta la parte más lejana,

se da generalmente en metros, siendo un parámetro indispensable para metodología de reservorio lineal para el cálculo de caudal generado por la cuenca, se usa para cuencas urbanas.

- **Lluvia bruta:** Es la precipitación en su totalidad, es decir no tiene en cuenta las pérdidas.
- **Lluvia neta:** Es la precipitación bruta disminuida por las pérdidas que se dan principalmente por la interceptación, evaporación, infiltración y encharcamiento de las precipitaciones.
- **Área impermeable sin encharcamiento:** Es un valor en porcentaje en la que cada sub cuenca urbana presenta acorde a sus propias características.
- **Puntos PENZD:** son puntos generalmente obtenidos de un levantamiento topográfico que se caracterizan por almacenar información del punto, de su coordenada este, de su coordenada norte, de su elevación y de su descripción.
- **Periodo de retorno:** Este valor se elige teóricamente en base al coste-beneficio de la obra, es decir si elegimos un periodo de retorno bajo, entonces el coste en pérdidas será alto, en la práctica es muy difícil estimar el coste por las pérdidas que pueden ser generadas.
- **Modelo de infiltracion:** Es la forma en que se emula parte de la perdida de la lluvia bruta, existe principalmente 3 métodos, el de HORTON que es semiempírico, el de GREEN AMPT que se basa en la ley de Darcy y finalmente el método NUMERO DE CURVA que es el más sencillo de los mencionados, que se basa en dar una puntuación en una escala que va de desde 0 hasta 100, mientras más se acerca a 0 es más permeable y si se acerca más al 100 es más impermeable
- **Modelo hidráulico:** Es la forma en que se emula el comportamiento hidráulico de un sistema, para los cálculos puede utilizarse las fórmulas de FLUJO

PERMANENTE, las fórmulas de ONDA CINEMATICA y finalmente las fórmulas de ONDA DINAMICA que tiene en cuenta más variables que las otras.

2.4. Hipótesis

Si realizamos un diseño de un sistema de alcantarillado urbano pluvial, disminuirá el impacto directo, del caudal generado en épocas del niño costero, en las avenidas Víctor Larco, Fátima y Húsares de Junín.

2.5. Variables

2.5.1. Variable dependiente

Diseño de un sistema de drenaje urbano pluvial

2.5.2. Variable independiente

Caudal

2.5.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 2.2

Variable Dependiente

| Variable Dependiente: Diseño de un sistema de drenaje urbano pluvial | | | |
|---|----------------------------|-----------------------------------|---|
| <u>Dimensiones:</u> | <u>Indicadores:</u> | <u>Unidades de medida:</u> | <u>Instrumento de Investigación:</u> |
| Sumideros | Ubicación respecto a cotas | Und. | Fórmulas Matemáticas |
| Tuberías | Onda Dinámica | m. | |

Tabla 2.3*Variable Independiente*

| Variable Independiente: Caudal | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|
| <u>Dimensiones:</u> | <u>Indicadores:</u> | <u>Unidades de medida:</u> | <u>Instrumento de Investigacion:</u> |
| Precipitación máxima | Mediante Métodos estadísticos | mm | A través de pluviómetros del SENAMHI |
| Intensidad de lluvia | Mediante método del IILA-SENAMHI-UNI | mm/h | Hojas de cálculo en Excel |
| Áreas de subcuenca | Mediante áreas tributarias | m ² | Aplicativo SIG |

METODOLOGIA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

Aplicada

3.1.2. Nivel de investigación

Descriptiva

3.2. Descripción del Área de Estudio:

3.2.1. Ubicación:

La zona de estudio se ubica en el lado suroeste de la ciudad Trujillo en la Región La Libertad y colinda con el distrito de Víctor Larco Herrera, dicha zona está delimitada por las avenidas Víctor Larco, Fátima y Húsares de Junín formando una figura parecida a un triángulo como se muestra en la Figura 3.1.

Figura 3.1

Ubicación de la zona de estudio



Fuente: Propia, elaborada en Qgis

3.3. Población y muestra de estudio

3.3.1. Población

Sistema de drenaje urbano pluvial en las avenidas Víctor Larco, Húsares de Junín y Fátima – Trujillo – Trujillo – La Libertad.

3.3.2. Muestra

Sistema de drenaje urbano pluvial en las avenidas Víctor Larco, Húsares de Junín y Fátima – Trujillo – Trujillo – La Libertad.

3.4. Diseño de investigación

El tipo de diseño es descriptivo con propuesta ya que implica observar el comportamiento de un fenómeno en específico y generar una propuesta de solución.

3.5. Técnicas e instrumentos de investigación

- Visita a Campo, es decir hacer un reconocimiento de la zona de estudio, con el fin de tener criterio a la hora de proponer el sistema de drenaje urbano pluvial.
- Recabar planos existentes de alcantarillado de SEDALIB (servicio de agua potable y alcantarillado de Trujillo) de los que se extraerá puntos con sus respectivas coordenadas proyectadas este y norte, además de la cota de elevación.
- Obtener los registros históricos de precipitaciones del SENAMHI de la estación pluviométrica más cercana a la zona de interés.
- **Microsoft Excel:** Se usó con la intención de almacenar datos importantes para su posterior análisis y proceso.

- **AutoCAD 2019:** Se utilizó para poder visualizar los planos de alcantarillado para tener una idea más clara de la infraestructura en la zona de interés.
- **Qgis 3.4:** Sirvió para poder superponer información georreferenciada proveniente de fuentes externas y así corroborar su correcto georreferenciado además poder administrar la información con más versatilidad.

3.6. Procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Topografía:

Para poder obtener la topografía en primera instancia se pensó en las cartas nacionales, sin embargo, las cartas antes mencionadas presentan curvas de nivel con una equidistancia de 50 m en Z, la cual no nos sirve para el presente trabajo puesto que la cota más alta de nuestra zona de interés es de 23 m.s.n.m aproximadamente, además se pensó en utilizar un raster, pero no tenía lógica ya que al acercarnos al mar en el raster la cota debía hacerse 0 pero no era así en consecuencia estaba desfasada.

Por los motivos presentados anteriormente se optó por utilizar información importante de los planos de SEDALIB y así obtener un archivo CSV que se muestra en la Figura 3.4, con el fin de generar una superficie a partir de dicho archivo conteniendo puntos extraídos de los planos de alcantarillado de Trujillo.

3.6.1.1. Extracción de puntos

Una vez recabada la información de SEDALIB como se muestra en la Figura 3.2 y Figura 3.3, posteriormente se hizo un archivo CSV con cerca de 300 puntos PENZD (punto, este, norte, elevación, descripción) tal como se puede observar en la figura 3.5, para posteriormente procesarlos y generar una superficie a partir de triangulación como en la Figura 3.6 de los puntos generados del archivo CSV. Finalmente se terminó con el plano topográfico como se observa parte de el en la Figura 3.7 con una equidistancia de 0.20 m en curvas menores y 1.00 m en curvas mayores, el mapa completo se encuentra en ANEXOS

Figura 3.2

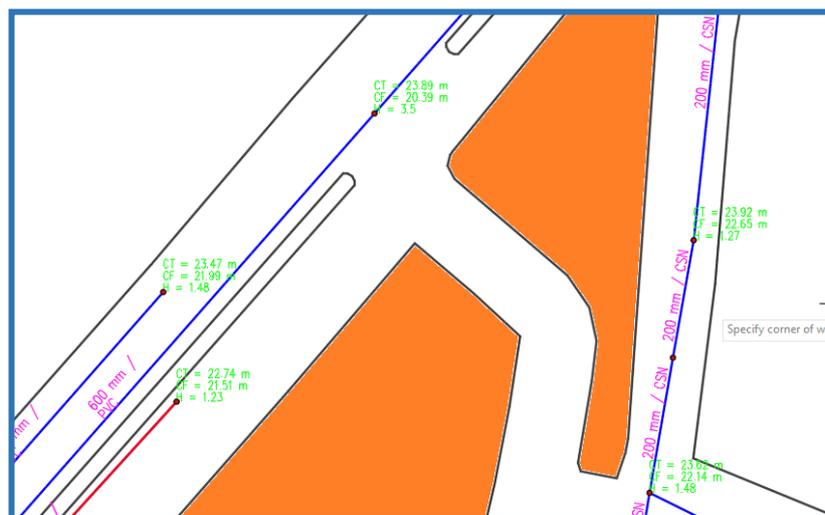
Cotas de buzón



Fuente: Planos de SEDALIB

Figura 3.3

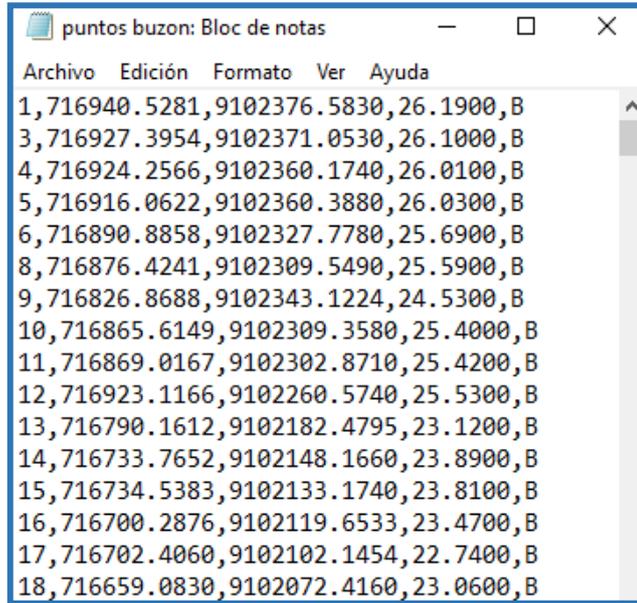
Cotas de buzones de desagüe



Fuente: Planos de SEDALIB

Figura 3.4

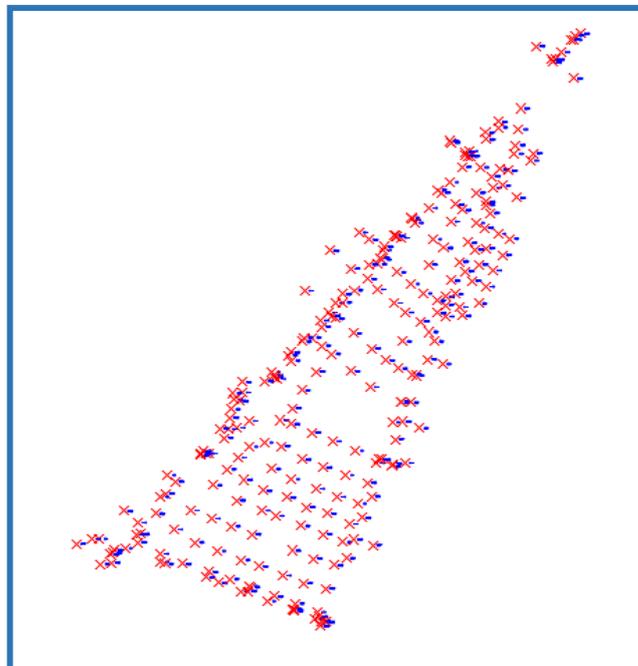
Archivo .csv con cerca de 300 pts. Del alcantarillado



Fuente: Extraídos de planos de SEDALIB

Figura 3.5

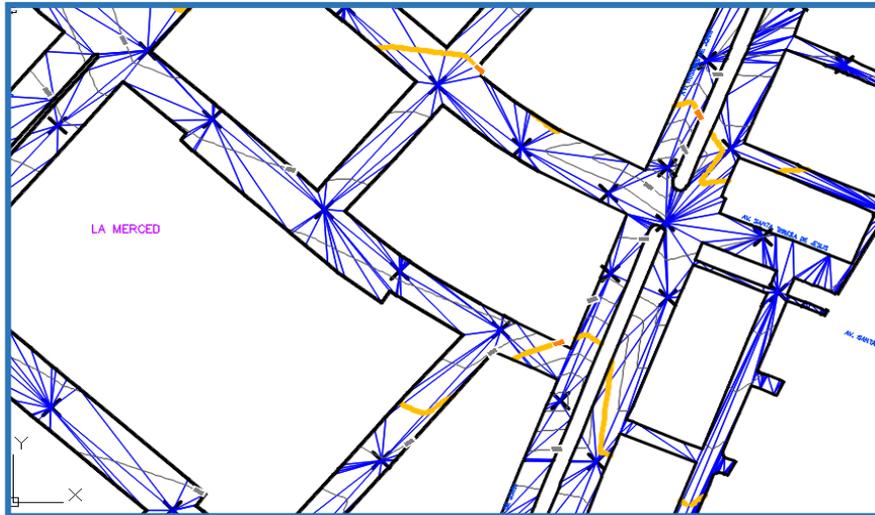
Puntos del archivo .CSV en programa Civil 3d para post proceso



Fuente: Propia

Figura 3.6

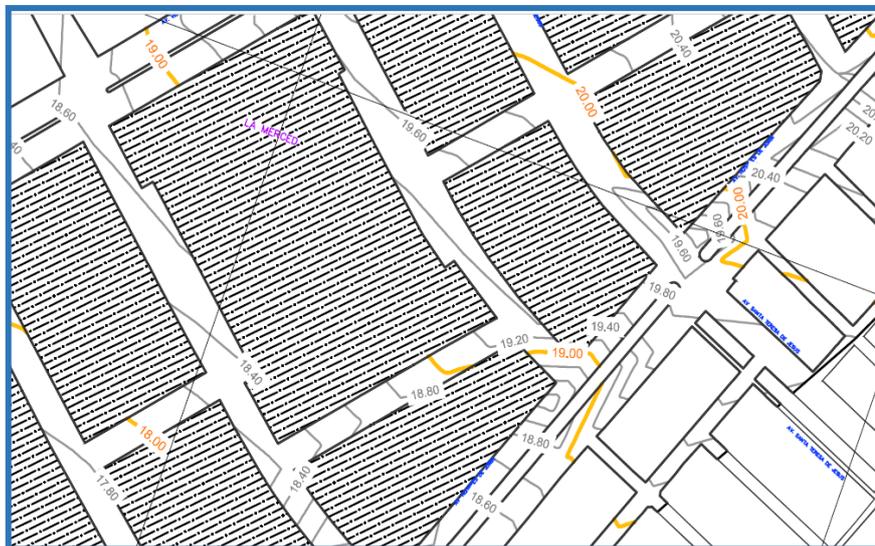
Triangulación de puntos



Fuente: Propia en Civil 3d

Figura 3.7

Parte del plano topográfico



Fuente: Propia, el plano completo se encuentra en anexos

3.6.2. Modelo hidrológico

Se extrajo del portal web del SENAMHI los datos históricos de la estación pluviométrica más cercana a la zona de estudio, llamada Estación Laredo ubicada en el departamento de La Libertad en la provincia de Trujillo con una ubicación

geográfica de latitud 8°6'43'' y longitud 78°58'7'', además de estar a una altitud de 65 m.s.n.m. En la tabla 3.1 se muestra lo recopilado

Tabla 3.1

Datos históricos pluviométricos

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| 1998 | 5.7 | 10.9 | 4.3 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 10.9 |
| 1999 | 2.4 | 4.5 | 0.0 | 0.6 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 4.5 |
| 2000 | 0.9 | 1.1 | 2.6 | 1.8 | 3.9 | 1.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 3.9 |
| 2001 | 2.2 | 1.8 | 2.0 | 1.5 | 0.0 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.5 | 2.2 |
| 2002 | 0.0 | 3.5 | 0.6 | 0.1 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | w | 0.0 | 3.4 | 0.2 | 3.5 |
| 2003 | 2.3 | 3.2 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 1.2 | 3.2 |
| 2004 | 1.9 | 3.1 | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.3 | 0.0 | 0.8 | 3.1 |
| 2005 | 0.8 | 2.6 | 1.9 | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.6 |
| 2006 | 0.2 | 3.2 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.9 | 3.2 |
| 2007 | 0.0 | 0.9 | 1.6 | 0.6 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 1.6 |
| 2008 | 0.4 | 2.5 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 2.5 |
| 2009 | 2.3 | 3.8 | 3.1 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.6 | 3.8 |
| 2010 | 0.0 | 1.7 | 1.5 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.7 |
| 2011 | 2.1 | 2.7 | 2.2 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 1.2 | 2.7 |
| 2012 | 0.6 | 0.0 | 1.1 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 1.7 | 1.7 |
| 2013 | 1.5 | 4.1 | 5.3 | * | 0.0 | 0.0 | * | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | * | 5.3 |
| 2014 | 0.5 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.7 |
| 2015 | 0.1 | 2.2 | 3.4 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | * | 0.7 | 1.1 | 3.4 |
| 2016 | 0.0 | 8.5 | 0.7 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.5 |
| 2017 | 0.0 | 4.6 | 27.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 27.2 |
| 2018 | 1.1 | 2.2 | 0.0 | 2.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 2.5 | 2.5 |
| 2019 | 1.8 | 0.6 | 7.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 3.6 | 7.9 |
| MAX | 5.7 | 10.9 | 27.2 | 2.4 | 3.9 | 1.2 | 0.4 | 0.4 | 1.9 | 0.3 | 3.4 | 3.6 | 27.2 |

Fuente: Estación Laredo (SENAMHI)

Una vez con esta data obtenida se tendría que aplicar métodos probabilísticos y ver cuál es la que más se adapta a las distribuciones estadísticas como Normal, Log Normal 2 parámetros, Log Normal 3 parámetros, Gamma 2

parámetros, Gamma 3 parámetros, Log Pearson tipo III, Gumbel y Log Gumbel. Utilizando para ver la mejor adaptación los métodos de bondad de ajuste de Chi Cuadrado o Kolmorov-Smirnov, Tal como indica el MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRAÚLICA Y DRENAJE del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Sin embargo, debido a que los datos del fenómeno del niño distorsionan este análisis, optamos por utilizar la precipitación de 27.2 mm como la precipitación máxima en 24 horas más representativa perteneciente al mes de marzo en la llegada del fenómeno del niño costero del año 2017, en consecuencia, esta precipitación se utilizó para el cálculo hidrológico que se muestra más adelante.

3.6.2.1. curva intensidad duración frecuencia

Debido a que no se tienen estaciones pluviográficas alrededor de la zona de estudio ya que estas nos mostrarían como es que se comporta la lluvia acumulada Máx. en 24 horas, pero sí se cuenta con estaciones pluviométricas como la estación de Laredo que registra las precipitaciones acumuladas en 24 h.

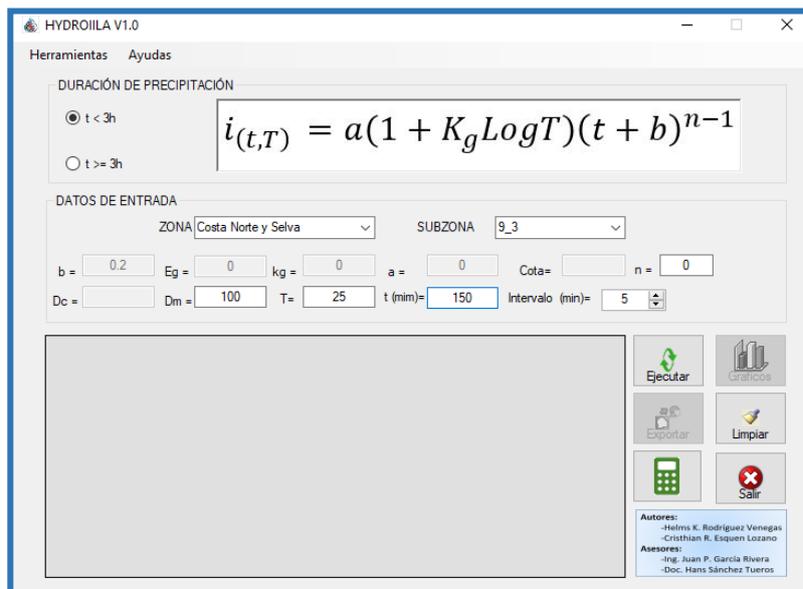
Por el motivo antes mencionado es necesario optar por diferentes metodologías existentes para obtener el comportamiento de la lluvia debido a que es muy importante saber cómo se comporta, ya que no es lo mismo decir que 27.2 mm de precipitación se acumularon en 2 horas a que decir que la misma precipitación se acumuló en 20 horas,

El primer caso es el que produce inundaciones es decir las lluvias de corta duración son las perjudiciales que llegan a inundar y en las cual nos centraremos en la presente investigación, en consecuencia, asumimos como dato para el análisis que la precipitación registrada de 27.2 mm se acumuló en 2 horas y media.

Para poder obtener la curva IDF utilizamos el método mostrado en el Estudio de hidrología del Perú que se lo conoce como ILLA SENAMHI UNI que tiene 2 fórmulas para calcular la intensidad estas están en función de varios parámetros como frecuencia, duración, tiempo de retorno, etc.

La primera fórmula hace referencia a lluvias menores a 03 horas de duración y la segunda fórmula hace referencia a lluvias que duran entre 03 y 24 horas empero para esta investigación se nos facilitó el uso del software llamado HYDROIILA como se observa en la Figura 3.8 donde contemplan todos los parámetros necesarios para obtener la curva IDF de manera casi automática, pero cabe resaltar que esta curva generada no nos sirve en cantidad, pero sí nos fue útil en la forma, en otras palabras utilizamos esta curva IDF por bloques alternos cada 05 minutos generada por el software antes mencionado y la adaptamos a nuestra lluvia más representativa de 27.2 mm como se muestra posteriormente.

Figura 3.8
Interfaz software HidroILLA



Nota: Datos elegidos de acuerdo al área de estudio.

La tabla 3.2 presenta las intensidades cada 5 minutos ya que así pusimos el parámetro en el software, además de la columna Altura de precipitación en mm con la que se construye el hietograma necesario, para el software especializado mostrado más adelante.

Tabla 3.2*Intensidad y altura de precipitación generada por HidroILLA*

| t(min) | i(mm/hr) | PP(mm) | pi-pi(mm) | Prec. Alt.(mm) |
|---------------|-----------------|---------------|------------------|-----------------------|
| 5 | 273.84 | 22.82 | 22.82 | 0.20 |
| 10 | 211.6 | 35.27 | 12.45 | 0.22 |
| 15 | 172.42 | 43.1 | 7.83 | 0.26 |
| 20 | 145.48 | 48.49 | 5.39 | 0.30 |
| 25 | 125.82 | 52.42 | 3.93 | 0.36 |
| 30 | 110.84 | 55.42 | 3.00 | 0.43 |
| 35 | 99.05 | 57.78 | 2.36 | 0.52 |
| 40 | 89.52 | 59.68 | 1.9 | 0.66 |
| 45 | 81.67 | 61.25 | 1.57 | 0.84 |
| 50 | 75.08 | 62.57 | 1.32 | 1.12 |
| 55 | 69.48 | 63.69 | 1.12 | 1.57 |
| 60 | 64.66 | 64.66 | 0.97 | 2.36 |
| 65 | 60.46 | 65.5 | 0.84 | 3.93 |
| 70 | 56.77 | 66.23 | 0.73 | 7.83 |
| 75 | 53.51 | 66.89 | 0.66 | 22.82 |
| 80 | 50.6 | 67.47 | 0.58 | 12.45 |
| 85 | 47.99 | 67.99 | 0.52 | 5.39 |
| 90 | 45.64 | 68.46 | 0.47 | 3.00 |
| 95 | 43.51 | 68.89 | 0.43 | 1.90 |
| 100 | 41.56 | 69.27 | 0.38 | 1.32 |
| 105 | 39.79 | 69.63 | 0.36 | 0.97 |
| 110 | 38.16 | 69.96 | 0.33 | 0.73 |
| 115 | 36.66 | 70.26 | 0.30 | 0.58 |
| 120 | 35.27 | 70.53 | 0.27 | 0.47 |
| 125 | 33.98 | 70.79 | 0.26 | 0.38 |
| 130 | 32.78 | 71.03 | 0.24 | 0.33 |
| 135 | 31.67 | 71.25 | 0.22 | 0.27 |
| 140 | 30.63 | 71.46 | 0.21 | 0.24 |
| 145 | 29.65 | 71.66 | 0.20 | 0.21 |
| 150 | 28.74 | 71.84 | 0.18 | 0.18 |

Fuente: Propia con la metodología del Hydroilla

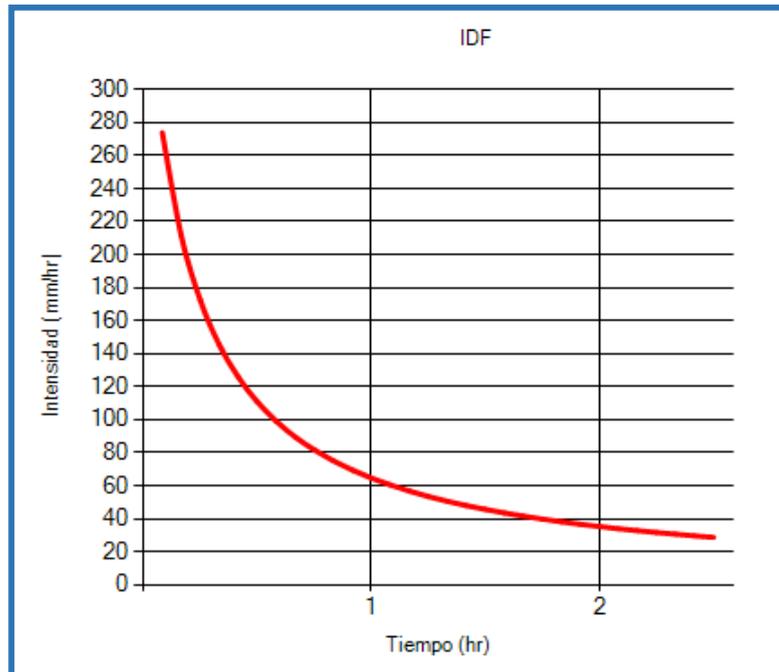
3.6.2.1.1. Curva IDF (ILLA SENAMHI UNI)

En la curva intensidad duración frecuencia graficada en la Figura 3.9 nos muestra las intensidades cada 5 minutos a lo largo de 2 horas y media. Sin embargo, esta curva no nos sirve para nuestro análisis como cantidad, pero sí nos sirve como

forma, posteriormente crearemos una curva IDF de proyecto a partir de la generada por el método ILLA SENAMHI UNI.

Figura 3.9

Curva intensidad duración



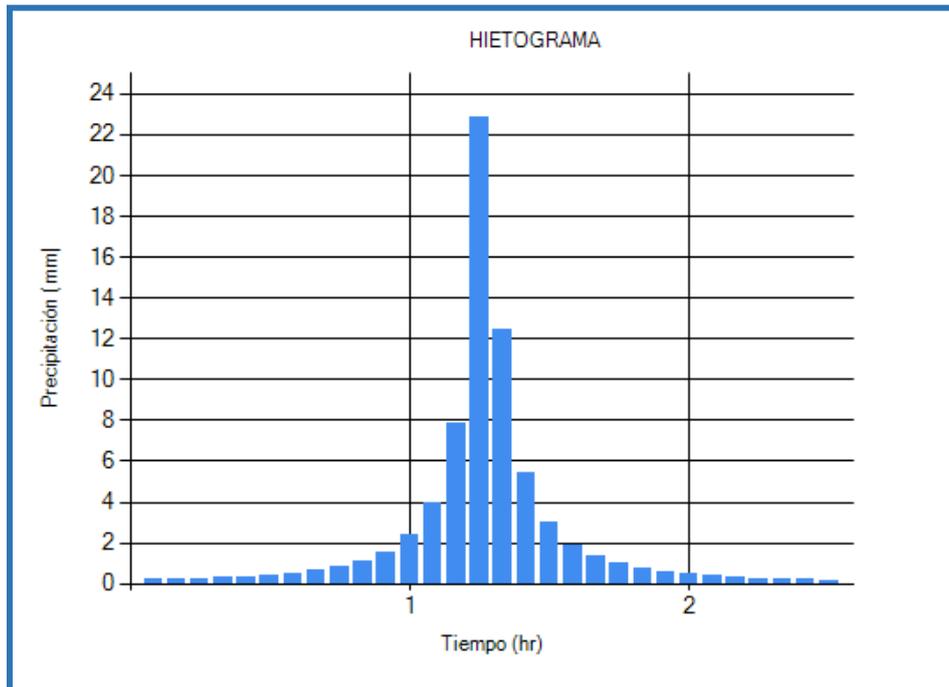
Fuente: Propia generada del Hydroilla

3.6.2.1.2. Hietograma (illa SENAMHI UNI)

El hietograma ilustrado en la Figura 3.10 se muestra el comportamiento de la precipitación, es decir para una intensidad de 28.74 mm/hr ocurrida en 2 horas y media (150 min) le corresponde 71.85 mm de precipitación acumulada, la cual no nos sirve para nuestro análisis, por este motivo los 27.2 mm de precipitación más representativa en nuestro análisis tuvimos que adaptarla a la curva IDF generada (ILLA SENAMHI UNI), esto se realizó por que no contamos con los datos necesarios para determinar el comportamiento o desagregado de la precipitación acumulada.

Figura 3.10

Hietograma generado por la metodología ILLA SENAMHI UNI



Fuente: Propia generada del Hydroilla

3.6.2.1.3. curva IDF de proyecto

Para poder adaptar los 27.2 mm de precipitación a una nueva curva IDF se la convirtió a intensidad, en consecuencia, se dividió los 27.2 mm. entre 2.5 hr. Obteniendo 10.88 mm/hr de intensidad, entonces se optó por buscar un factor para multiplicar cada intensidad de la curva IDF de la Figura 3.9.

El factor fue 0.3786 que se obtuvo de dividir 10.88 mm/hr (de los 27.2 mm convertidos a intensidad) entre 28.74 mm/hr (de la curva IDF ILLA SENAMHI UNI) por lo tanto se multiplicó cada valor de intensidad de la curva IDF de cada 5 minutos de la Figura 3.9, por el factor 0.3786 obteniendo así la Tabla 3.3, para obtener curva IDF de proyecto de la cual posteriormente obtuvimos un hietograma de proyecto que nos representa el comportamiento de nuestra precipitación más representativa de 27.2 mm la cual será usada para introducirla a un programa especializado para el diseño del sistema de drenaje urbano pluvial.

Tabla 3.3*Datos de la intensidad adaptados*

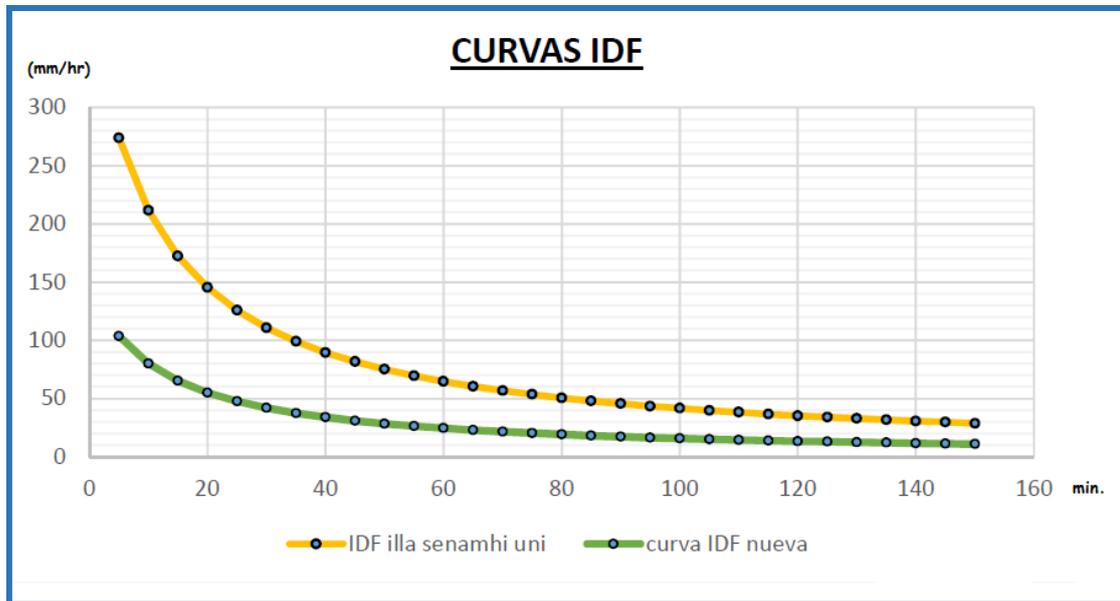
| Tiempo (min) | Intensidad ILLA(mm/hr) | Intensidad de proyecto (mm/hr) |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 273.84 | 103.67 |
| 10 | 211.6 | 80.10 |
| 15 | 172.42 | 65.27 |
| 20 | 145.48 | 55.07 |
| 25 | 125.82 | 47.63 |
| 30 | 110.84 | 41.96 |
| 35 | 99.05 | 37.50 |
| 40 | 89.52 | 33.89 |
| 45 | 81.67 | 30.92 |
| 50 | 75.08 | 28.42 |
| 55 | 69.48 | 26.30 |
| 60 | 64.66 | 24.48 |
| 65 | 60.46 | 22.89 |
| 70 | 56.77 | 21.49 |
| 75 | 53.51 | 20.26 |
| 80 | 50.6 | 19.16 |
| 85 | 47.99 | 18.17 |
| 90 | 45.64 | 17.28 |
| 95 | 43.51 | 16.47 |
| 100 | 41.56 | 15.73 |
| 105 | 39.79 | 15.06 |
| 110 | 38.16 | 14.45 |
| 115 | 36.66 | 13.88 |
| 120 | 35.27 | 13.35 |
| 125 | 33.98 | 12.86 |
| 130 | 32.78 | 12.41 |
| 135 | 31.67 | 11.99 |
| 140 | 30.63 | 11.60 |
| 145 | 29.65 | 11.22 |
| 150 | 28.74 | 10.88 |
| Factor | | 0.3786 |

Fuente: propia

Luego utilizamos las columnas Tiempo e Intensidad de proyecto de la Tabla 3.3 y graficamos la curva IDF verde de la Figura 3.11 que nos sirvió en nuestro posterior análisis, pudiendo así elaborar el hietograma de proyecto es decir que podremos visualizar el comportamiento de los 27.2 mm de precipitación a lo largo de su duración (2.5 horas).

Figura 3.11

Comparación de curvas Intensidad Duración



Fuente: propia

3.6.2.1.4. Hietograma de proyecto

A partir de la nueva curva IDF generada se realizó un procedimiento para poder construir el hietograma y fue el siguiente:

Se construyó la tabla 3.4 con las columnas “Tiempo(min)”, “intensidad(mm/hr)”, “precipitación (mm)”, diferencia de precipitaciones “ $p_i - p_{i-1}$ (mm)” y “altura de precipitación (mm)” para obtener el hietograma que nos muestra el comportamiento de la precipitación de 27.2 mm a lo largo de 2 horas y media.

La columna “Tiempo(min)” e “Intensidad(mm/hr)” se extrajeron de la Tabla 3.3, la columna “Precipitación(mm)” se obtiene como resultado del producto de la columna “Tiempo” (convertido a horas) por la columna “Intensidad(mm/hr)”

La columna Diferencia de precipitaciones “ $p_i - p_{i-1}$ (mm)” es la resta de cada fila de la columna precipitaciones, es decir una respecto a la otra, por ejemplo, la fila correspondiente a 10 minutos menos la fila correspondiente a 5 minutos da como resultado el valor de la columna “ $p_i - p_{i-1}$ (mm)” correspondiente a la fila de 10 minutos así sucesivamente hasta los 150 minutos.

Por último, la columna “altura de precipitación (mm)” es llenada en orden ascendente respecto a la columna “pi-pi(mm)” es decir se elige el mínimo valor de la columna “pi-pi(mm)” y se la coloca en la fila correspondiente a 150 minutos luego se coge el valor siguiente al mínimo y se lo coloca en fila correspondiente a 5 minutos haciendo una especie de ping pong hasta llenar toda la columna, finalmente se grafica el hietograma “tiempo(min)” vs “altura de precipitación(mm)”.

Tabla 3.4

Desagregado de lluvia de proyecto

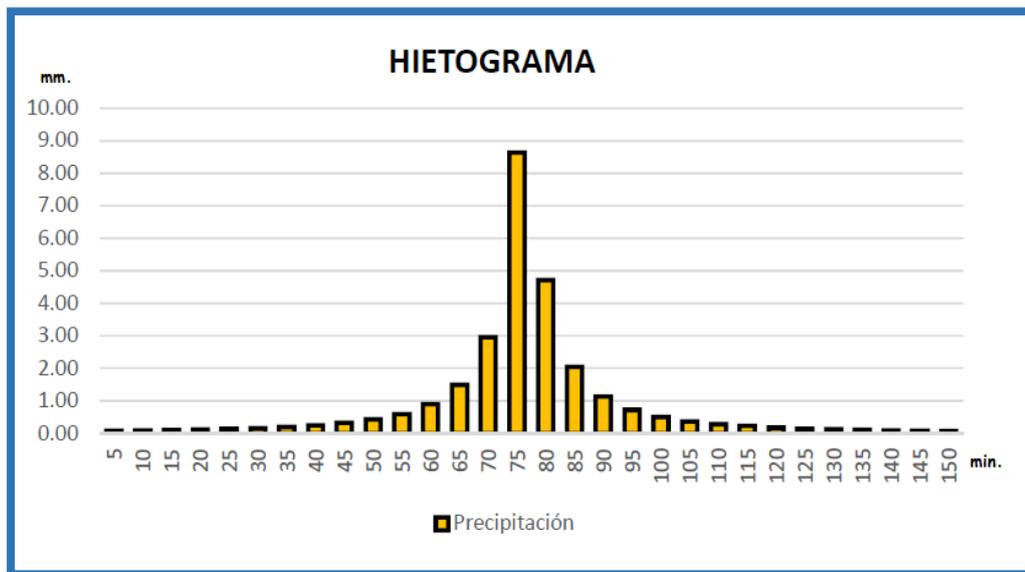
| Tiempo (min) | Intensidad ILLA(mm/hr) | Precipitacion(mm) | Pi-Pi(mm) | Alt. Prec. (mm) |
|---------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|------------------------|
| 5 | 103.67 | 8.64 | 8.639 | 0.070 |
| 10 | 80.10 | 13.35 | 4.712 | 0.089 |
| 15 | 65.27 | 16.32 | 2.967 | 0.095 |
| 20 | 55.07 | 18.36 | 2.040 | 0.115 |
| 25 | 47.63 | 19.85 | 1.488 | 0.138 |
| 30 | 41.96 | 20.98 | 1.134 | 0.163 |
| 35 | 37.50 | 21.87 | 0.893 | 0.197 |
| 40 | 33.89 | 22.59 | 0.720 | 0.248 |
| 45 | 30.92 | 23.19 | 0.595 | 0.317 |
| 50 | 28.42 | 23.69 | 0.497 | 0.425 |
| 55 | 26.30 | 24.11 | 0.425 | 0.595 |
| 60 | 24.48 | 24.48 | 0.367 | 0.893 |
| 65 | 22.89 | 24.80 | 0.317 | 1.488 |
| 70 | 21.49 | 25.07 | 0.278 | 2.967 |
| 75 | 20.26 | 25.32 | 0.248 | 8.639 |
| 80 | 19.16 | 25.54 | 0.219 | 4.712 |
| 85 | 18.17 | 25.74 | 0.197 | 2.040 |
| 90 | 17.28 | 25.92 | 0.180 | 1.134 |
| 95 | 16.47 | 26.08 | 0.163 | 0.720 |
| 100 | 15.73 | 26.22 | 0.142 | 0.497 |
| 105 | 15.06 | 26.36 | 0.138 | 0.367 |
| 110 | 14.45 | 26.48 | 0.124 | 0.278 |
| 115 | 13.88 | 26.60 | 0.115 | 0.219 |
| 120 | 13.35 | 26.70 | 0.104 | 0.180 |
| 125 | 12.86 | 26.80 | 0.095 | 0.142 |
| 130 | 12.41 | 26.89 | 0.088 | 0.124 |
| 135 | 11.99 | 26.98 | 0.089 | 0.104 |
| 140 | 11.60 | 27.06 | 0.080 | 0.088 |
| 145 | 11.22 | 27.13 | 0.070 | 0.080 |
| 150 | 10.88 | 27.20 | 0.074 | 0.074 |

Fuente: propia

Luego graficamos el hietograma de la curva IDF que viene a ser el hietograma de proyecto mostrado en la Figura 3.12, es decir hallamos el comportamiento de la precipitación acumulada de 27.2 mm a lo largo de 150 min (2h y 30 min) que será utilizada en los datos de entrada de un software especializado, el cual se utilizó el hietograma para los cálculos hidrológicos.

Figura 3.12

Hietograma de proyecto



Fuente: propia

3.6.3. Propuesta del sistema urbano pluvial

3.6.3.1. Delimitación de cuencas urbanas

Para poder hacer la delimitación de sub cuencas tuvimos que tener en cuenta la topografía e imaginar hacia donde se dirige la escorrentía producida por la precipitación, en la Figura 3.13 se muestra las cuencas delimitadas asignadas a un número el cual representa su codificación. Por ejemplo, el N° 1 representa la Sub Cuenca 1, así sucesivamente hasta la Sub cuenca 31.

También, se presenta la Tabla 3.5 con datos de las características de las sub cuencas como áreas, pendientes, anchos característicos, porcentaje de área impermeable y porcentaje de área impermeable sin encharcamiento, para posteriormente introducirlos en un software especializado para el correcto cálculo hidrológico.

3.6.3.2. Características de las cuencas

Tabla 3.5

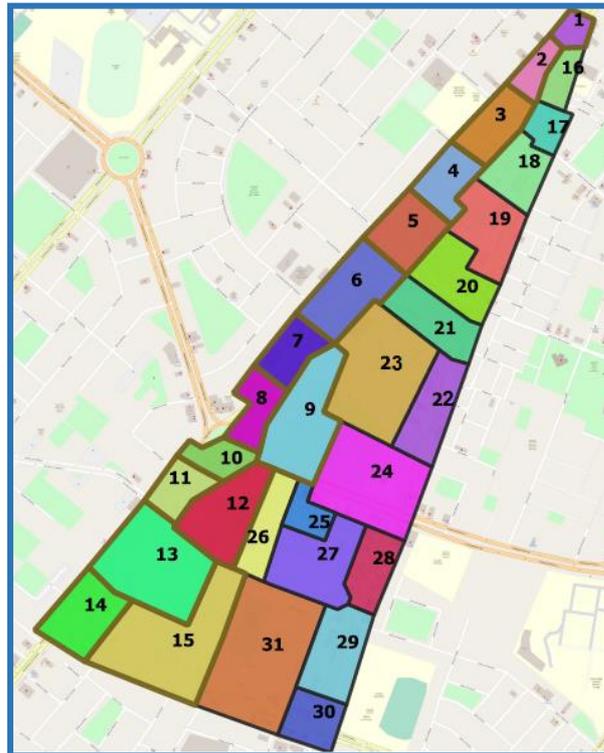
Características de las sub-cuencas

| Cuenca | Descarga | Area (Has) | Area Imper.(%) | Ancho Caracteris. (m) | Pen-diente (%) | A. Imper. Sin Enchar.(%) |
|---------------|-----------------|-------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Sub1 | Bz1 | 0.41 | 75.00 | 60.00 | 0.84 | 33.00 |
| Sub2 | Bz2 | 0.60 | 70.00 | 51.00 | 1.48 | 36.00 |
| Sub3 | Bz3 | 1.23 | 65.00 | 75.00 | 0.83 | 25.00 |
| Sub4 | Bz4 | 1.12 | 65.00 | 97.00 | 0.73 | 24.00 |
| Sub5 | Bz5 | 1.40 | 65.00 | 127.00 | 0.97 | 22.00 |
| Sub6 | Bz6 | 1.96 | 65.00 | 116.00 | 0.68 | 21.00 |
| Sub7 | Bz7 | 1.03 | 75.00 | 79.00 | 1.65 | 22.00 |
| Sub8 | Bz8 | 0.98 | 65.00 | 74.00 | 1.69 | 20.00 |
| Sub9 | Bz9 | 2.51 | 50.00 | 113.00 | 0.69 | 11.00 |
| Sub10 | Bz10 | 0.77 | 65.00 | 60.00 | 1.67 | 25.00 |
| Sub11 | Bz11 | 0.93 | 65.00 | 73.00 | 0.52 | 30.00 |
| Sub12 | Bz12 | 1.97 | 50.00 | 110.00 | 0.81 | 12.00 |
| Sub13 | Bz13 | 3.17 | 55.00 | 146.00 | 0.65 | 16.00 |
| Sub14 | Bz14 | 1.03 | 60.00 | 89.00 | 0.97 | 28.00 |
| Sub15 | Bz15 | 2.65 | 60.00 | 202.00 | 0.68 | 18.00 |
| Sub16 | Bz16 | 0.62 | 65.00 | 62.00 | 0.78 | 26.00 |
| Sub17 | Bz17 | 0.61 | 80.00 | 68.00 | 0.57 | 29.00 |
| Sub18 | Bz18 | 1.24 | 65.00 | 88.00 | 2.00 | 23.00 |
| Sub19 | Bz19 | 1.72 | 80.00 | 109.00 | 1.35 | 18.00 |
| Sub20 | Bz20 | 1.62 | 75.00 | 101.00 | 0.81 | 20.00 |
| Sub21 | Bz21 | 1.52 | 75.00 | 83.00 | 1.18 | 17.00 |
| Sub22 | Bz22 | 1.56 | 75.00 | 178.00 | 1.22 | 25.00 |
| Sub23 | Bz23 | 3.58 | 50.00 | 156.00 | 0.47 | 7.00 |
| Sub24 | Bz24 | 3.21 | 35.00 | 157.00 | 1.46 | 17.00 |
| Sub25 | Bz25 | 0.63 | 75.00 | 68.00 | 1.27 | 13.00 |
| Sub26 | Bz26 | 1.07 | 75.00 | 56.00 | 1.08 | 21.00 |
| Sub27 | Bz27 | 2.12 | 70.00 | 143.00 | 1.20 | 11.00 |
| Sub28 | Bz28 | 1.15 | 70.00 | 75.00 | 0.60 | 21.00 |
| Sub29 | Bz29 | 1.31 | 70.00 | 95.00 | 1.31 | 19.00 |
| Sub30 | Bz30 | 0.75 | 80.00 | 87.00 | 0.75 | 26.00 |
| Sub31 | Bz31 | 3.64 | 65.00 | 159.00 | 0.72 | 16.00 |

Fuente: propia

Figura 3.13

Delimitación de sub cuencas urbanas



Fuente: propia elaborada en Qgis

3.6.3.3. Ubicación de buzones

Para ubicar los buzones se tuvo en cuenta varios aspectos como la separación entre ellos, se ubicaron preferentemente en intersecciones de calles, generalmente se los ubicó donde se daban las depresiones topográficas, para poder tener una mejor administración de los datos se dividió en 2 subsistemas los cuales llamamos sub sistema de la izquierda y subsistema de la derecha, existiendo un total de 31 buzones tal como se muestra en la Figura 3.14 los buzones del 1 al 15 pertenecen al sub subsistema de la izquierda y del buzón 15 al 31 pertenecen al subsistema de la derecha, además de 2 salidas de descarga que los contabilizamos como buzones las cuales llamamos Salida1 y Salida2, también se muestran las características de los buzones propuestos en la Tabla 3.6.

Se utilizó el software Qgis para tener ordenada la información georreferenciada que posteriormente la utilizamos en otro software llamado SWMM 5.1 para el modelado.

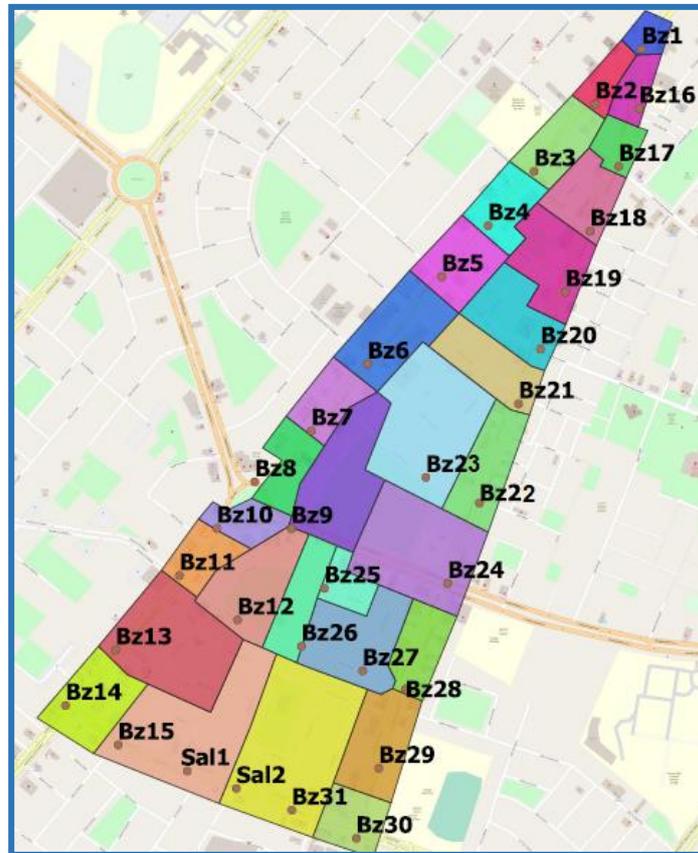
Tabla 3.6*Características de los buzones*

| Buzón | Cota Fondo (m) | Altura Buzón (m) | Cota de Tapa (m) |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Bz1 | 21.67 | 1.70 | 23.37 |
| Bz2 | 20.60 | 2.07 | 22.67 |
| Bz3 | 19.47 | 2.79 | 22.26 |
| Bz4 | 18.51 | 2.20 | 20.71 |
| Bz5 | 17.58 | 2.77 | 20.35 |
| Bz6 | 16.33 | 2.30 | 18.63 |
| Bz7 | 15.35 | 2.56 | 17.91 |
| Bz8 | 14.26 | 2.34 | 16.60 |
| Bz9 | 14.94 | 1.70 | 16.64 |
| Bz10 | 13.46 | 2.22 | 15.68 |
| Bz11 | 12.66 | 3.13 | 15.79 |
| Bz12 | 13.26 | 1.70 | 14.96 |
| Bz13 | 11.29 | 3.40 | 14.69 |
| Bz14 | 10.28 | 2.81 | 13.09 |
| Bz15 | 9.47 | 3.03 | 12.50 |
| Sal1 | 9.05 | - | - |
| Bz16 | 21.80 | 1.80 | 23.60 |
| Bz17 | 21.00 | 2.03 | 23.03 |
| Bz18 | 19.58 | 2.50 | 22.08 |
| Bz19 | 18.43 | 2.10 | 20.53 |
| Bz20 | 17.31 | 2.60 | 19.91 |
| Bz21 | 16.50 | 2.30 | 18.80 |
| Bz22 | 15.45 | 2.00 | 17.45 |
| Bz23 | 16.02 | 1.70 | 17.72 |
| Bz24 | 14.58 | 2.00 | 16.58 |
| Bz25 | 15.35 | 2.00 | 17.35 |
| Bz26 | 14.44 | 2.20 | 16.64 |
| Bz27 | 13.58 | 1.70 | 15.28 |
| Bz28 | 13.08 | 2.50 | 15.58 |
| Bz29 | 12.12 | 2.10 | 14.22 |
| Bz30 | 11.14 | 2.60 | 13.74 |
| Bz31 | 10.32 | 3.00 | 13.32 |
| Sal2 | 9.50 | - | - |

Fuente: propia

Figura 3.14

Ubicación de buzones en Qgis



Fuente: propia

3.6.3.4. Ubicación de tuberías

Para la ubicación de tuberías se propuso tal como se muestra en la Figura 3.15, que consta de 31 tuberías unidas de buzón a buzón con pendientes que varían desde 0.5 % y 1.4 % a fin de evitar erosión y sedimentación, con longitudes que van desde los 80 hasta los 196 metros, además se consideró una rugosidad de tubería circular de $n=0.016$, las demás características necesarias para el pos proceso se muestran el Tabla 3.7.

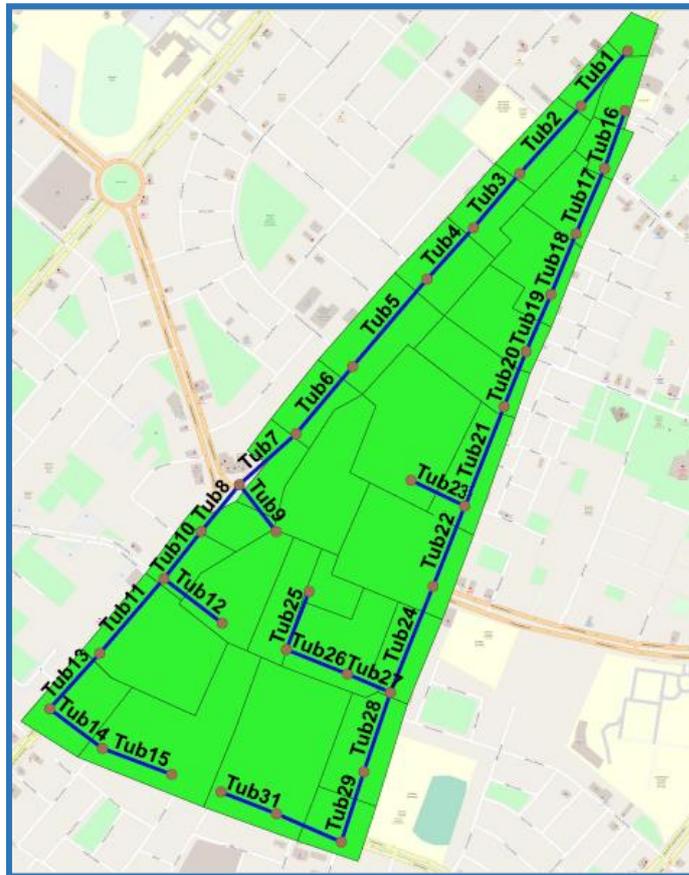
Tabla 3.7*Características de las tuberías del sistema propuesto*

| Tubería | Del Bz | Al Bz | Longitud (m) | Cota Input (m) | Cota Output (m) | Diámetro (m) |
|----------------|---------------|--------------|---------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| Tub1 | Bz1 | Bz2 | 121.00 | 21.67 | 20.60 | 0.40 |
| Tub2 | Bz2 | Bz3 | 154.00 | 20.60 | 19.47 | 0.50 |
| Tub3 | Bz3 | Bz4 | 120.00 | 19.47 | 18.51 | 0.70 |
| Tub4 | Bz4 | Bz5 | 116.00 | 18.51 | 17.58 | 0.70 |
| Tub5 | Bz5 | Bz6 | 194.00 | 17.58 | 16.38 | 0.80 |
| Tub6 | Bz6 | Bz7 | 148.00 | 16.53 | 15.35 | 0.80 |
| Tub7 | Bz7 | Bz8 | 136.00 | 15.35 | 14.26 | 0.90 |
| Tub8 | Bz8 | Bz10 | 101.00 | 14.26 | 13.46 | 0.90 |
| Tub9 | Bz9 | Bz8 | 143.00 | 15.20 | 14.40 | 0.60 |
| Tub10 | Bz10 | Bz11 | 100.00 | 13.46 | 12.71 | 0.90 |
| Tub11 | Bz11 | Bz13 | 172.00 | 12.66 | 11.29 | 1.00 |
| Tub12 | Bz12 | Bz11 | 122.00 | 13.26 | 12.85 | 0.70 |
| Tub13 | Bz13 | Bz14 | 127.00 | 11.29 | 10.40 | 1.10 |
| Tub14 | Bz14 | Bz15 | 110.00 | 10.38 | 9.65 | 1.10 |
| Tub15 | Bz15 | Sal1 | 125.00 | 9.65 | 9.00 | 1.20 |
| Tub16 | Bz16 | Bz17 | 104.00 | 21.80 | 21.00 | 0.50 |
| Tub17 | Bz17 | Bz18 | 120.00 | 21.00 | 19.58 | 0.50 |
| Tub18 | Bz18 | Bz19 | 111.00 | 19.58 | 18.43 | 0.70 |
| Tub19 | Bz19 | Bz20 | 105.00 | 18.43 | 17.31 | 0.70 |
| Tub20 | Bz20 | Bz21 | 100.00 | 17.31 | 16.50 | 0.90 |
| Tub21 | Bz21 | Bz22 | 180.00 | 16.50 | 15.45 | 0.90 |
| Tub22 | Bz22 | Bz24 | 146.00 | 15.45 | 14.58 | 0.80 |
| Tub23 | Bz23 | Bz22 | 100.00 | 16.22 | 15.45 | 1.00 |
| Tub24 | Bz24 | Bz28 | 193.00 | 14.58 | 13.38 | 1.10 |
| Tub25 | Bz25 | Bz26 | 105.00 | 14.56 | 14.04 | 0.50 |
| Tub26 | Bz26 | Bz27 | 111.00 | 14.04 | 13.68 | 0.60 |
| Tub27 | Bz27 | Bz28 | 80.00 | 13.58 | 13.28 | 1.00 |
| Tub28 | Bz28 | Bz29 | 142.00 | 13.28 | 12.12 | 1.10 |
| Tub29 | Bz29 | Bz30 | 124.00 | 12.12 | 11.14 | 1.10 |
| Tub30 | Bz30 | Bz31 | 120.00 | 11.14 | 10.32 | 1.20 |
| Tub31 | Bz31 | Sal2 | 100.00 | 10.32 | 9.50 | 1.20 |

Fuente: propia

Figura 3.15

Trazo de tuberías en Qgis



Fuente: propia

3.6.4. Modelamiento en SWMM

Con lo desarrollado hasta el momento, se procede a procesar los datos básicos de ingeniería tanto de la topografía obtenida a partir de cotas de los de los buzones de desagüe sacado de los planos de SEDALIB, esto se logró gracias a los puntos con PENZD(punto, este, norte, elevación y descripción) obtenidos de dichos planos en el software Civil 3D y el modelo hidrológico el cual fue obtenido mediante la formulación propuesta por el estudio de ILLA SENAMHI UNI utilizando el software HYDROYLLA ya que este nos muestra una realidad más cercana a la local ya que en la mayoría de investigaciones utilizan una gráfica del SCS de EEUU, la cual esta se hizo acorde a sus precipitaciones las cuales son diferentes a las de nuestra región.

Obteniendo la curva de intensidad, duración para un periodo de retorno de 25 años, dicha curva nos sirvió como forma y esta fue adaptada para nuestra precipitación máx. registrada en 24 horas que fue de 27.2 mm según SENAMHI, luego utilizamos estos datos en el software especializado SWMM V.5.1 para el cálculo hidráulico del sistema de drenaje urbano pluvial en el cual se configura el entorno de trabajo como algunas propiedades innatas del programa que serán detalladas más adelante, en consecuencia se ubicó las sub cuencas urbanas las cuales fueron trazadas a criterio propio, en el programa Qgis 3.4, luego se asignó una lluvia de diseño a la cual se introdujo las intensidades obtenidas anteriormente y las cuales están representadas en bloques alternos, además se ubicó los buzones donde serán descargadas provenientes de las subcuencas y se unió cada buzón mediante tuberías de con una rugosidad de 0.016 el cual le indica al programa que la superficie es de PVC, luego mediante un proceso iterativo se ubicaron las cotas de fondo de buzones y las cotas de las tuberías y las cotas de salidas del sistema hasta encontrar los diámetros y cotas correctos para que el sistema funcione correctamente, sin embargo por un tema de practicidad de redacción el resultado final de la iteración se la presentó como propuesta del sistema de drenaje.

3.6.4.1. Pasos para modelado

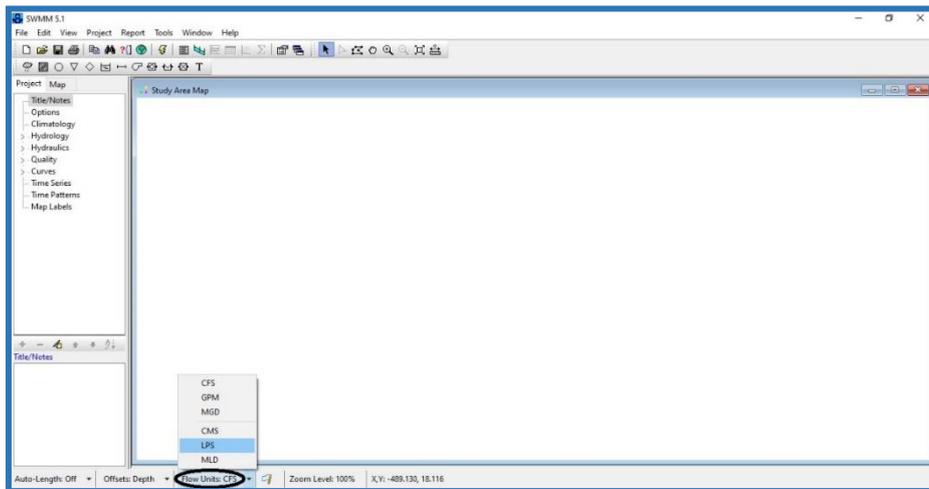
Se utilizó el software SWMM V. 5.1 (modelo de gestión de aguas pluviales) de la agencia de protección Ambiental(EPA) de los Estados Unidos en el cual se trabajó la parte hidrológica e hidráulica del sistema de drenaje.

3.6.4.1.1. Paso 1

Se configura el entorno de trabajo, el software utilizado viene por defecto en inglés, además de acrónimos de las unidades del caudal “flow units” que significan lo siguiente CFS (pies cúbicos por segundo), GPM (galones por minuto), MGD (miles de galones por día), CMS (metros cúbicos por segundo), LPS (litros por segundo), MLD (miles de litros por día) en el presente proyecto utilizamos LPS, tal como se muestra en la Figura 3.16.

Figura 3.16

Elección de las unidades a trabajar



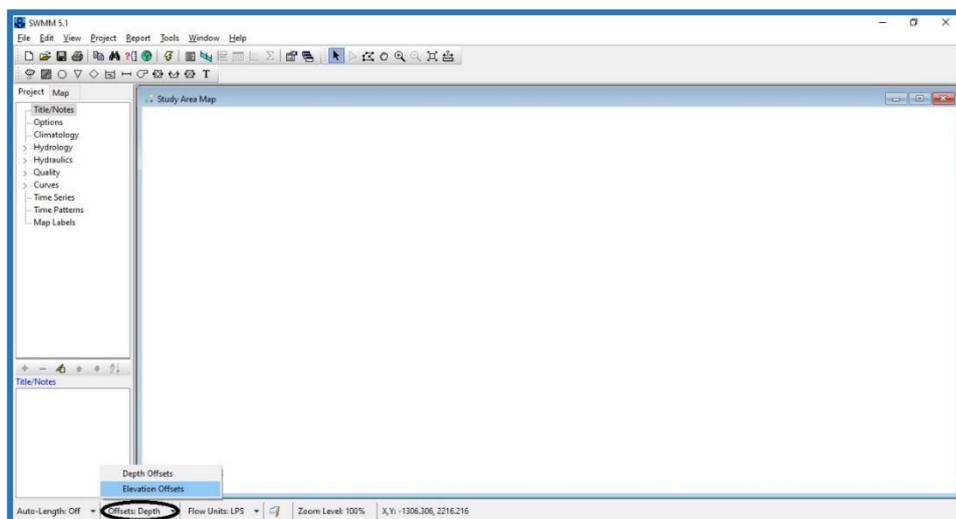
Fuente: propia

3.6.4.1.2. Paso 2

La siguiente opción a configurar es “Offsets” que tiene dos opciones: “Depth Offsets” y “Elevation Offsets”, si elegimos la primera nosotros le indicaremos al programa que nuestros datos a ingresar al sistema será la profundidad, es decir la distancia entre la tubería y el fondo de buzón por el contrario si utilizamos la segunda opción, el programa utilizará la cota de tubería independientemente de la cota de fondo del buzón, para este proyecto utilizamos “Elevation offsets” tal como se muestra en la Figura 3.17.

Figura 3.17

Configurando el Offsets



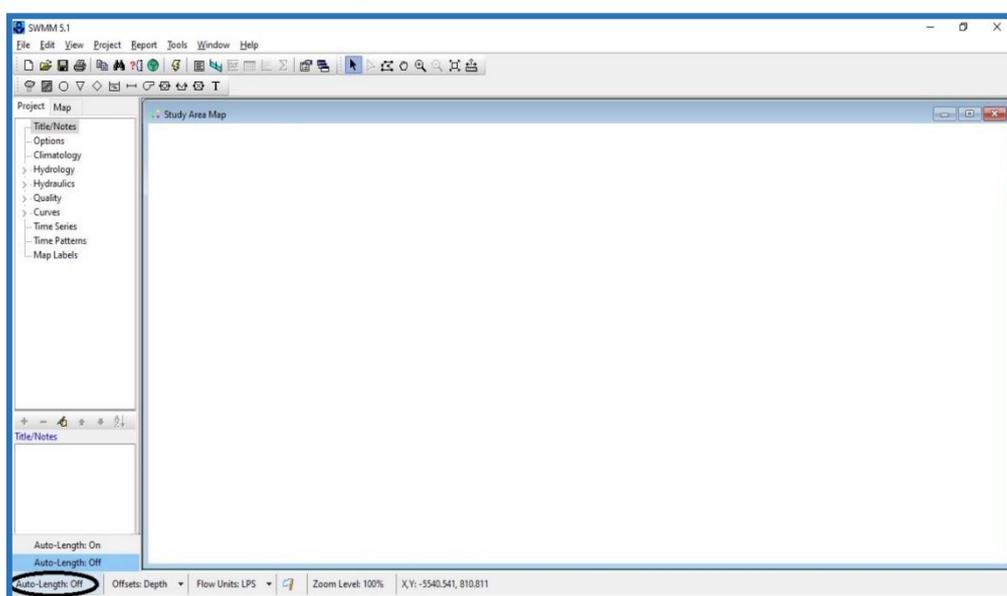
Fuente: propia

3.6.4.1.3. Paso 3

El siguiente paso es la modificación de “Auto-Length” que también muestra 2 opciones la primera es “Auto-Length On” y la otra “Auto-Length Off”, la primera significa que lo que dibujemos en el área de trabajo del software estará escalado y tendrá en cuenta las longitudes modeladas a la hora del cálculo, y con la segunda opción le indicamos al programa, que lo que dibujamos será simplemente como un croquis, es decir que no importa mucho la precisión de lo dibujado sino los datos introducidos a los elementos dentro del software, nosotros utilizamos la segunda opción en el proyecto tal como se muestra en la Figura 3.18:

Figura 3.18

Elección de Auto-Length: Off



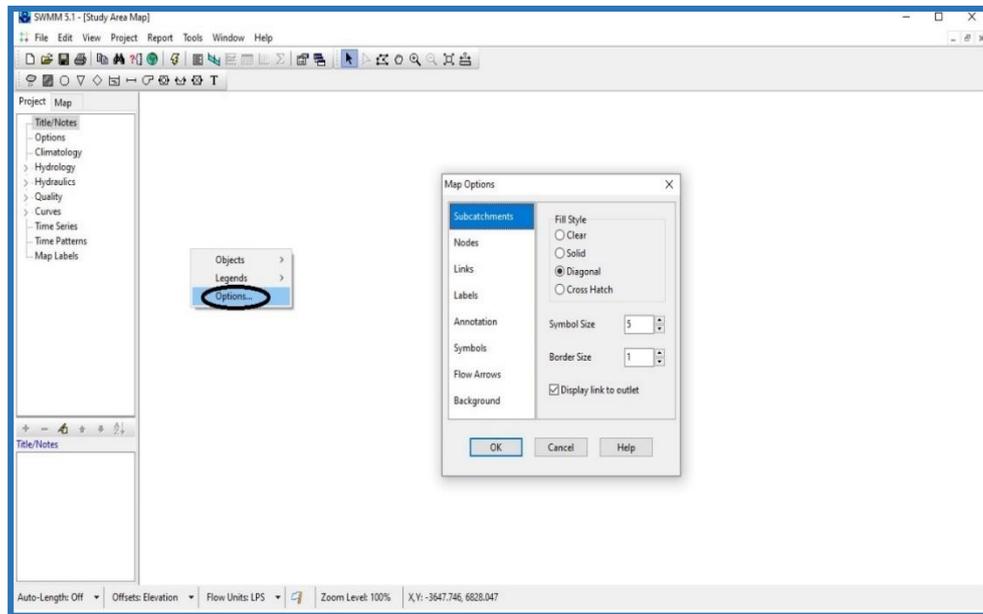
Fuente: propia

3.6.4.1.4. Paso 4

Posteriormente se configura las etiquetas que vienen por defecto, se hace esto para que cuando ya se modele el sistema se nos facilite en la colocación del nombre de cada elemento ya sea lluvia, tubería, sub-cuenca, buzón o salida del sistema para esto se da en la pestaña “Project” en la opción “Default” y se llena tal como se muestra en la Figura 3.20, luego en la pestaña “Subcatchments” se llena como se muestra en la Figura 3.21, a continuación se configura la pestaña “Node/links” como se observa en la Figura 3.22, por último para poder darle un mejor aspecto a los elementos del modelado se modifica dando click derecho en el área de trabajo del

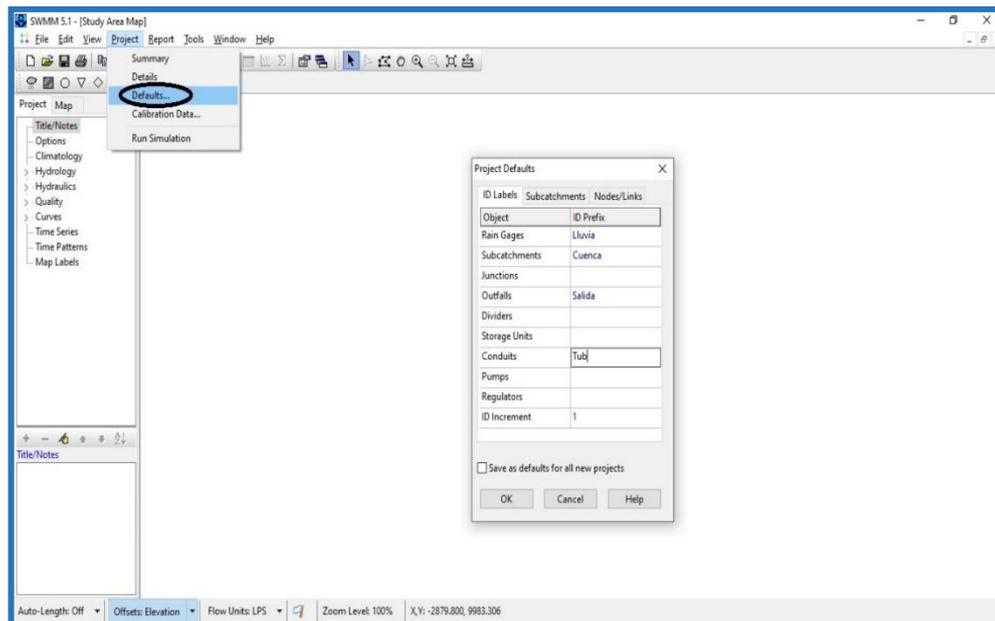
software en la opción “Options” y se modifica lo que se crea conveniente para poder tener una mejor visualización del sistema a modelar como se muestra en la Figura 3.19

Figura 3.19
Configuración predeterminada



Fuente: propia

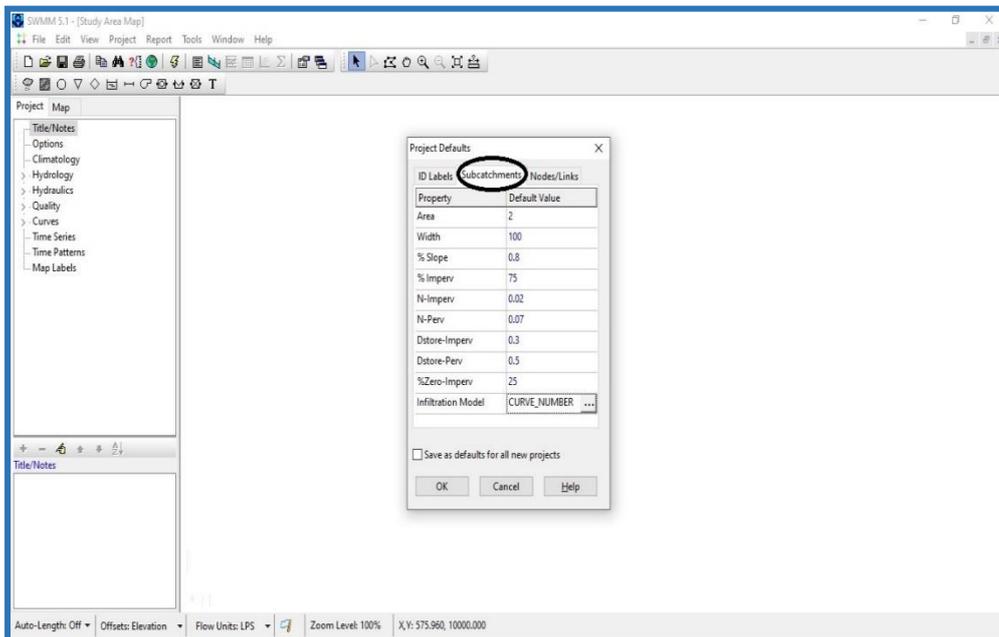
Figura 3.20
Configurando Etiquetas



Fuente: propia

Figura 3.21

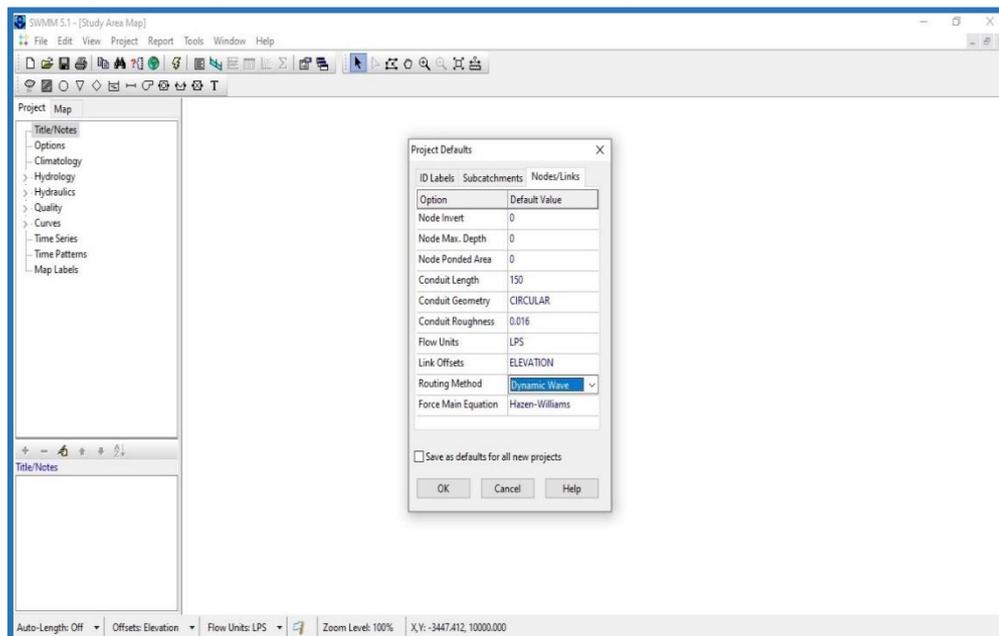
Configuración predeterminada de cuencas



Fuente: propia

Figura 3.22

Configuración predeterminada de buzones y tuberías.



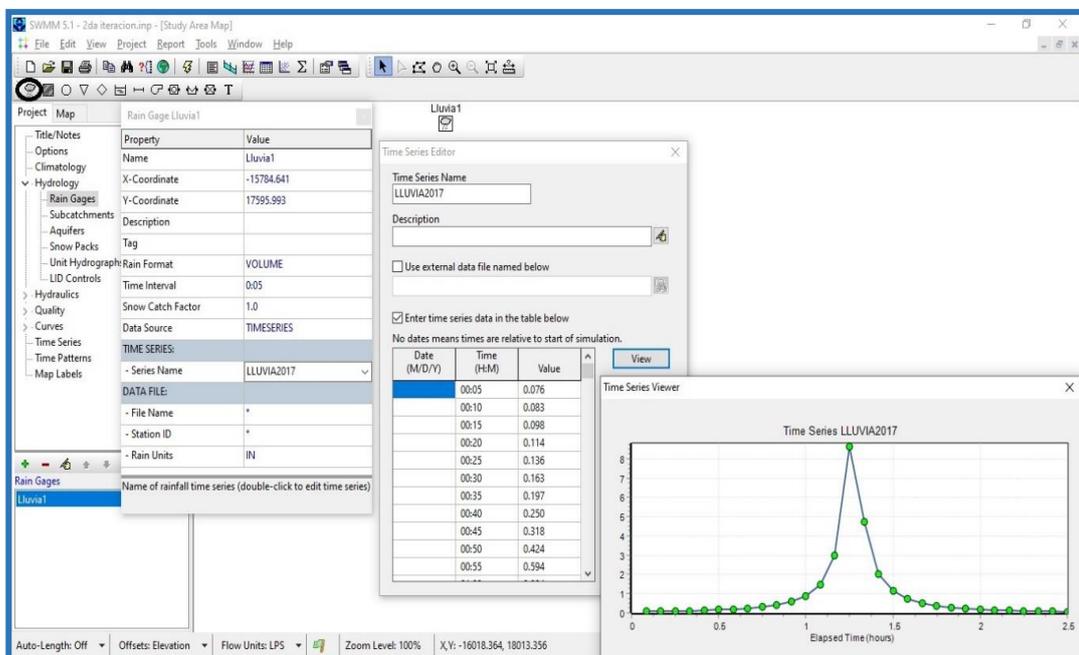
Fuente: propia

3.6.4.1.5. Paso 5

En este paso se dibuja e introduce los datos del hietograma de proyecto realizados en los pasos previos, para lograr esto se ubica la imagen de la nube de la barra de dibujo, luego se asigna el formato de VOLUME ya que el desagregado de la lluvia se desarrolló cada 5 minutos, durante una duración de 2 horas y 30 min, al hietograma de proyecto al cual llamamos Lluvia1 con un time series llamado LLUVIA2017 como se muestra en la Figura 3.23.

Figura 3.23

Insertando datos hidrológicos al software SWMM



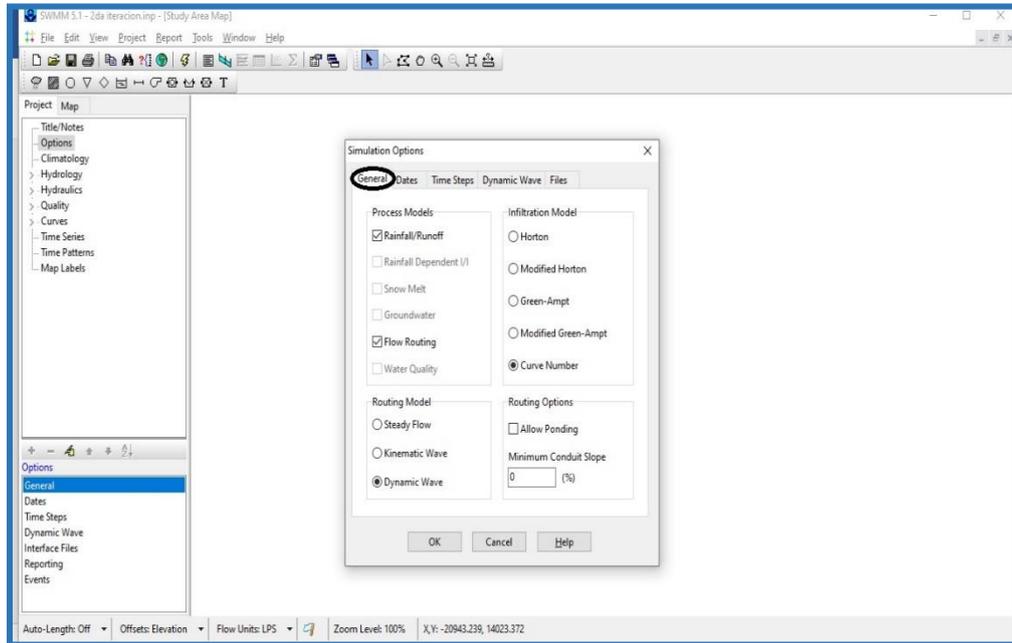
Fuente: propia

3.6.4.1.6. Paso 6

En este paso se configura los campos necesarios para el correcto cálculo, en la parte izquierda de la Figura 3.24 se seleccionó la opción "General" y se hace los cambios necesarios, como tipo de infiltración fórmulas a usar, etc. Luego la pestaña "Dates" se configura la fecha y duración de la simulación, tal como se muestra en la Figura 3.25, luego en la pestaña "time steps" se configura los datos acerca del reporte y se lo deja como se observa en la Figura 3.26, finalmente se configura los datos de la fórmula de la onda dinámica mostrados en la Figura 3.27.

Figura 3.24

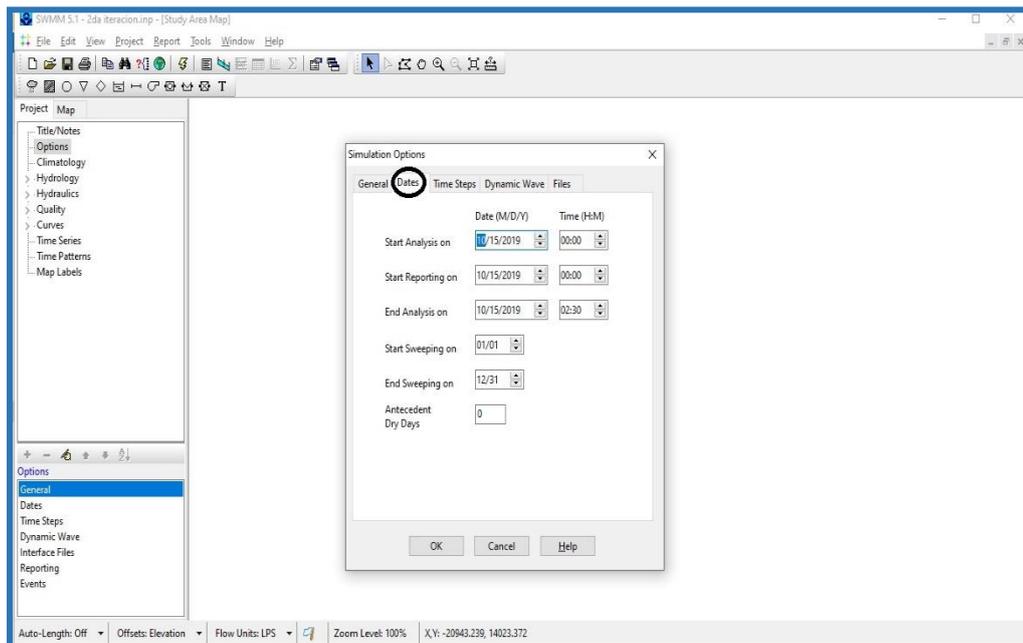
Configuración de la lluvia, elección de la onda dinámica y elección del modelo de infiltración



Fuente: propia

Figura 3.25

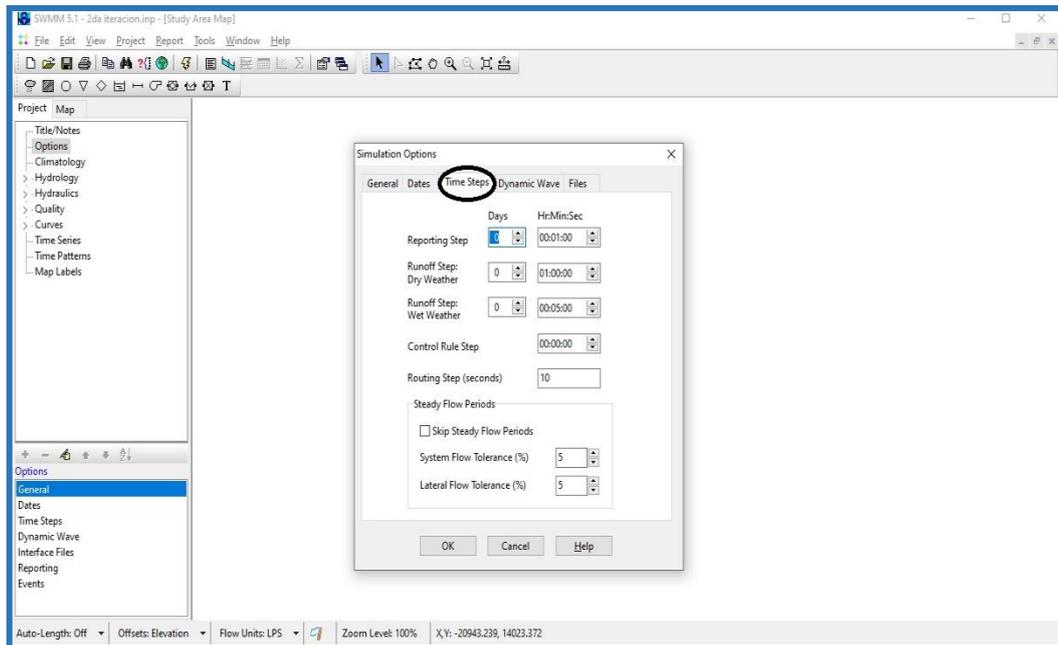
Configuración del tiempo de duración de lluvia



Fuente: propia

Figura 3.26

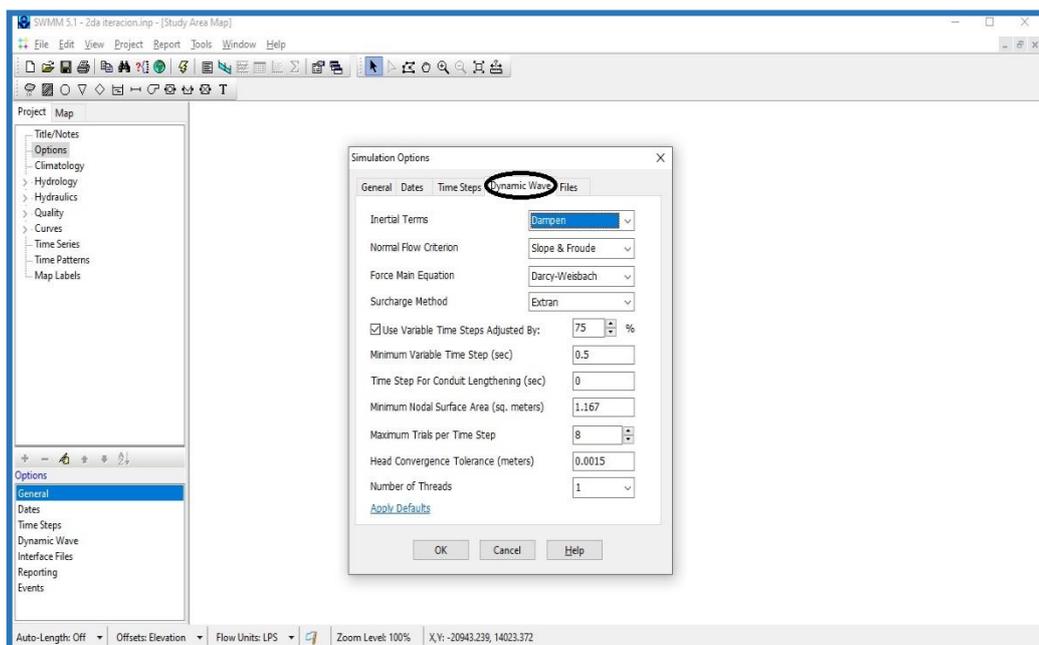
Configuración de duración del intervalo de tiempo durante el calculo



Fuente: propia

Figura 3.27

Configuración de la onda dinámica



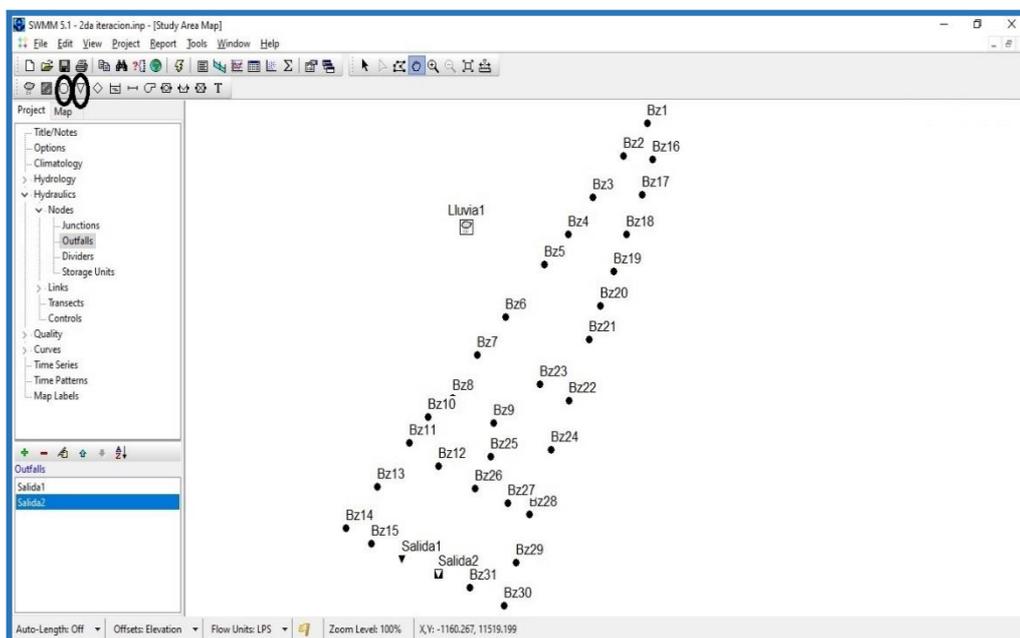
Fuente: propia

3.6.4.1.7. Paso 7

Se dibujó los buzones ubicando el círculo sin achurado en la barra de dibujo, luego se ubicó los buzones propuestos en la parte inicial del capítulo 3, que consta de 31 buzones repartidos en 2 sub sistemas el primer sub sistema a lado izquierdo con una descarga o salida, llamada Salida1 y el segundo sub sistema en la parte derecha que descarga en la Salida 2 como se observa en la Figura 3.28

Figura 3.28

Modelado de buzones



Fuente: propia

3.6.4.1.8. Paso 8

Para el trazado de tuberías como se ve en la Figura 3.29 se tuvo en cuenta el buzón para la nomenclatura, por ejemplo para la Tubería1 sale del Buzón1, para la Tubería2 sale del Buzón2 y así sucesivamente, para el llenado de data importante para el cálculo, se seleccionó 2 veces seguidas el elemento para poder asignar algunas características como la rugosidad, diámetro, cotas, etc.

Para poder dibujar las cuencas de una manera ordenada se extrajo una imagen de sastplanet system en formato .w que contrapone con un KML generado en Qgis como se muestra en la Figura 3.30, posteriormente se exporta en el SWMM v5.1

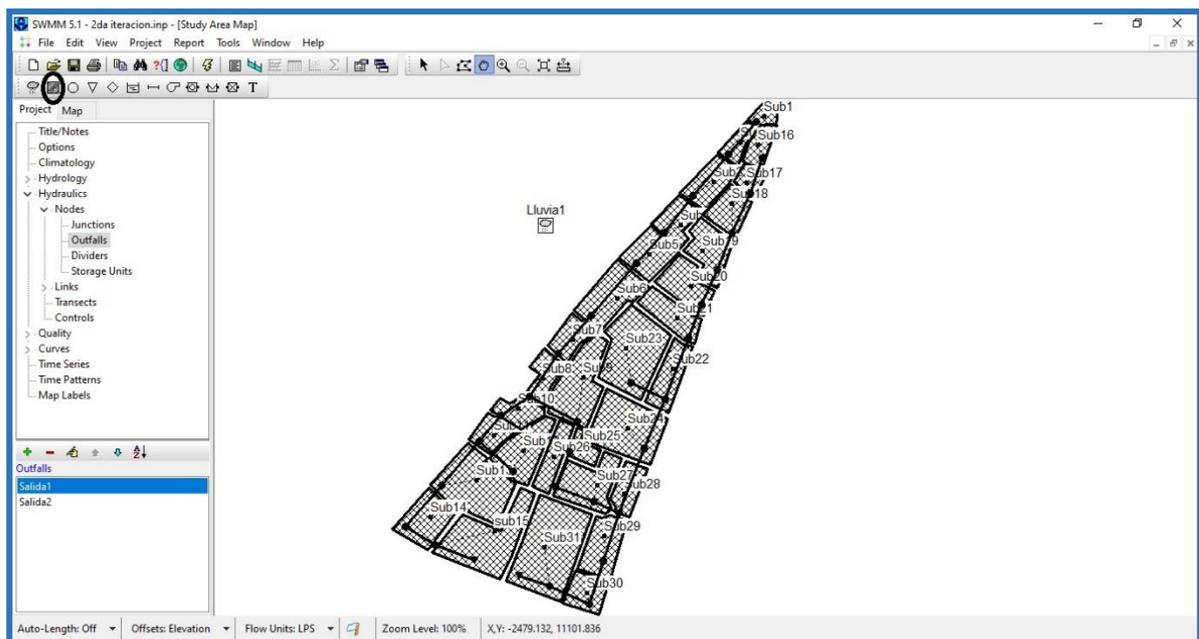
3.6.4.1.9. Paso 9

Se dibuja las sub cuencas llamadas “Sub-” representadas por polígonos en los cuales fueron trabajados en la delimitación de sub cuencas obteniendo datos como área en hectáreas, área permeable en porcentaje, área permeable sin encharcamiento en porcentaje, pendiente en porcentaje, y ancho característico en metros, este último dato es muy importante para las cuencas urbanas, así como el tiempo de concentración lo es para las cuencas rurales.

En consecuencia, se dibujó el croquis del sistema propuesto como se muestra en la Figura 3.31, los elementos mostrados se trabajaron en los softwares Civil 3d y Qgis que fueron desarrollados y tabulados anteriormente, además se muestra la lluvia representada en el programa por la imagen de una nube, las sub cuencas, los nodos o buzones, las tuberías y la salida o evacuación del sistema que este caso propusimos 2 salidas, antes de correr el programa se verifica q los datos del proyecto sean los correctos es decir que los datos ingresados al sistema de drenaje sean los propuestos anteriormente, como por ejemplo el modelo de infiltración, tamaño de tuberías, cotas, diámetros, cotas de buzones, cotas de salidas del sistema, para esto se sigue lo mostrado en la Figura 3.32.

Figura 3.31

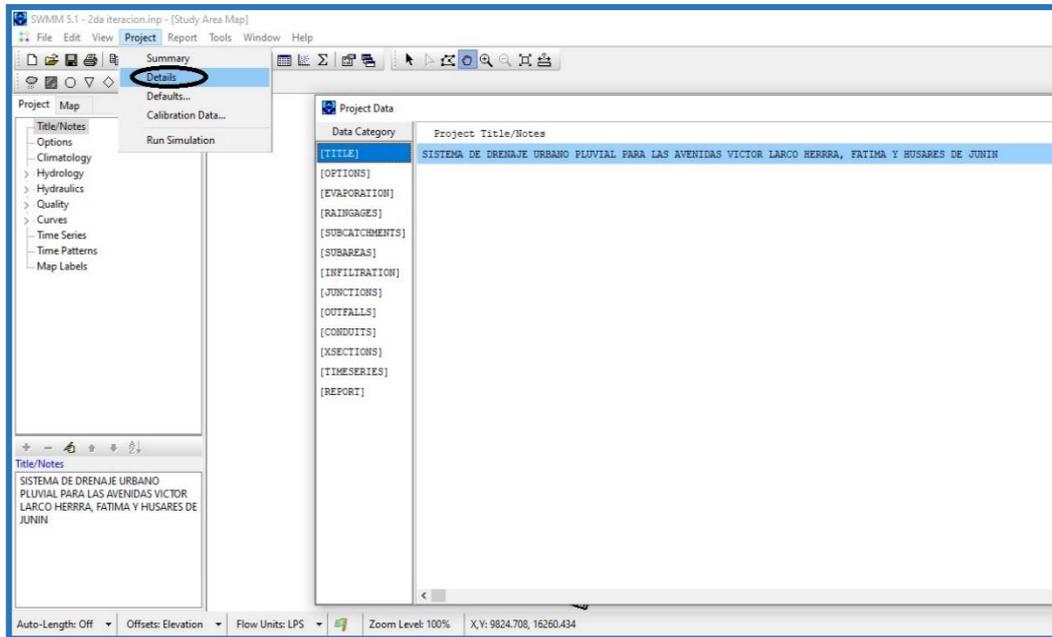
Modelado de sub cuenca urbanas en SWMM



Fuente: propia

Figura 3.32

Resumen de todo el modelado con sus características



Fuente: propia

IV. PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1. Propuesta de Investigación

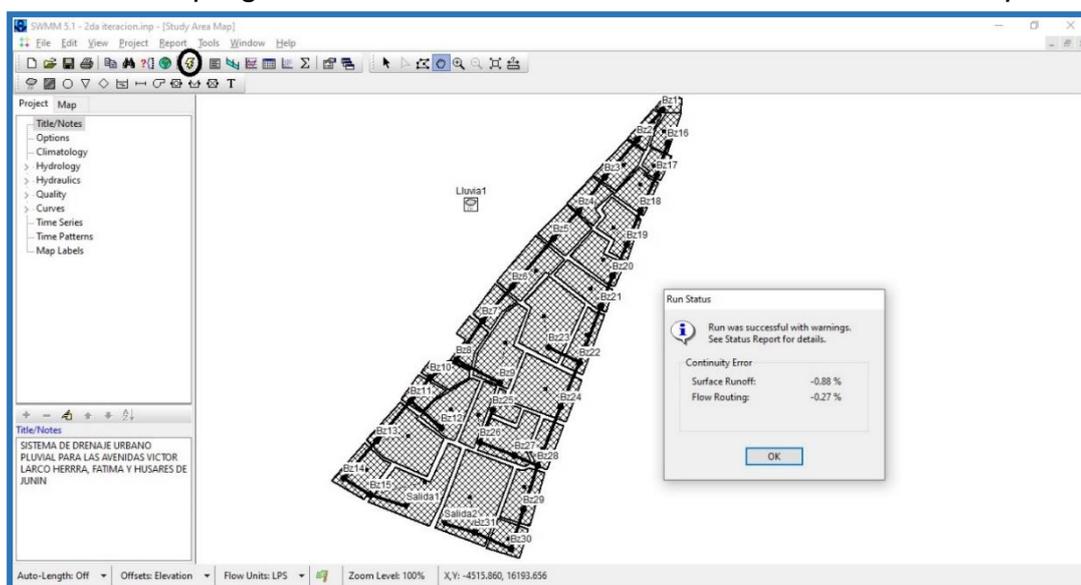
En el presente capítulo expondremos los resultados obtenidos a partir de los modelos matemáticos del Software especializado SWMM, tanto para el modelo hidrológico e hidráulico, todo esto luego de un proceso iterativo en consecuencia se mostrarán los resultados como cotas máximas de nivel de agua, diámetros de tuberías, caudales máximos, hora de ocurrencia, caudales totales, etc. De los elementos del sistema de drenaje urbano pluvial: sub cuencas urbanas, buzones, tuberías y salidas. Cave recalcar que el sistema antes mencionado se divide en 2 sub sistemas, el subsistema de la izquierda(Bz1-Salida1) y el subsistema de la derecha(Bz16-Salida2).

4.2. Análisis e Interpretación de Resultados

Una vez modelado el sistema propuesto en el software SWMM además de haber llenado datos importantes mostrados en el capítulo anterior, se corrió el software en el icono representado por el rayo, en consecuencia, obtuvimos un cuadro con 2 mensajes que se muestran en la Figura 4.1 que representan el error de continuidad: -0.88 % (quiere decir que hay una diferencia de caudal del que entra con el que sale de las sub cuencas) y el -0.27 % (quiere decir que es la cantidad de caudal que se queda en el sistema).

Figura 4.1

Calculo del programa SWMM mostrando los errores de continuidad que



Fuente: propia

4.2.1. Sub cuencas

Las sub cuencas captan las precipitaciones luego estas se convierten en escorrentía, el software utiliza el modelo hidráulico como si fuese un reservorio no lineal, la precipitación elegida fue la más representativa de 27.2 mm extraída de los datos históricos del SENAMHI dicha precipitación se define como una lluvia de 2 horas y media o 150 minutos, ya que este tipo de lluvias son las que producen inundación es decir la de corta duración.

En consecuencia, se obtuvieron la Tabla 4.1 y la Tabla 4.2 en las cuales la segunda columna "Total Precip(mm)" representa la precipitación total la cual se desagrega en precipitación para área impermeable "Imperv Runof(mm)", precipitación para el área permeable "Perv Runoff(mm)" e infiltración. La precipitación que se convirtió en volumen (Ltr.) de cada sub-cuenca está expresada en la columna "Total Runoff" y por último el caudal pico de cada sub-cuenca producida por la precipitación que está representada en la columna "Pico Runoff(Lps)"

Tabla 4.1

Resultados hidrológicos de cada sub cuenca urbana pertenecientes del sub sistema de la izquierda

| Sub Cuenca | Total Precip (mm) | Imperv Runoff (mm) | Perv Runoff (mm) | Total Runoff (mm) | Total Runoff (10⁶ ltr) | Pico Runoff (LPS) |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--|--------------------------|
| Sub1 | 27.20 | 19.98 | 1.43 | 21.41 | 0.09 | 75.10 |
| Sub2 | 27.20 | 18.58 | 1.64 | 20.21 | 0.12 | 97.27 |
| Sub3 | 27.20 | 16.92 | 1.65 | 18.57 | 0.23 | 151.57 |
| Sub4 | 27.20 | 17.10 | 1.76 | 18.86 | 0.21 | 154.62 |
| Sub5 | 27.20 | 17.19 | 1.82 | 19.02 | 0.27 | 206.19 |
| Sub6 | 27.20 | 16.76 | 1.57 | 18.33 | 0.36 | 222.40 |
| Sub7 | 27.20 | 19.81 | 1.38 | 21.20 | 0.22 | 172.15 |
| Sub8 | 27.20 | 17.23 | 1.85 | 19.08 | 0.19 | 148.64 |
| Sub9 | 27.20 | 12.91 | 1.81 | 14.72 | 0.37 | 224.27 |
| Sub10 | 27.20 | 17.25 | 1.86 | 19.11 | 0.15 | 117.69 |
| Sub11 | 27.20 | 16.94 | 1.66 | 18.60 | 0.17 | 115.53 |
| Sub12 | 27.20 | 13.08 | 2.04 | 15.12 | 0.30 | 199.76 |
| Sub13 | 27.20 | 14.13 | 1.70 | 15.83 | 0.50 | 296.79 |
| Sub14 | 27.20 | 15.89 | 2.01 | 17.91 | 0.18 | 141.33 |
| sub15 | 27.20 | 15.73 | 1.88 | 17.61 | 0.47 | 327.51 |

Fuente: propia

Tabla 4.2

Resultados hidrológicos de cada sub cuenca urbana pertenecientes al sub sistema de la derecha

| Sub Cuenca | Total Precip (mm) | Imperv Runoff (mm) | Perv Runoff (mm) | Total Runoff (mm) | Total Runoff (10⁶ ltr) | Pico Runoff (LPS) |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--|--------------------------|
| Sub16 | 27.20 | 17.20 | 1.82 | 19.02 | 0.12 | 90.97 |
| Sub17 | 27.20 | 21.00 | 1.12 | 22.12 | 0.13 | 100.39 |
| Sub18 | 27.20 | 17.24 | 1.86 | 19.10 | 0.24 | 189.33 |
| Sub19 | 27.20 | 20.87 | 1.10 | 21.96 | 0.38 | 268.09 |
| Sub20 | 27.20 | 19.39 | 1.27 | 20.66 | 0.33 | 217.24 |
| Sub21 | 27.20 | 19.43 | 1.29 | 20.72 | 0.31 | 208.45 |
| Sub22 | 27.20 | 19.94 | 1.42 | 21.36 | 0.33 | 281.35 |
| Sub23 | 27.20 | 12.74 | 1.63 | 14.36 | 0.51 | 293.60 |
| Sub24 | 27.20 | 9.30 | 2.56 | 11.85 | 0.38 | 271.58 |
| Sub25 | 27.20 | 19.90 | 1.41 | 21.31 | 0.13 | 112.25 |
| Sub26 | 27.20 | 19.36 | 1.27 | 20.62 | 0.22 | 141.33 |
| Sub27 | 27.20 | 18.34 | 1.55 | 19.90 | 0.42 | 306.06 |
| Sub28 | 27.20 | 18.06 | 1.43 | 19.49 | 0.22 | 141.20 |
| Sub29 | 27.20 | 18.43 | 1.58 | 20.02 | 0.26 | 197.54 |
| Sub30 | 27.20 | 21.11 | 1.13 | 22.25 | 0.17 | 131.34 |
| Sub31 | 27.20 | 16.52 | 1.46 | 17.98 | 0.65 | 382.21 |

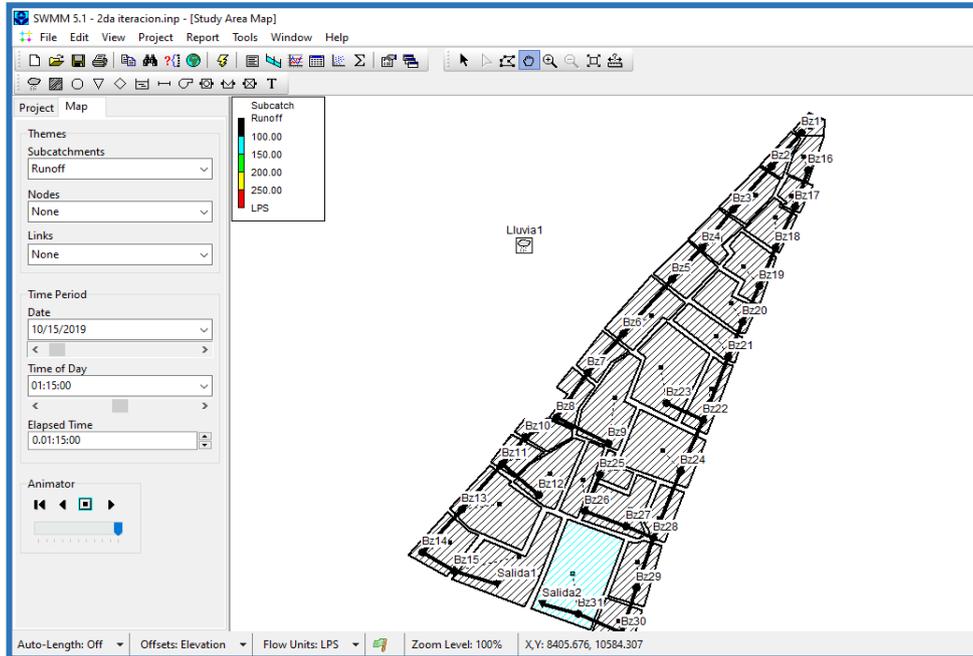
Fuente: propia

4.2.1.1. Sub cuencas en planta

Los caudales que contiene cada sub cuenca se observa que la Figura 4.2 en la hora 01:15 minutos inician aumentando su caudal, seguidamente en la Figura 4.3 en la hora 01:20 minutos se observa que se siguen elevando los caudales, luego en la Figura 4.4 a la hora 01:25 minutos algunas cuencas llegan al caudal pico generado, mientras que en la Figura 4.5 y Figura 4.6 a la hora de 01:30 minutos y 01:35 minutos respectivamente se observa una disminución de caudal, en cada figura se tiene una escala de diferentes colores que hacen referencia a diferentes caudales.

Figura 4.2

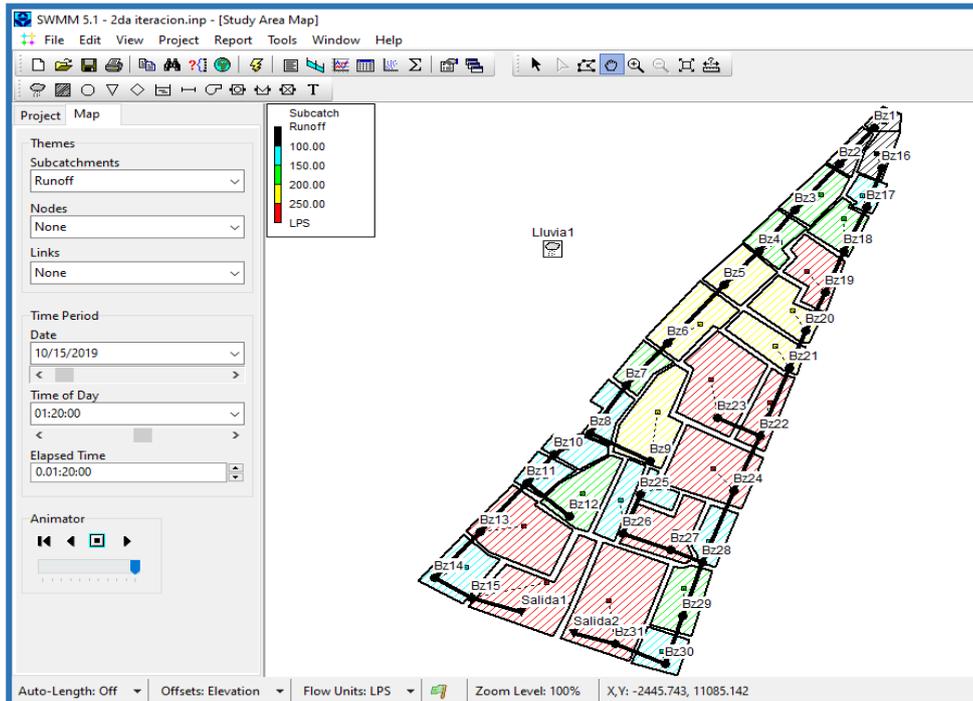
Cuencas con resultados a los 75 minutos con su respectiva escala de colores



Fuente: propia

Figura 4.3

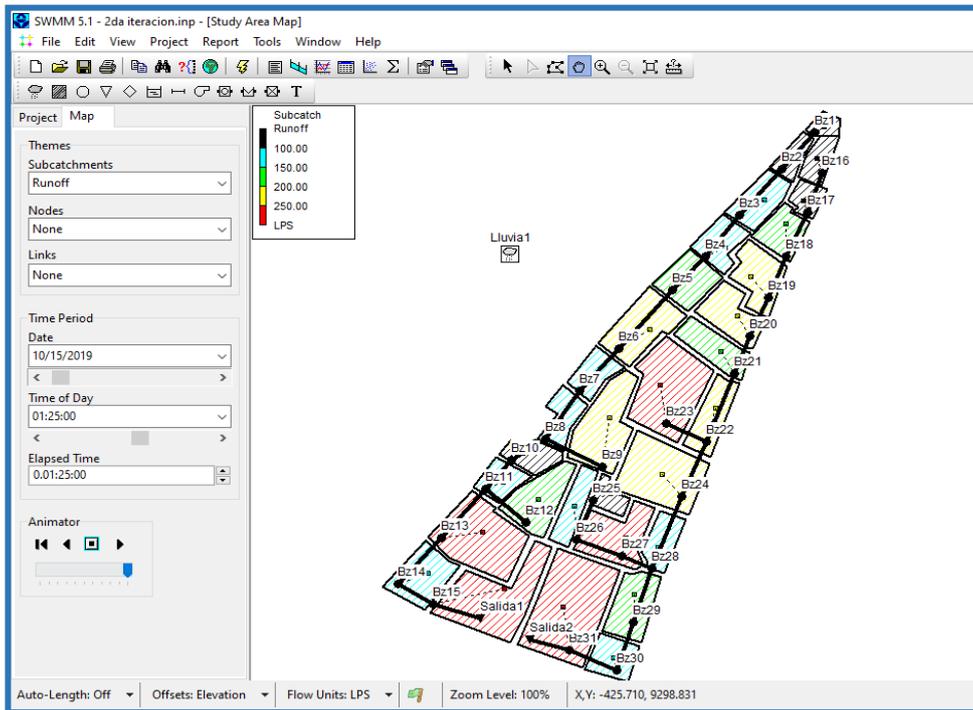
Cuencas con resultados a los 80 minutos con su respectiva escala de colores



Fuente: propia

Figura 4.4

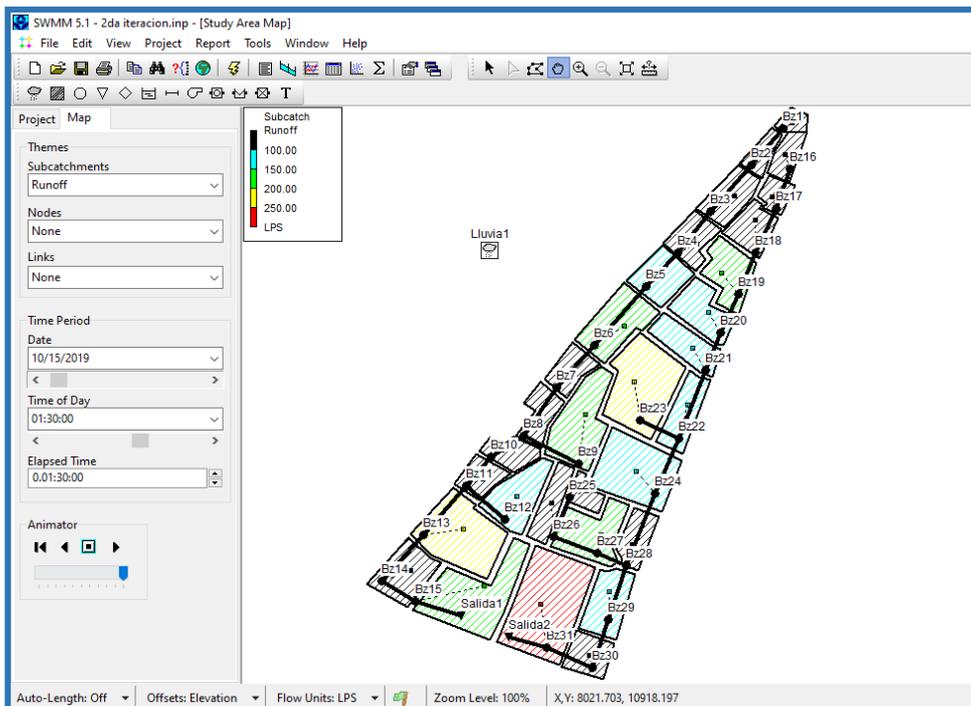
Cuencas con resultados a los 85 minutos con su respectiva escala de



Fuente: propia

Figura 4.5

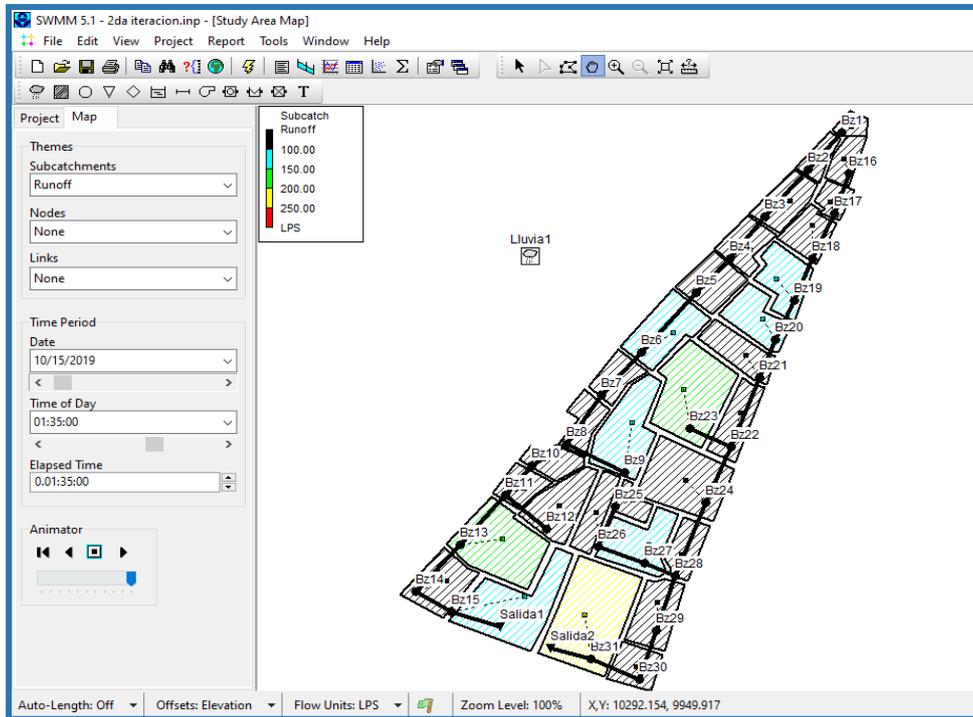
Cuencas con resultados a los 90 minutos con su respectiva escala



Fuente: propia

Figura 4.6

Cuencas con resultados a los 95 minutos con su respectiva escala de colores



Fuente: propia

4.2.2. Buzones

Para el cálculo hidráulico el software utiliza la fórmula de la onda dinámica, donde la Tabla 4.3 y la Tabla 4.4 muestra resultados tanto para el sub sistema de la izquierda como para el sub sistema de la derecha respectivamente mostrando en la columna “Cota Max agua” las cotas máximas del nivel de agua al que llega cuando llega al pico de cada buzón, en la columna “HORA” muestra la hora ocurrencia que varía de 1 hora con 20 minutos a 1 hora con 27 minutos esto quiere decir que el pico se llega entre el minuto 80 y minuto 87 de los 150 minutos que dura la lluvia (2h y media). Por último, la columna “TIRANTE” representa el calado o tirante máximo alcanzado en cada buzón del sistema. El software también considera para el cálculo que las 2 salidas son como buzones.

Tabla 4.3

Hora de ocurrencia de los tirantes máximos en los buzones del subsistema de la izquierda

| Buzón | Cota Max agua (m) | HORA (H:M) | TIRANTE MAX (m) |
|----------------|--------------------------|-------------------|------------------------|
| Bz1 | 21.86 | 01:20 | 0.19 |
| Bz2 | 20.88 | 01:22 | 0.28 |
| Bz3 | 19.8 | 01:22 | 0.33 |
| Bz4 | 18.93 | 01:23 | 0.41 |
| Bz5 | 18.09 | 01:24 | 0.51 |
| Bz6 | 17.11 | 01:25 | 0.78 |
| Bz7 | 15.93 | 01:25 | 0.58 |
| Bz8 | 14.99 | 01:26 | 0.73 |
| Bz9 | 15.53 | 01:22 | 0.59 |
| Bz10 | 14.27 | 01:26 | 0.81 |
| Bz11 | 13.43 | 01:26 | 0.77 |
| Bz12 | 13.59 | 01:21 | 0.33 |
| Bz13 | 12.11 | 01:26 | 0.82 |
| Bz14 | 11.27 | 01:27 | 0.99 |
| Bz15 | 10.62 | 01:27 | 1.15 |
| Salida1 | 9.88 | 01:27 | 0.83 |

Fuente: propia

Tabla 4.4 *Hora de ocurrencia de los tirantes máximos en los buzones*

| Buzón | Cota Max agua (m) | HORA (H:M) | TIRANTE MAX(m) |
|----------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| Bz16 | 22.00 | 01:20 | 0.20 |
| Bz17 | 21.26 | 01:21 | 0.26 |
| Bz18 | 19.92 | 01:21 | 0.34 |
| Bz19 | 18.90 | 01:22 | 0.47 |
| Bz20 | 17.83 | 01:22 | 0.52 |
| Bz21 | 17.17 | 01:24 | 0.67 |
| Bz22 | 16.28 | 01:25 | 0.83 |
| Bz23 | 16.53 | 01:25 | 0.51 |
| Bz24 | 15.38 | 01:25 | 0.80 |
| Bz25 | 15.57 | 01:20 | 0.21 |
| Bz26 | 14.77 | 01:22 | 0.33 |
| Bz27 | 14.24 | 01:26 | 0.66 |
| Bz28 | 14.21 | 01:26 | 1.13 |
| Bz29 | 13.17 | 01:27 | 1.05 |
| Bz30 | 12.10 | 01:27 | 0.96 |
| Bz31 | 11.30 | 01:27 | 0.98 |
| Salida2 | 10.44 | 01:27 | 0.94 |

Fuente: propia

Además, el software proporciona el caudal y volumen máximo captado por cada buzón en la Tabla 4.5 y Tabla 4.6 se muestra la columna “Caudal Máx. Lateral” que hace referencia al caudal captado proveniente de cada sub cuenca y la columna “Caudal Máx. Total” representa el caudal pico acumulado de los buzones aguas arriba, la columna “Hora De Ocurrencia” muestra que el pico alcanzado varía entre los 80 y 87 minutos de los 150 minutos que tiene por duración la precipitación, en consecuencia también muestra la columna “Volumen Lateral” que representa los litros captados provenientes de cada sub cuenca y la columna “Volumen Total” representa el volumen total acumulado de los litros aguas arriba.

Tabla 4.5

Caudal máximo que pasa por los buzones, con su respectiva hora de ocurrencia del sub sistema de la izquierda

| Buzón | Caudal Máx. Lateral (Lps) | Caudal Máx. Total (Lps) | Hora De Ocurrencia (H:M) | Vol. Lateral (10⁶ ltr) | Vol. Total (10⁶ ltr) |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|--|
| Bz1 | 75.10 | 75.10 | 01:20 | 0.088 | 0.088 |
| Bz2 | 97.27 | 167.68 | 01:20 | 0.121 | 0.208 |
| Bz3 | 151.57 | 307.99 | 01:21 | 0.227 | 0.434 |
| Bz4 | 154.62 | 448.71 | 01:22 | 0.210 | 0.643 |
| Bz5 | 206.19 | 629.15 | 01:23 | 0.265 | 0.905 |
| Bz6 | 222.40 | 840.24 | 01:24 | 0.357 | 1.260 |
| Bz7 | 172.15 | 980.12 | 01:24 | 0.218 | 1.460 |
| Bz8 | 148.64 | 1312.19 | 01:25 | 0.186 | 2.000 |
| Bz9 | 224.27 | 224.27 | 01:20 | 0.367 | 0.367 |
| Bz10 | 117.69 | 1388.31 | 01:25 | 0.147 | 2.140 |
| Bz11 | 115.53 | 1654.48 | 01:25 | 0.172 | 2.590 |
| Bz12 | 199.76 | 199.76 | 01:20 | 0.296 | 0.296 |
| Bz13 | 296.79 | 1913.57 | 01:26 | 0.499 | 3.090 |
| Bz14 | 141.33 | 2010.62 | 01:26 | 0.184 | 3.250 |
| Bz15 | 327.51 | 2247.86 | 01:27 | 0.465 | 3.710 |
| Salida1 | 0.00 | 2246.85 | 01:27 | 0.000 | 3.700 |

Fuente: propia

Tabla 4.6

Caudal máximo que pasa por los buzones, con su respectiva hora de ocurrencia del sub sistema de la derecha

| Buzón | Caudal Máx. Lateral (Lps) | Caudal Máx. Total (Lps) | Hora De Ocurrencia (H:M) | Vol. Lateral (10⁶ ltr) | Vol. Total (10⁶ ltr) |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|--|
| Bz16 | 90.97 | 90.97 | 01:20 | 0.117 | 0.117 |
| Bz17 | 100.39 | 187.68 | 01:20 | 0.134 | 0.252 |
| Bz18 | 189.33 | 362.55 | 01:21 | 0.236 | 0.487 |
| Bz19 | 268.09 | 619.46 | 01:21 | 0.376 | 0.861 |
| Bz20 | 217.24 | 830.30 | 01:22 | 0.333 | 1.190 |
| Bz21 | 208.45 | 1031.14 | 01:22 | 0.314 | 1.500 |
| Bz22 | 281.35 | 1545.40 | 01:23 | 0.332 | 2.340 |
| Bz23 | 293.60 | 293.60 | 01:25 | 0.511 | 0.511 |
| Bz24 | 271.58 | 1747.67 | 01:24 | 0.378 | 2.700 |
| Bz25 | 112.25 | 112.25 | 01:20 | 0.134 | 0.134 |
| Bz26 | 141.33 | 250.49 | 01:20 | 0.220 | 0.353 |
| Bz27 | 306.06 | 540.46 | 01:21 | 0.420 | 0.771 |
| Bz28 | 141.20 | 2369.79 | 01:25 | 0.223 | 3.680 |
| Bz29 | 197.54 | 2486.85 | 01:26 | 0.261 | 3.930 |
| Bz30 | 131.34 | 2554.48 | 01:26 | 0.166 | 4.080 |
| Bz31 | 382.21 | 2897.47 | 01:26 | 0.651 | 4.720 |
| Salida2 | 0.00 | 2898.46 | 01:27 | 0.000 | 4.700 |

Fuente: propia

4.2.3. Tuberías

Para el diámetro de tuberías se propuso diámetros tentativos de tuberías iniciales y unas pendientes variables acorde al rango de pendientes generados por la velocidad mínima y máxima permitidas por la OS 060, este rango sirve para evitar el tema de sedimentación y erosión de las tuberías.

En la Tabla 4.7 y Tabla 4.8 se muestra la columna “Caudal Máx” muestra el caudal pico que pasa por cada tubería, conjuntamente con la columna “Hora Máx De Ocurrencia” muestra la hora de ocurrencia de dicho caudal pico a partir del inicio en que dura la precipitación, por último la columna “Velocidad Máx.” la cual se cuidó que ningún valor sobrepase los 3.00 m/s por el tema de erosión de las tuberías.

Tabla 4.7*Caudal máximo que pasa por las tuberías, del sub sistema de la izquierda.*

| Tubería | Diámetro (m) | Caudal Máx. (Lps) | Hora Máx. De Ocurrencia (H:M) | Velocidad Máx. (m/s) |
|----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Tub1 | 0.40 | 72.64 | 01:21 | 0.97 |
| Tub2 | 0.50 | 160.22 | 01:22 | 1.28 |
| Tub3 | 0.70 | 304.89 | 01:23 | 1.47 |
| Tub4 | 0.70 | 445.16 | 01:23 | 1.65 |
| Tub5 | 0.80 | 621.66 | 01:24 | 1.49 |
| Tub6 | 0.80 | 836.86 | 01:25 | 2.15 |
| Tub7 | 0.90 | 975.80 | 01:25 | 1.97 |
| Tub8 | 0.90 | 1299.94 | 01:26 | 2.27 |
| Tub9 | 0.60 | 221.90 | 01:22 | 1.24 |
| Tub10 | 0.90 | 1381.20 | 01:26 | 2.4 |
| Tub11 | 1.00 | 1643.38 | 01:27 | 2.45 |
| Tub12 | 0.70 | 195.54 | 01:21 | 1.07 |
| Tub13 | 1.10 | 1911.00 | 01:27 | 2.44 |
| Tub14 | 1.10 | 2003.59 | 01:27 | 2.34 |
| Tub15 | 1.20 | 2246.85 | 01:27 | 2.48 |

Fuente: propia

Tabla 4.8*Caudal máximo que pasa por las tuberías, del sub sistema de la derecha.*

| Tubería | Diámetro (m) | Caudal Máx. (Lps) | Hora Máx. De Ocurrencia (H:M) | Velocidad Máx. (m/s) |
|----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Tub16 | 0.50 | 88.86 | 01:21 | 1.02 |
| Tub17 | 0.50 | 183.49 | 01:21 | 1.49 |
| Tub18 | 0.70 | 359.67 | 01:22 | 1.56 |
| Tub19 | 0.70 | 616.68 | 01:22 | 2.13 |
| Tub20 | 0.90 | 828.37 | 01:22 | 1.91 |
| Tub21 | 0.90 | 1019.86 | 01:24 | 1.81 |
| Tub22 | 0.80 | 1527.92 | 01:25 | 2.22 |
| Tub23 | 1.00 | 293.17 | 01:25 | 0.91 |
| Tub24 | 1.10 | 1741.84 | 01:25 | 2.33 |
| Tub25 | 0.50 | 109.68 | 01:20 | 1.02 |
| Tub26 | 0.60 | 245.57 | 01:22 | 1.42 |
| Tub27 | 1.00 | 519.63 | 01:21 | 1.11 |
| Tub28 | 1.10 | 2330.05 | 01:26 | 2.64 |
| Tub29 | 1.10 | 2460.90 | 01:27 | 2.73 |
| Tub30 | 1.20 | 2553.90 | 01:27 | 2.62 |
| Tub31 | 1.20 | 2898.46 | 01:27 | 2.99 |

Fuente: propia

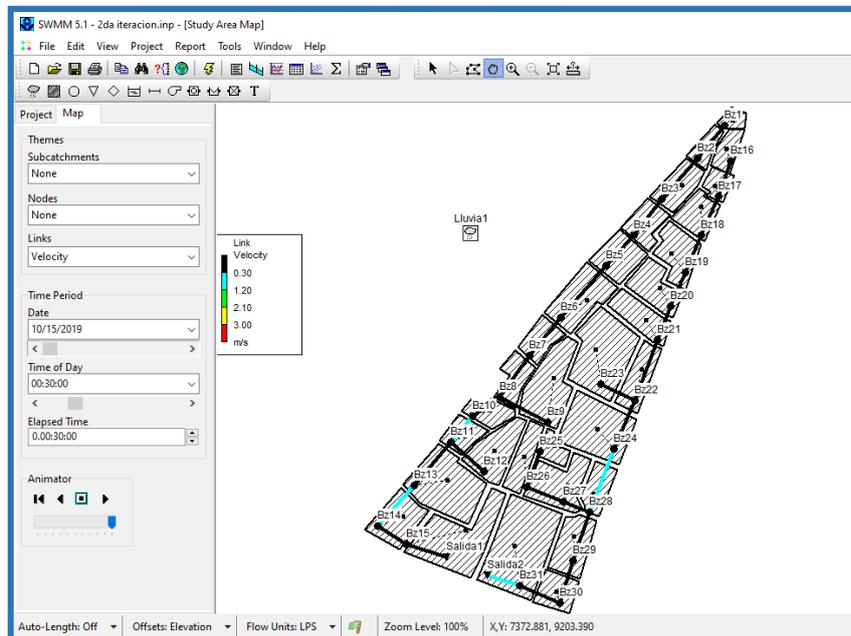
4.2.3.1. Tuberías en planta

El software SWMM V. 5.1 ofrece una visión integral de las velocidades ocurridas a lo largo de la simulación, para el control de estas velocidades se tuvo en cuenta que no superen los 3 m/s que sería el límite para evitar la erosión de las tuberías.

En la Figura 4.7 a la hora 00:30 minutos se observa que empieza a aumentar la velocidad en consecuencia se pinta de un color celeste el cual representa una velocidad mayor a 0.30 m/s, en la Figura 4.8 a la hora 01:00 se observa que todas las tuberías están de color celeste, esto quiere decir que todas las tuberías han pasado los 0.30 m/s. En la Figura 4.9 a la hora 01:30 minutos de simulación las velocidades se encuentran entre 1.20 m/s y 2.10 m/s, luego en la Figura 4.10 a la hora 02:00 se ve que las velocidades tienen una disminución, finalmente en la figura 4.11 decrecen totalmente las velocidades

Figura 4.7

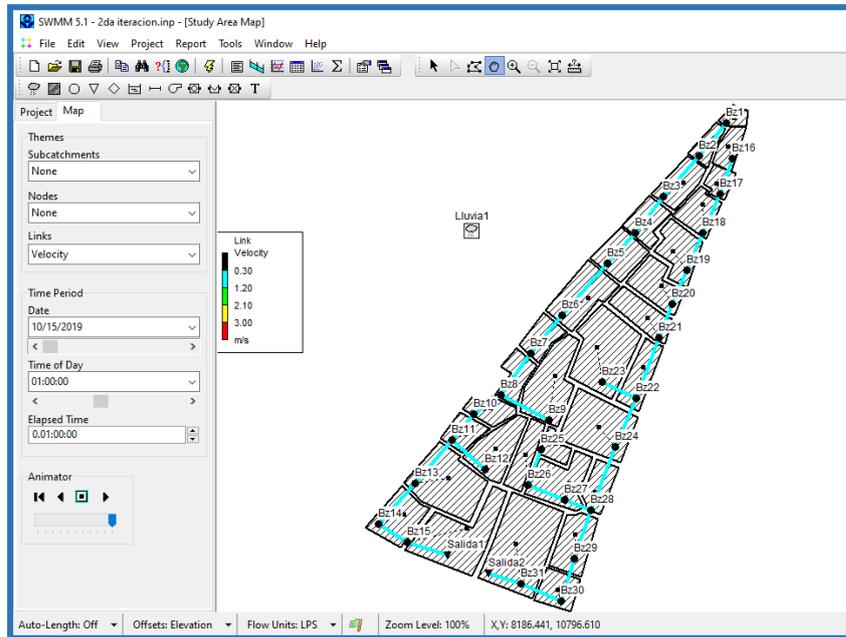
Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 30 minutos con su respectiva escala de colores



Fuente: propia

Figura 4.8

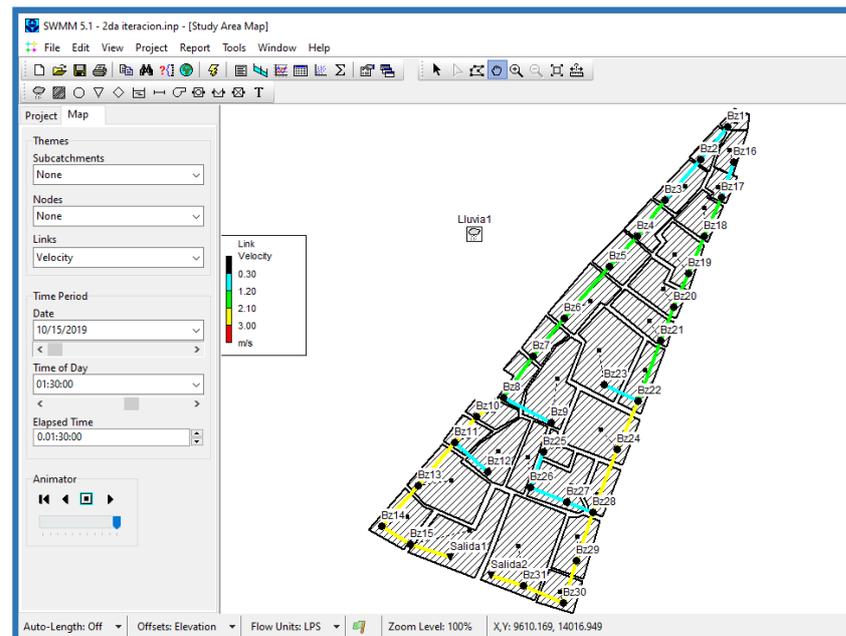
Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 60 minutos con su respectiva escala de colores



Fuente: propia

Figura 4.9

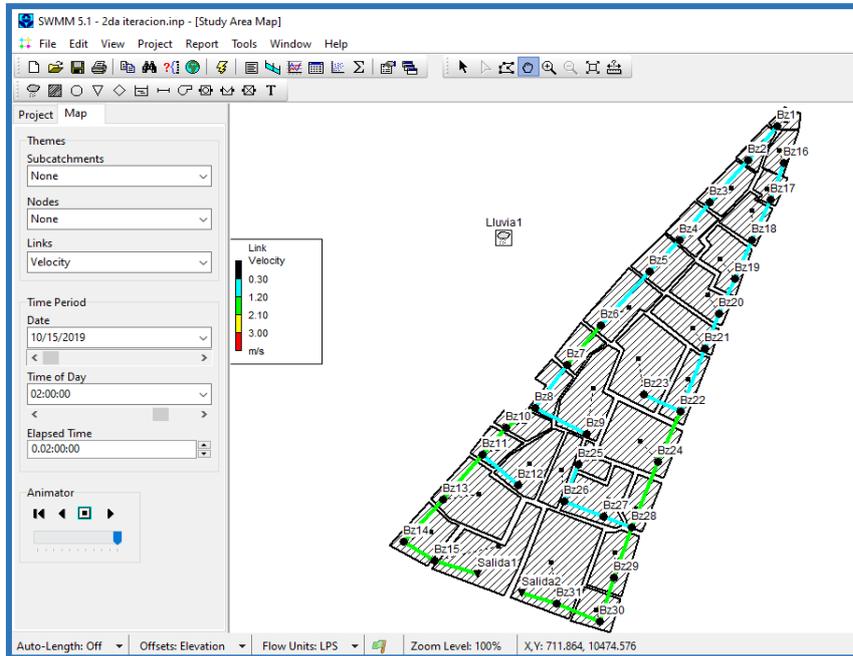
Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 90 minutos con su respectiva escala de colores



Fuente: propia

Figura 4.10

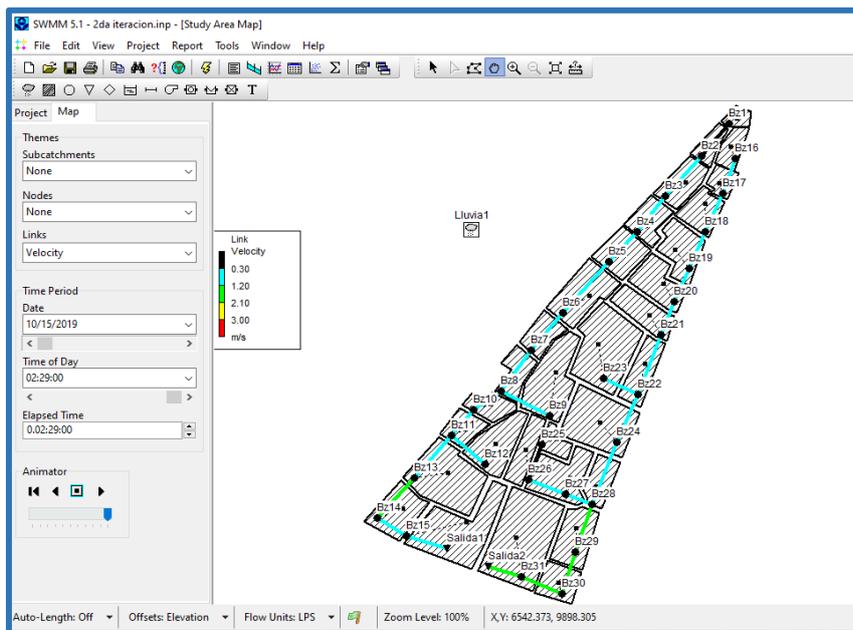
Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 120 minutos con su respectiva escala de colores



Fuente: propia

Figura 4.11

Tuberías con resultados visuales de la velocidad a los 150 minutos con su respectiva escala de colores



Fuente: propia

4.2.4. Salidas

Para las descargas o salidas del caudal de cada sub sistema el software muestra el caudal máximo que recorre por su interior y el volumen total aportado del sub sistema de la izquierda (salida1) y del subsistema de la derecha (salida2) tal como se muestra en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9

Resultados de la descarga de lo sub sistemas.

| DESCARGA | Caudal Promedio (Lps) | Caudal Máx. (Lps) | Vol. Total (10 ⁶ ltr) |
|----------------|-----------------------|-------------------|----------------------------------|
| Salida1 | 505.34 | 2246.85 | 3.698 |
| Salida2 | 572.94 | 2898.46 | 4.703 |
| Sistema | 1078.28 | 2898.46 | 8.401 |

Fuente: propia

4.2.5. Perfil del nivel de agua de los sub-sistemas

Además, el software puede mostrar cómo se comporta el sistema en su perfil longitudinal cada 1 minuto como lo indicamos en la configuración del software, sin embargo, nosotros lo mostraremos cada 30 minutos por un tema de síntesis y practicidad.

Por motivos de orden y para que no se sature con información innecesaria mostramos 2 sub sistemas y sus tramos correspondientes a cada uno de ellos. Sub sistema de la izquierda (Tramos: Bz1-Sal1, Bz9-Sal1, Bz12-Sal1) y sub sistema de la derecha (Tramos: Bz16-Sal2, Bz23-Sal2, Bz25-Sal2).

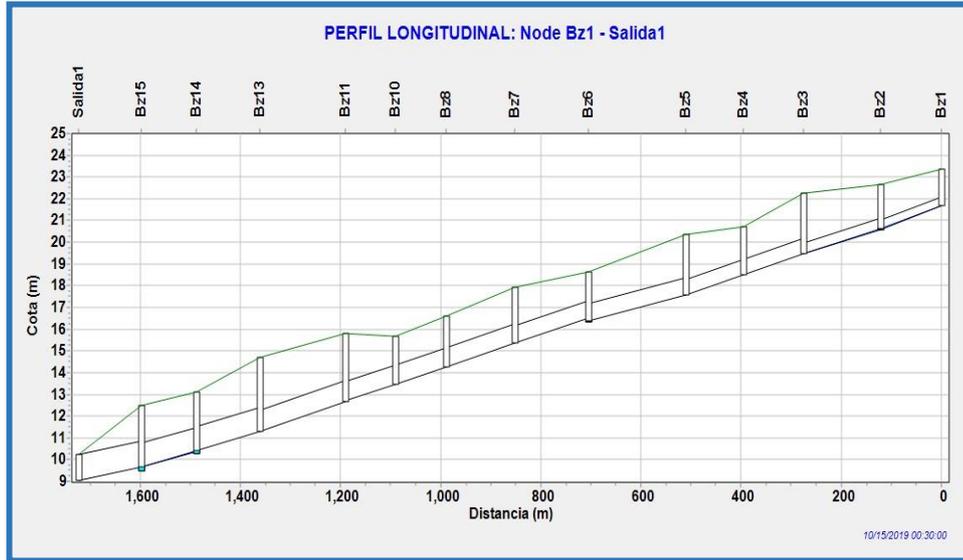
4.2.5.1. Tramo: Buzón 1 – Salida 1

La Figura 4.12 representa el comportamiento del sistema a los 30 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.13 muestra el comportamiento del sistema a los 60 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.14 se observa el comportamiento del sistema a los 90 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.15 representa el comportamiento del sistema a los 120 minutos de iniciada la lluvia y en la Figura 4.16 representa el comportamiento del sistema a los 150 minutos de iniciada la

lluvia, observándose que a los 90 minutos de iniciada la lluvia en todos los casos hay un caudal pico y luego va disminuyendo.

Figura 4.12

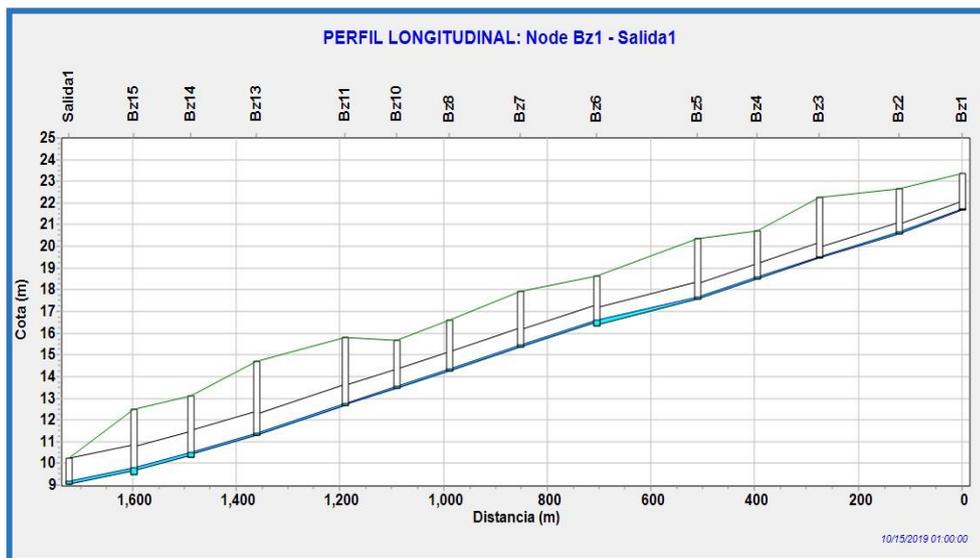
Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.13

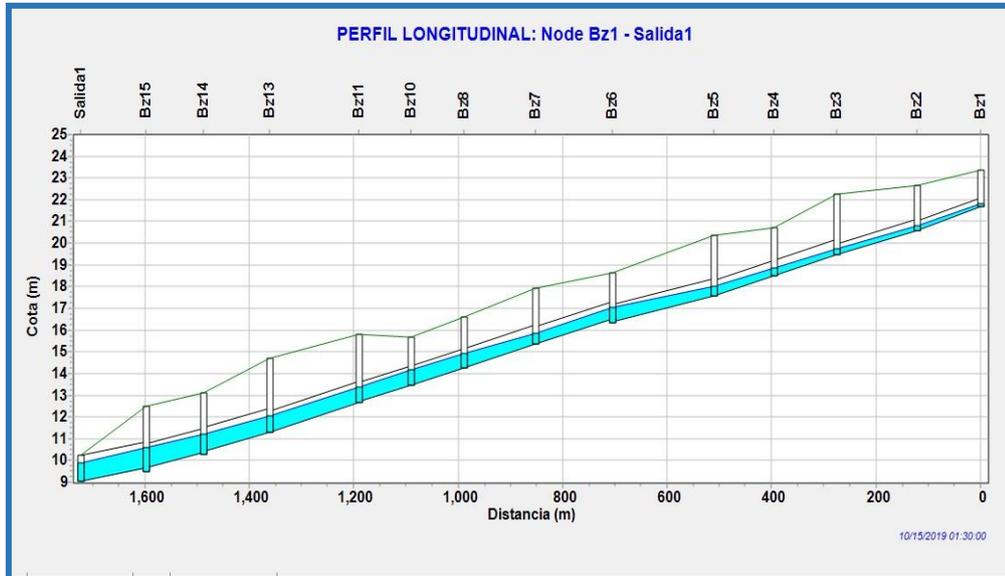
Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.14

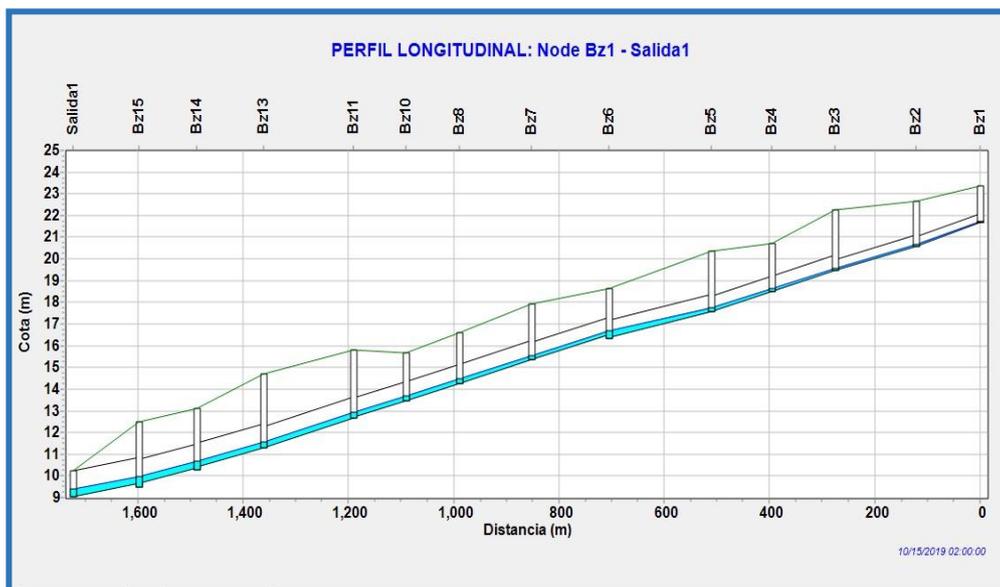
Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.15

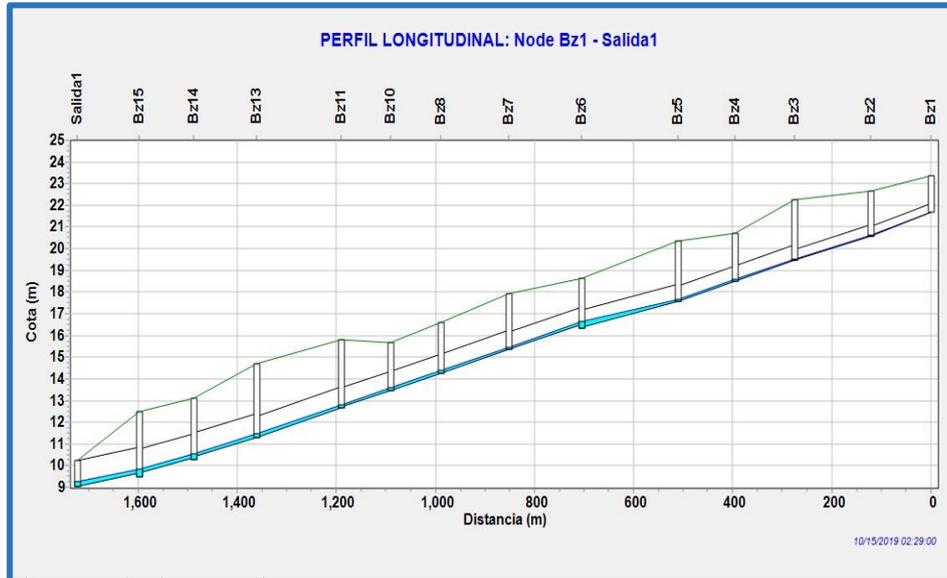
Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.16

Perfil longitudinal del Buzón 1 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



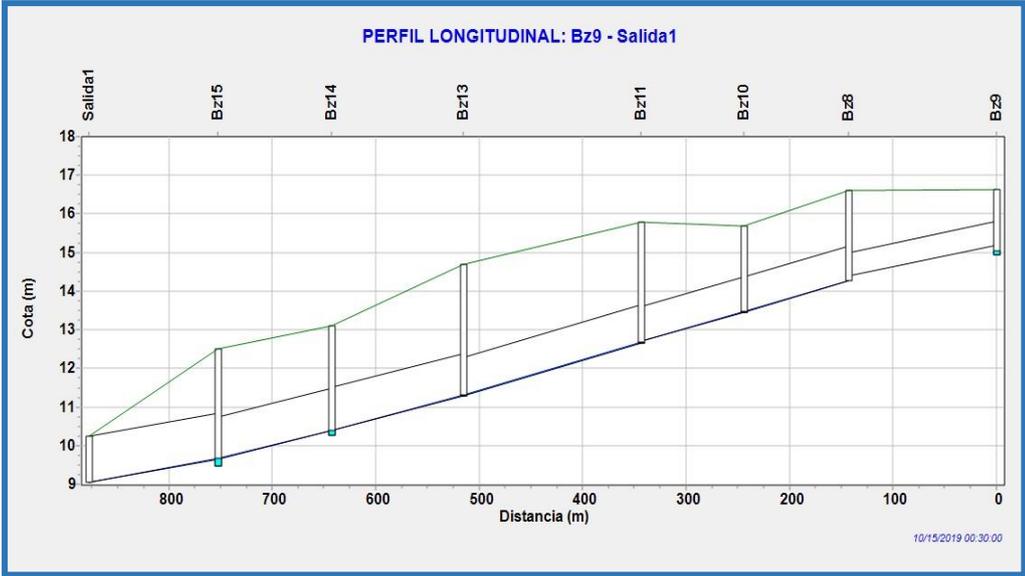
Fuente: Propia, generada en software SWMM

4.2.5.2. Tramo: Buzón 9 – Salida1

La Figura 4.17 representa el comportamiento del sistema a los 30 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.18 muestra el comportamiento del sistema a los 60 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.19 se observa el comportamiento del sistema a los 90 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.20 representa el comportamiento del sistema a los 120 minutos de iniciada la lluvia y en la Figura 4.21 representa el comportamiento del sistema a los 150 minutos de iniciada la lluvia, observándose que a los 90 minutos de iniciada la lluvia en todos los casos hay un caudal pico y luego va disminuyendo.

Figura 4.17

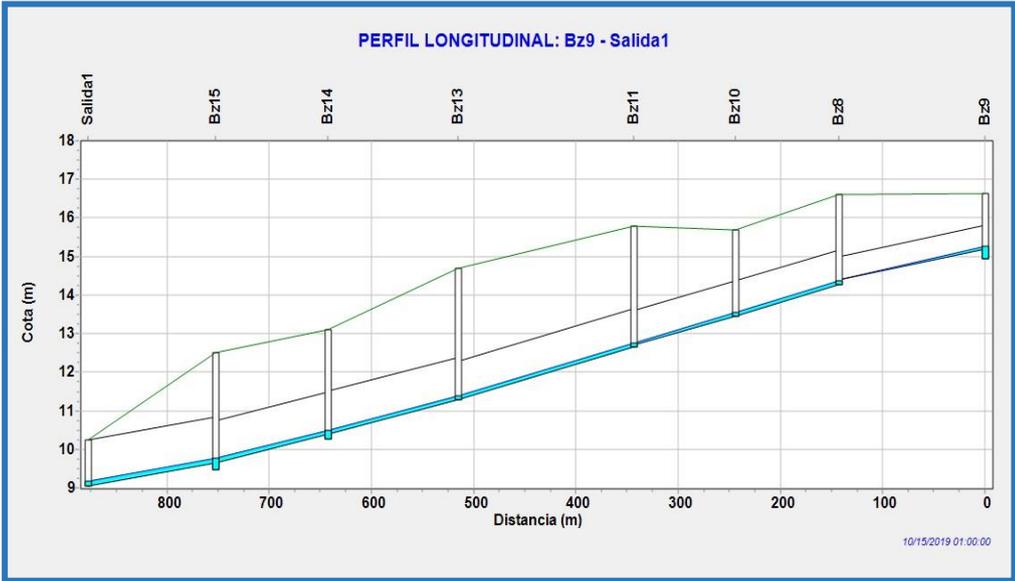
Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.18

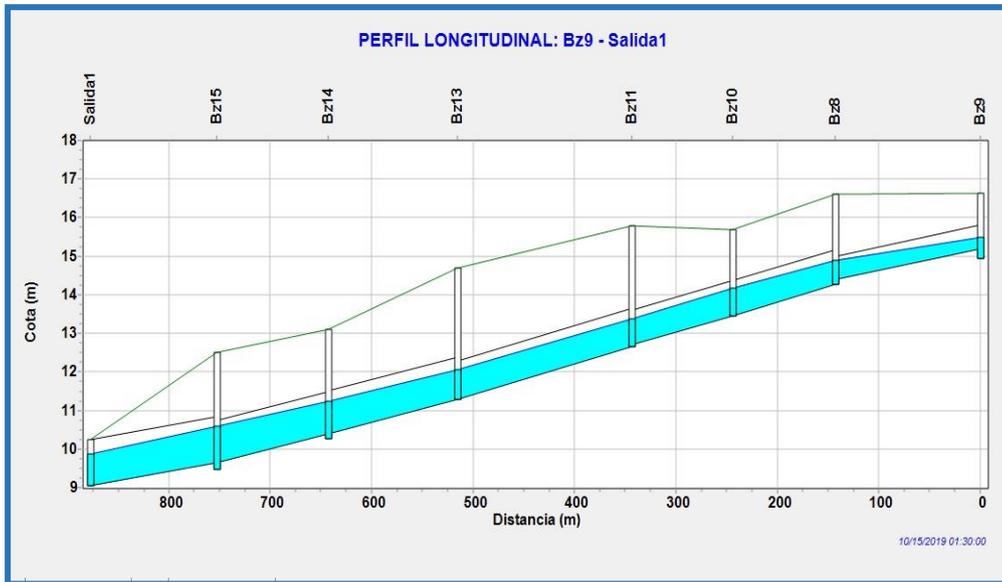
Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.19

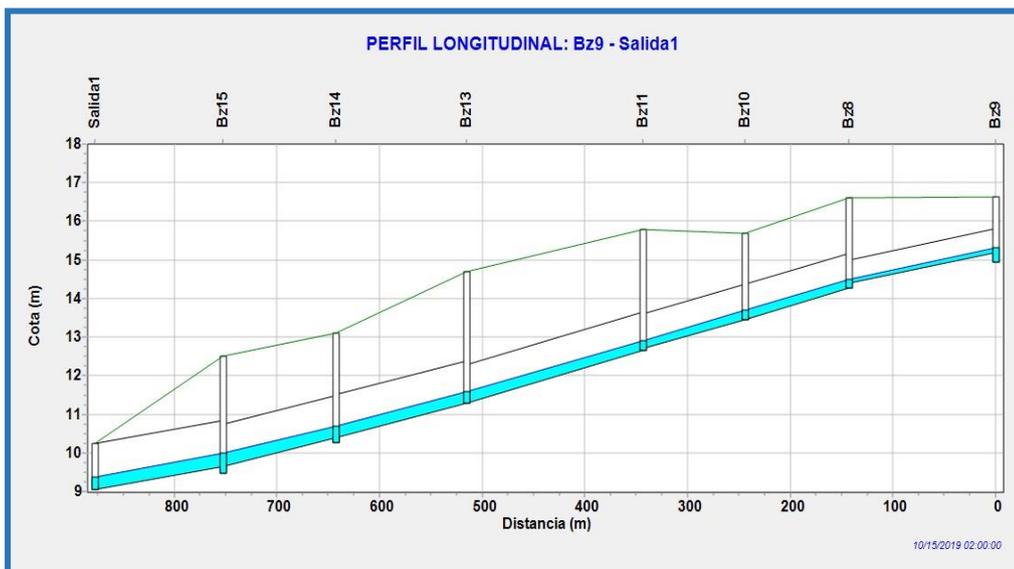
Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.20

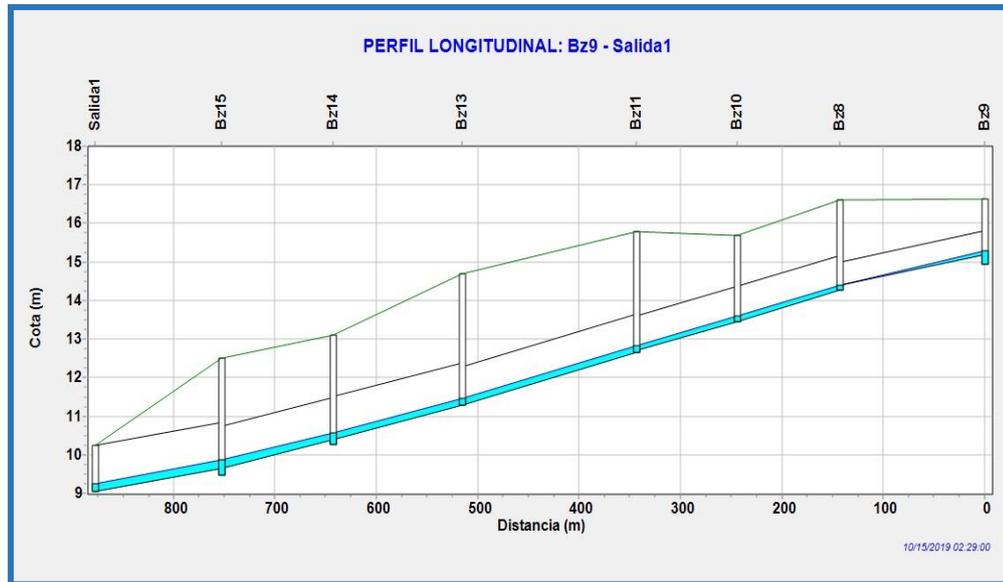
Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.21

Perfil longitudinal del Buzón 9 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



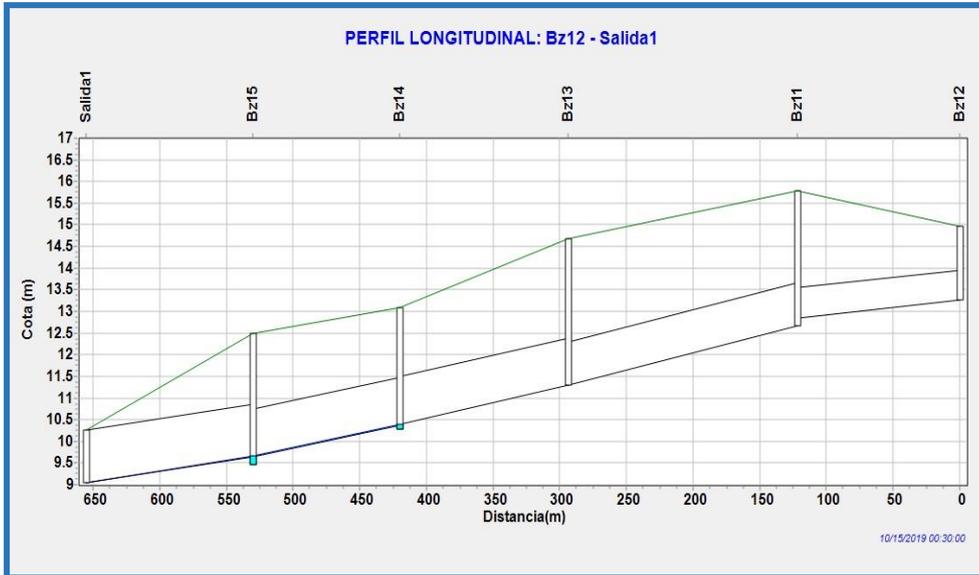
Fuente: Propia, generada en software SWMM

4.2.5.3. Tramo: Buzón 12 – Salida 1

La Figura 4.22 representa el comportamiento del sistema a los 30 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.23 muestra el comportamiento del sistema a los 60 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.24 se observa el comportamiento del sistema a los 90 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.25 representa el comportamiento del sistema a los 120 minutos de iniciada la lluvia y en la Figura 4.26 representa el comportamiento del sistema a los 150 minutos de iniciada la lluvia, observándose que a los 90 minutos de iniciada la lluvia en todos los casos hay un caudal pico y luego va disminuyendo.

Figura 4.22

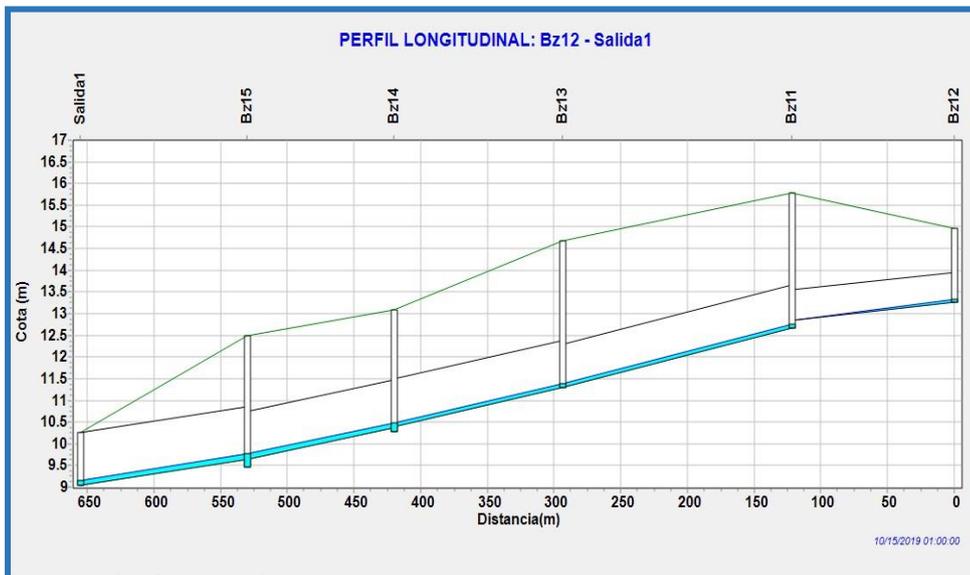
Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Propia, generada en software SWMM

Figura 4.23

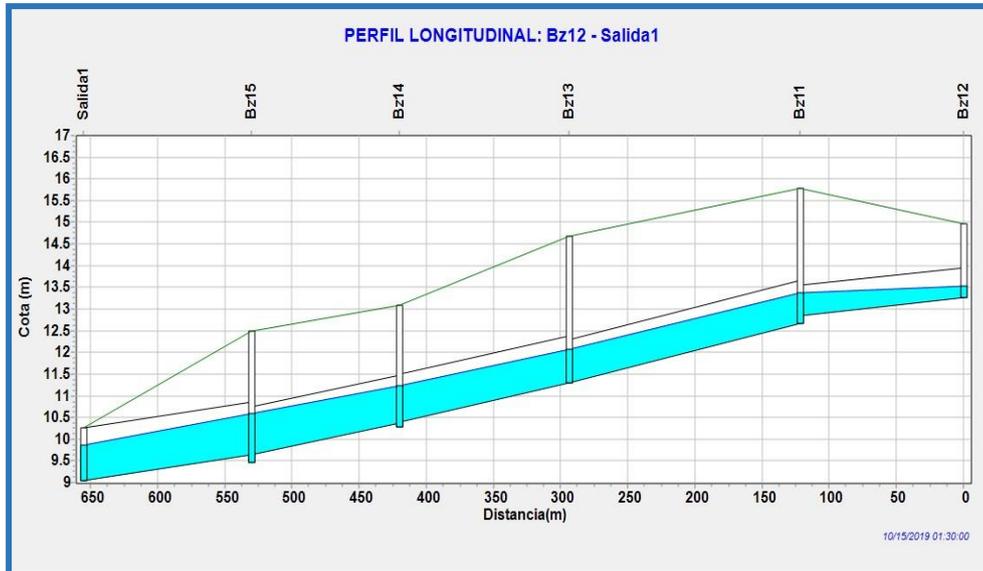
Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Propia, generada en software SWMM

Figura 4.24

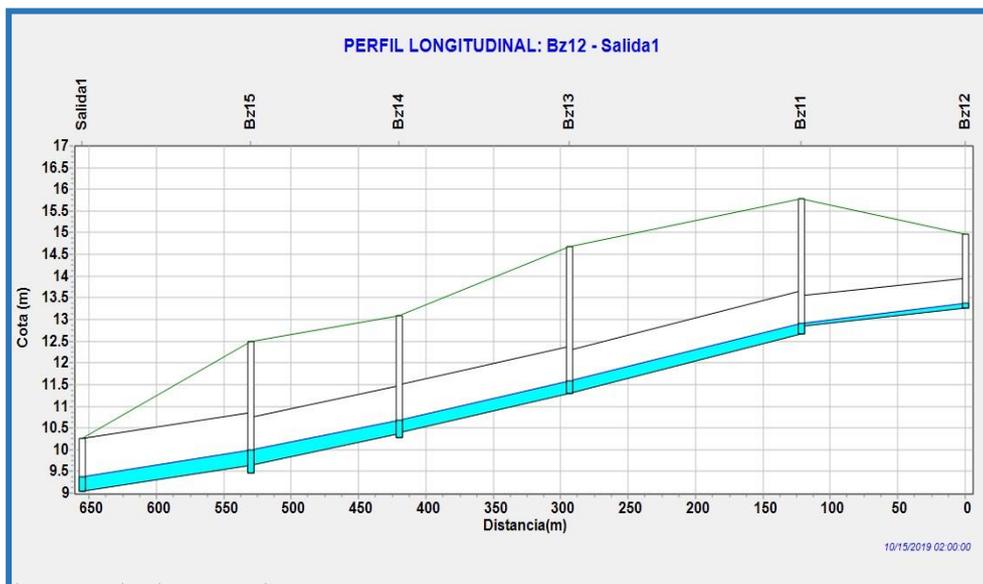
Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.25

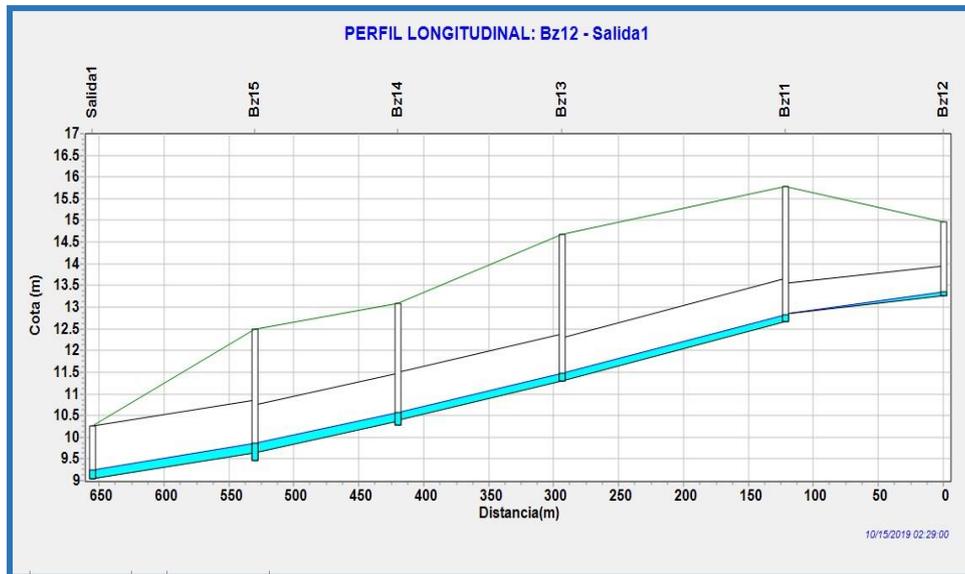
Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.26

Perfil longitudinal del Buzón 12 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



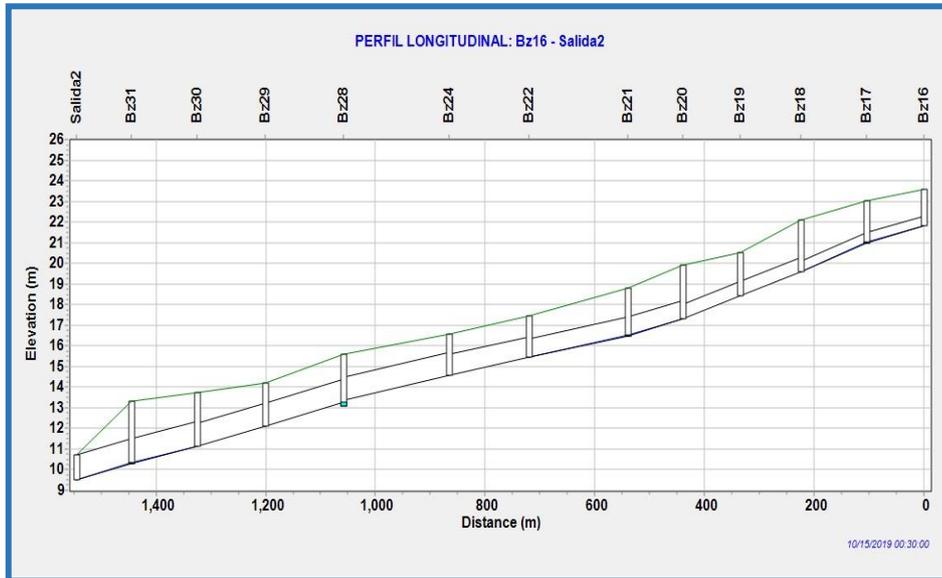
Fuente: Propia, generada en software SWMM

4.2.5.4. Tramo: Buzón 16 – Salida 2

La Figura 4.27 representa el comportamiento del sistema a los 30 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.28 muestra el comportamiento del sistema a los 60 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.29 se observa el comportamiento del sistema a los 90 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.30 representa el comportamiento del sistema a los 120 minutos de iniciada la lluvia y en la Figura 4.31 representa el comportamiento del sistema a los 150 minutos de iniciada la lluvia, observándose que a los 90 minutos de iniciada la lluvia en todos los casos hay un caudal pico y luego va disminuyendo.

Figura 4.27

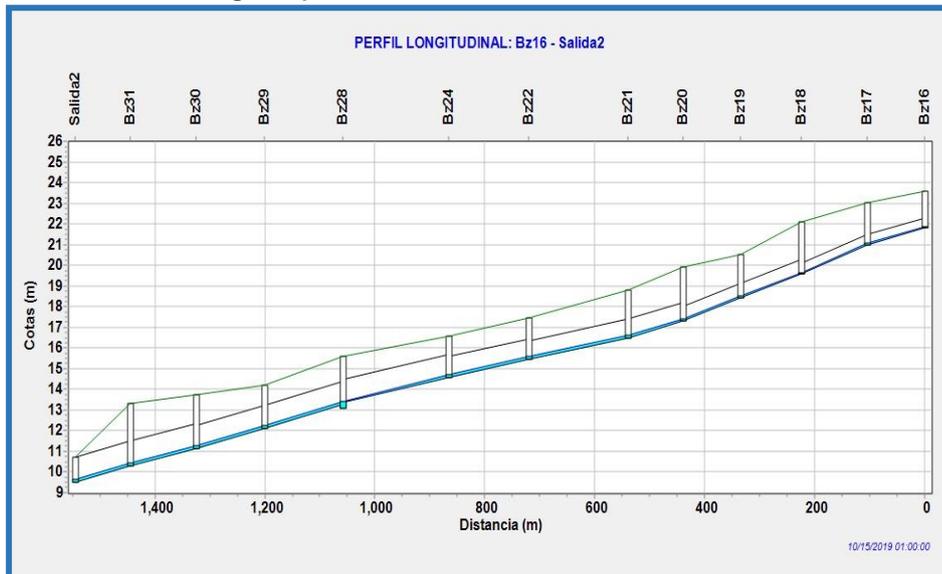
Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.28

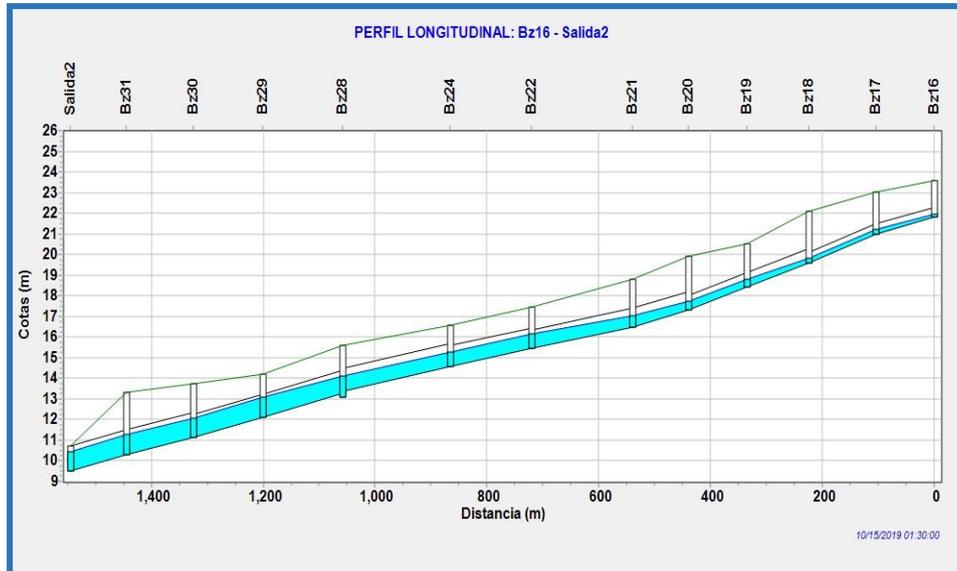
Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.29

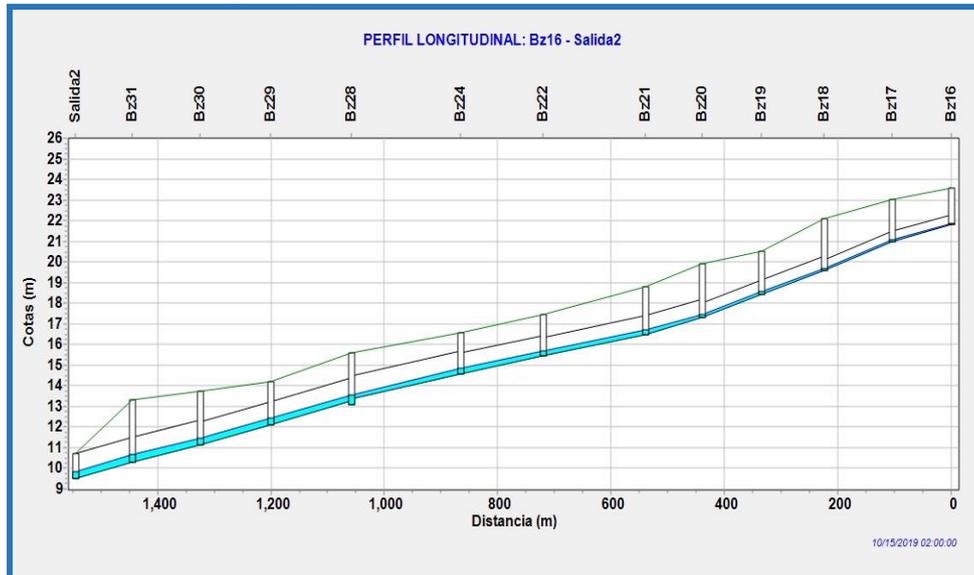
Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.30

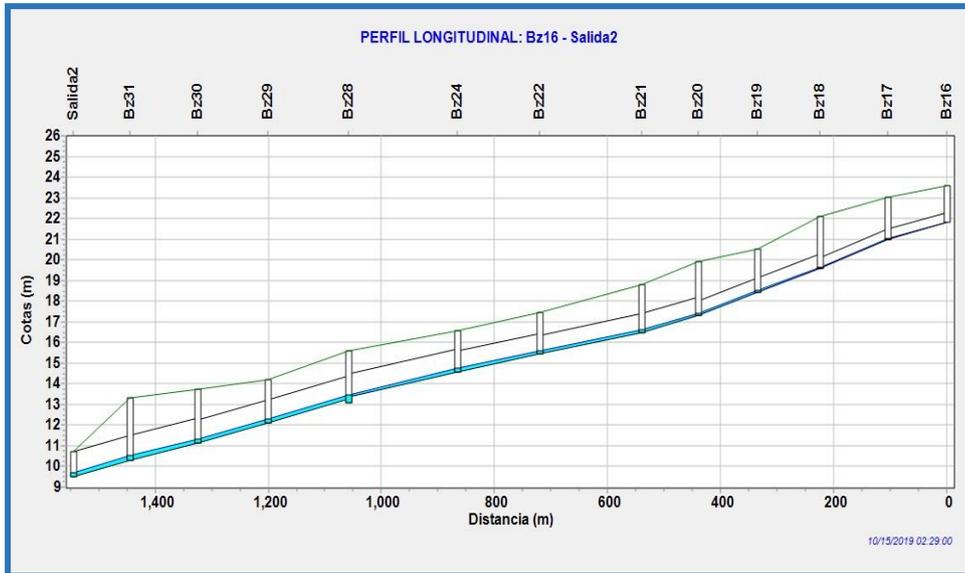
Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.31

Perfil longitudinal del Buzón 16 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



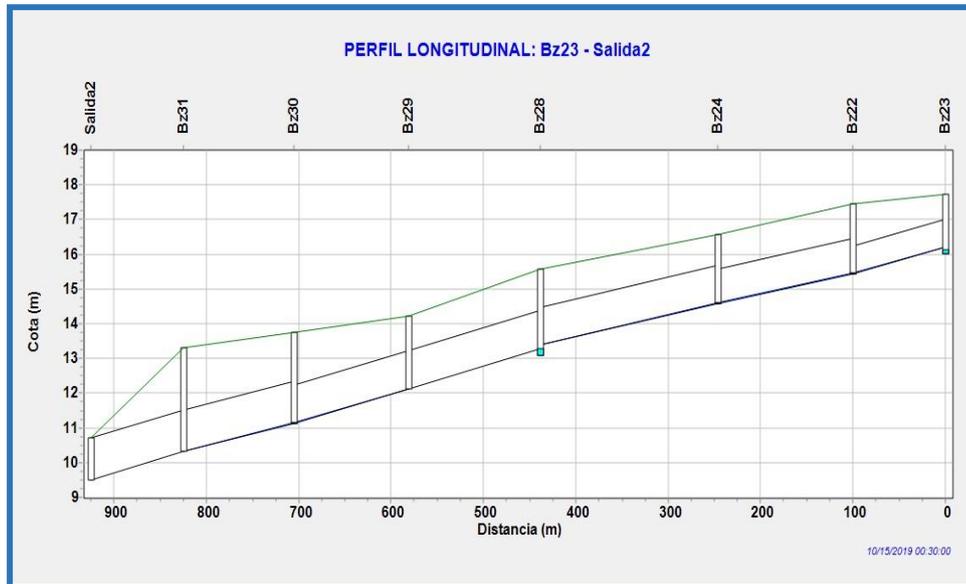
Fuente: Propia, generada en software SWMM

4.2.5.5. Tramo: Buzón 23 – Salida 2

La Figura 4.32 representa el comportamiento del sistema a los 30 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.33 muestra el comportamiento del sistema a los 60 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.34 se observa el comportamiento del sistema a los 90 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.35 representa el comportamiento del sistema a los 120 minutos de iniciada la lluvia y en la Figura 4.36 representa el comportamiento del sistema a los 150 minutos de iniciada la lluvia, observándose que a los 90 minutos de iniciada la lluvia en todos los casos hay un caudal pico y luego va disminuyendo.

Figura 4.32

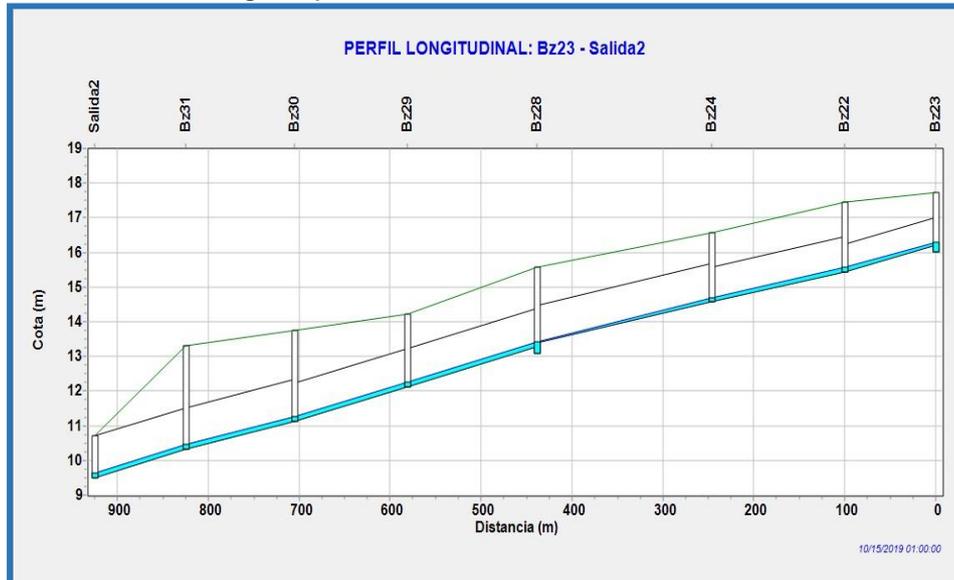
Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.33

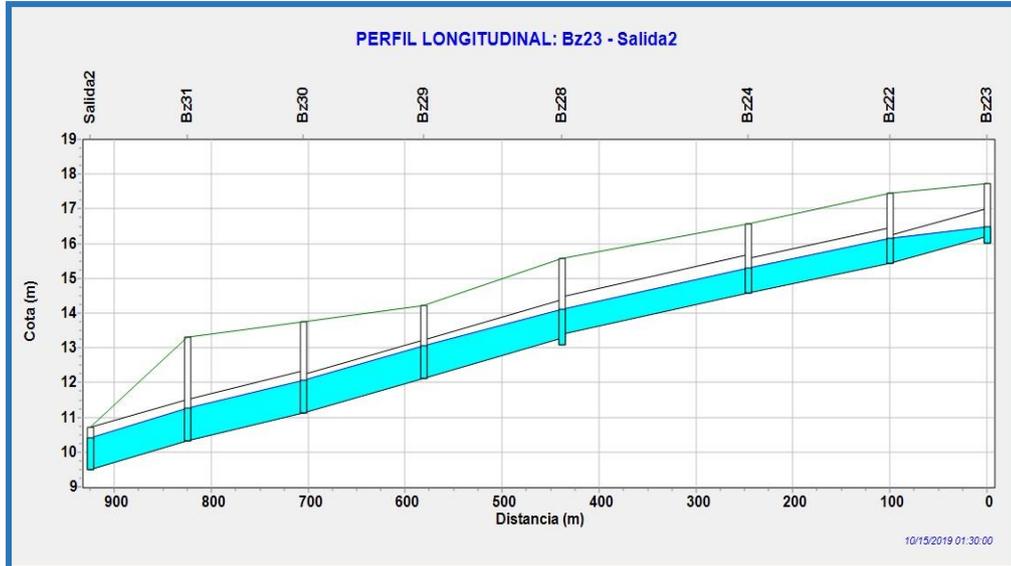
Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.34

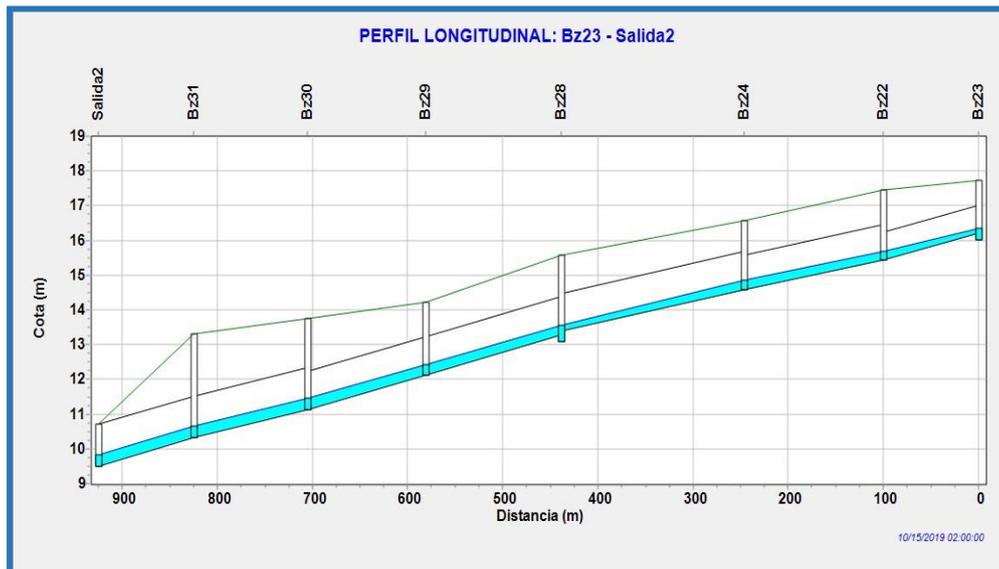
Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.35

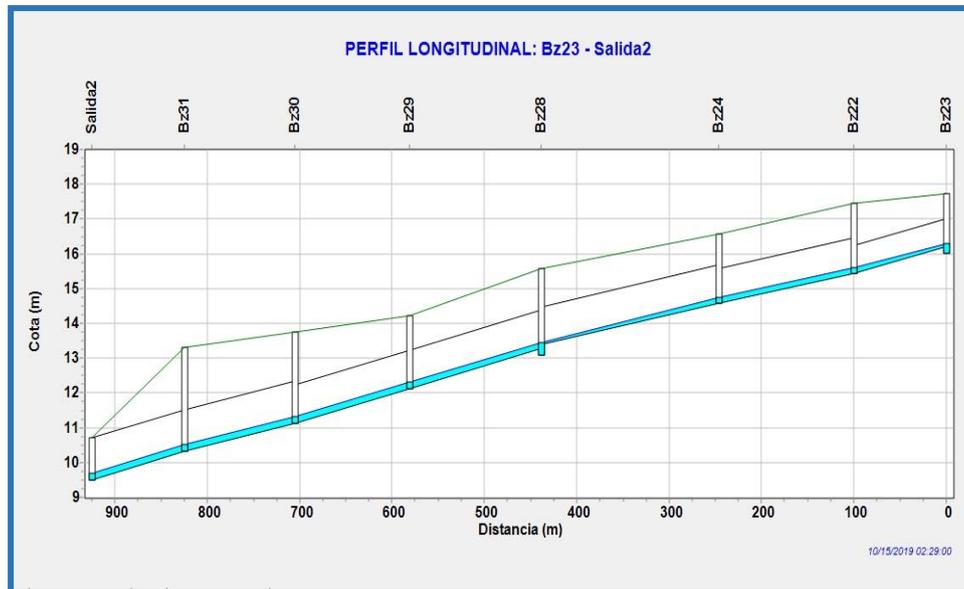
Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM

Figura 4.36

Perfil longitudinal del Buzón 23 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



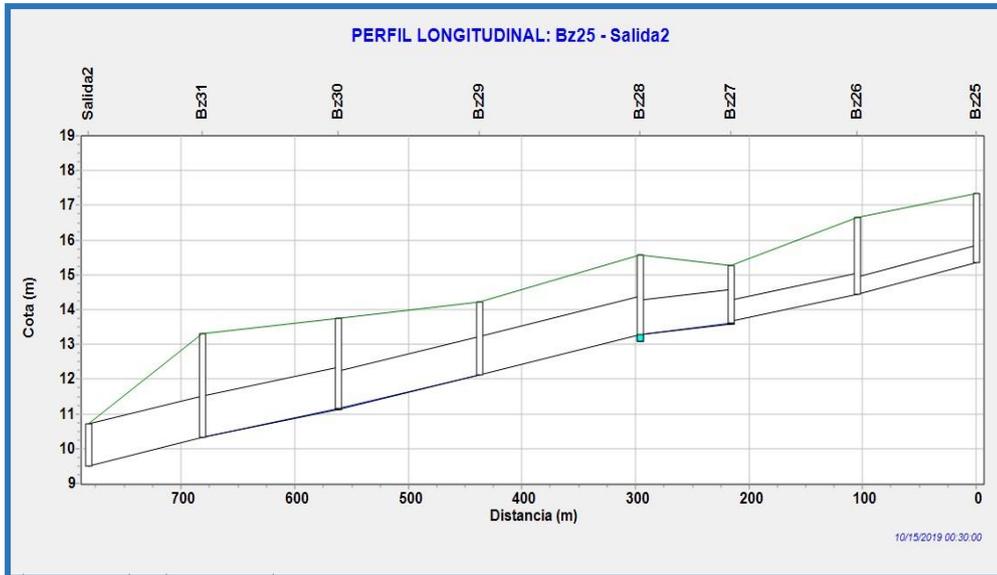
Fuente: Propia, generada en software SWMM.

4.2.5.6. Tramo: Buzón 25 – Salida 2

La Figura 4.37 representa el comportamiento del sistema a los 30 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.38 muestra el comportamiento del sistema a los 60 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.39 se observa el comportamiento del sistema a los 90 minutos de iniciada la lluvia, en la Figura 4.40 representa el comportamiento del sistema a los 120 minutos de iniciada la lluvia y en la Figura 4.41 representa el comportamiento del sistema a los 150 minutos de iniciada la lluvia, observándose que a los 90 minutos de iniciada la lluvia en todos los casos hay un caudal pico y luego va disminuyendo.

Figura 4.37

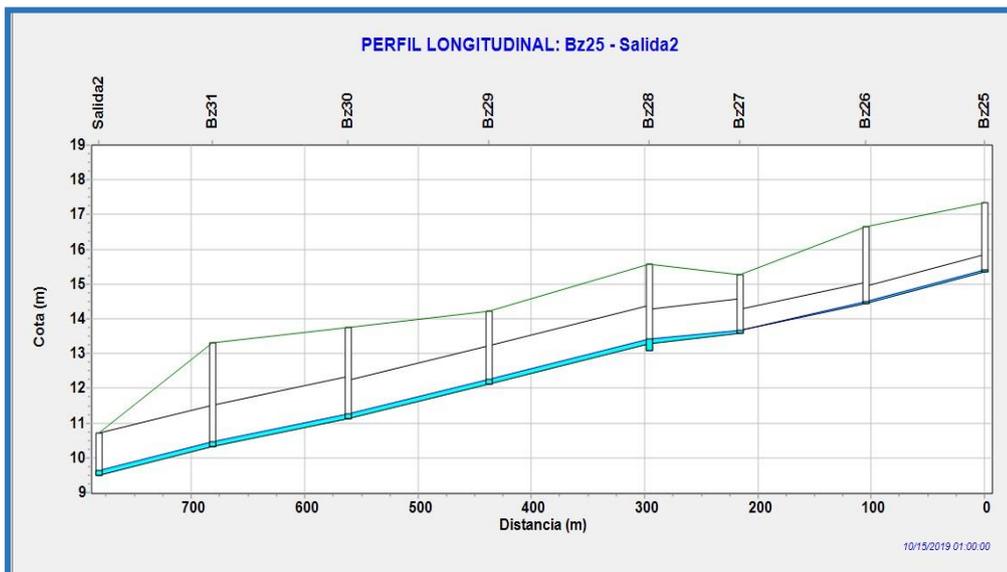
Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 30 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente : Propia, generada en software SWMM.

Figura 4.38

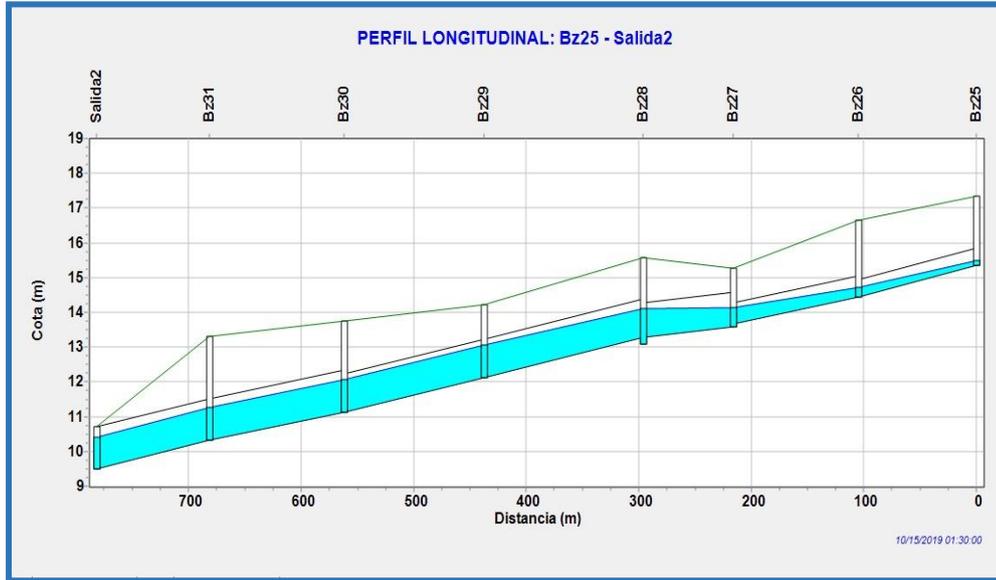
Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 60 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM.

Figura 4.39

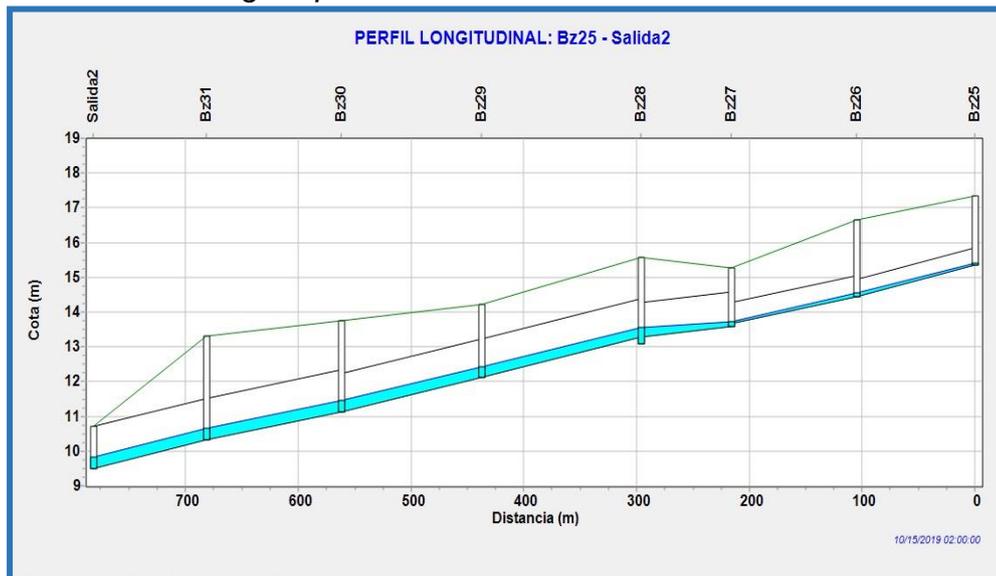
Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 90 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM.

Figura 4.40

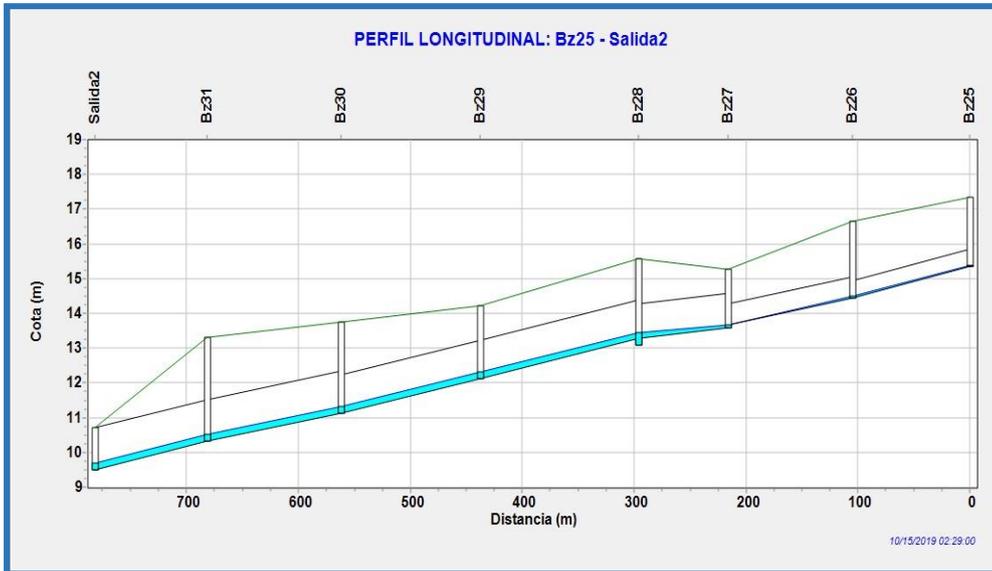
Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 120 minutos de simulación de agua que entra al sistema.



Fuente: Propia, generada en software SWMM.

Figura 4.41

Perfil longitudinal del Buzón 25 a la Salida 1 a los 150 minutos de simulación de agua que entra al sistema.

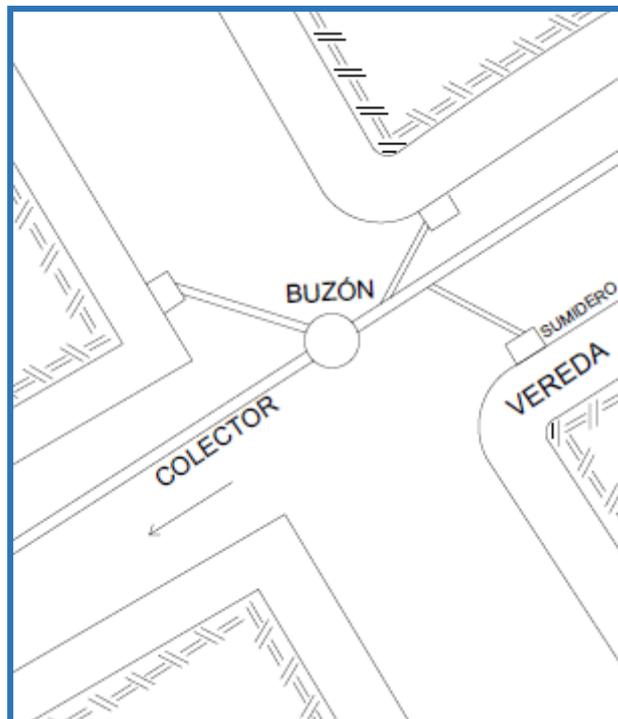


Fuente: Propia, generada en software SWMM.

4.2.6. SECCION TIPO

Figura 4.42

Sección Tipo



Fuente: Propia

V. DISCUSION DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

- Se logró obtener la topografía a partir de puntos de cotas de tapa de buzones de desagüe existentes, obteniendo curvas de nivel con equidistancias de 0.20 m. y 1.00 m. para curvas menores y curvas mayores respectivamente, tal como se muestra en el mapa topográfico.
- La delimitación de la sub cuencas urbanas tuvo en cuenta la topografía delimitando 31 sub áreas que varían de 0.41 has. Para la más pequeña y de 3.64 has. Para la más grande, teniendo un total de 51.58 has. de toda la cuenca urbana.
- La curva intensidad duración frecuencia se generó cada 5 minutos (bloques alternos) para un periodo de retorno de 25 años por el método ILLA SENAMHI UNI obteniendo una intensidad de 273.84 mm/hr para 5 minutos y 28.74 mm/hr para 150 minutos, esta curva fue adaptada por un factor de 0.3786 para obtener la curva intensidad duración de 10.88 mm/hr correspondiente a 150 minutos (generada de los 27.2 mm.)
- El hietograma Precipitación vs. Tiempo se obtuvo a partir de los 27.2 mm distribuidos en 2 horas y media, con un hietograma que inicio con una precipitación de 0.076 mm; un pico de 8.64 mm y un final de 0.068 mm en un lapso de 150 minutos
- Se pudo calcular los caudales picos generados en las sub cuencas con las fórmulas de depósito no lineal ayudándonos de un software especializado, obteniendo fluctuaciones de caudales pico que van de 75.10 lps a 382.21 lps dependiendo de las características propias de cada sub cuenca.

- El diseño final obtuvo 31 buzones unidos con tuberías los cuales fueron divididos en 2 sub sistemas, sub sistema de la izquierda desde el buzón 1 hasta la salida1 para la descarga y sub sistema de la derecha, desde buzón 16 hasta la salida2 para la descarga, las tuberías varían desde 0.40 m. a 1.20 m. de diámetro. En longitud varían desde 80 m. hasta 194 m. por último la salida1 tuvo una descarga de 3698 m³ y la salida2 tuvo 4703 m³ siendo un total 8402 m³ de descarga de todo el sistema.
- Se concluye que con la implementación del sistema de drenaje urbano pluvial mitigará el caudal generado en las avenidas Víctor Larco, Fátima y Húsares de Junín para épocas de la llegada del fenómeno del niño costero.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las entidades como SENAMHI o la autoridad nacional del agua(ANA) generen sus propios patrones de intensidad de lluvias locales a partir de las tormentas registradas, para así obtener un desagregado de la precipitación registrada más acorde a la realidad.
- Se recomienda que investigaciones futuras acerca de la dinámica pluvial urbana en el área de estudio se tome un mayor tiempo de duración de lluvia ya que esto permitirá que el caudal pico disminuya consecuentemente también disminuirá los diámetros de las tuberías.
- Se recomienda que para cálculos hidrológicos e hidráulicos en futuras investigaciones se utilice las fórmulas de reservorio no lineal para la hidrología y la fórmula de onda dinámica para la hidráulica, ya que estos emulan el comportamiento del flujo no permanente el cual se asemeja mucho más a la realidad y nos genera diseños más ajustados y económicos, tal como se hizo en esta investigación
- Se recomienda utilizar la presente investigación para futuros trabajos para que puedan evacuar las aguas del sistema hacia los colectores principales del PLAN MAESTRO que está en desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcántara, A. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. México: GRUPO PATRIA CULTURAL S.A. DE C.V.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de superficie*. Mexico: LIMUSA S.A.
- Chereque, W. (1989). *HIDROLOGÍA para estudiantes de ingeniería civil*. Lima: CONCYTEC. Obtenido de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>
- Chow, V. (1964). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGraw Hill.
- DEMETRU. (2003). *Esquema Director de Trujillo*. Trujillo. Obtenido de http://eudora.vivienda.gob.pe/OBSERVATORIO/PYED_MUNICIPALIDADES/TRUJILLO/ESQUEMA_DIRECTOR_2003.pdf
- Esquen, C., & Rodriguez. (2016). *DETERMINACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL MÉTODO HITALO LATINO AMERICANO PARA EL CÁLCULO DE HIETOGRAMAS DE DISEÑO EN LAS ESTACIONE SPLUVIOMÉTRICAS DE SALPO, QUIRUVILCA Y JULCAN*. Trujillo, Peru.
- ESRI. (2019). *Introduccion a ArcGIS*. Obtenido de ArcGIS Resources: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Gámez, W. (2015). *TEXTO BASICO AUTOFORMATIVO DE TOPOGRAFIA GENERAL*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/35166271.pdf>
- Gozzer, S. (04 de Diciembre de 2019). *4 efectos del cambio climático que ya se pueden ver en América Latina* . Obtenido de BBC: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-50634600>
- Hughes, C. (26 de Febrero de 2019). *Planificación de la sequía para detener las llaves de agua secas*. Obtenido de resilienceshift: <https://www.resilienceshift.org/drought/>
- Lima, M., & Quispe, L. (2018). *EVACUACION DE AGUAS PLUVIALES APLICANDO TECNICAS DE DRENAJE PLUVIAL URBANO SOSTENIBLE EN LA LOCALIDAD DE ALTO LIBERTAD*.

- Lima, M., & Quispe, L. (2018). *EVACUACION DE AGUAS PLUVIALES APLICANDO TECNICAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE EN LA LOCALIDAD DE ALTO LIBERTAD*. Arequipa, Peru.
- Linsley, R., Kholer, M., & Paulus, J. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Bogotá: McGraw-Hill Latinoamerica .
- Martínez, & Takahashi. (Junio de 2017). *¿EL NIÑO COSTERO o Fenómeno ELNIÑO?* Obtenido de BCRP-La moneda:
<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda-170/moneda-170-07.pdf>
- Morales, A. (3 de 9 de 2014). *SAS Planet: descarga imágenes de Google, Bing, etc*. Obtenido de MappingGIS: <https://mappinggis.com/2014/09/como-descargar-imagenes-de-google-bing-etc/>
- OS 060 . (2006). *NORMA OS 060 DRENAJE PLUVIAL URBANO*. Obtenido de <http://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20II%20Habilitaciones%20Urbanas/22%20OS.060%20DRENAJE%20PLUVIAL%20URBANO.pdf>
- Pachas, R. (2009). *EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO*: Venezuela.
- Rocha, A. (2011). El impacto del fenómeno del niño en zonas urbanas. *Ingeniería civil*.
- SEDALIB. (2017). *PLAN DE CONTIGENCIA FEN SEDALIB S.A*. Trujillo. Obtenido de <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/92015/20150929-7596704256.pdf>
- SENAHMI. (2014). *El fenómeno EL NIÑO en el Peru*. Lima.
- Torres, & Villate. (1968). *Topografía*. Bogotá: Normal. Obtenido de <https://oopmufps.files.wordpress.com/2014/08/topografc3ada-torres-y-villate1.pdf>
- Villegas, P. (09 de Enero de 2017). *Método del Número de Curva*. Obtenido de Entidad Agua y Sig : <https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

ANEXOS