

**IMPORTANCIA DE LOS SUMIDEROS, SU FUNCIONAMIENTO Y DISEÑO EN
REDES DE ALCANTARILLADO CASO DE ESTUDIO SECTOR NORORIENTAL
TUNJA**

KARLA VIVIANA ABAUNZA TABARES
Ingeniera Civil

FERNEY GEEOVANNY CHAPARRO ANDRADE
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN HIDROAMBIENTAL
TUNJA – BOYACÁ
2020

IMPORTANCIA DE LOS SUMIDEROS, SU FUNCIONAMIENTO Y DISEÑO EN REDES DE ALCANTARILLADO CASO DE ESTUDIO SECTOR NORORIENTAL TUNJA

**IMPORTANCIA DE LOS SUMIDEROS, SU FUNCIONAMIENTO Y DISEÑO EN
REDES DE ALCANTARILLADO CASO DE ESTUDIO SECTOR NORORIENTAL
TUNJA**

KARLA VIVIANA ABAUNZA TABARES

FERNEY GEEOVANNY CHAPARRO ANDRADE

DIRECTOR: PhD. MELQUISEDEC CORTÉS ZAMBRANO
PhD Ingeniería y Ciencias de los Materiales
Magister en Ingeniería Civil con Énfasis en Recursos Hídricos e
Hidro-informática
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN HIDROAMBIENTAL
TUNJA - BOYACÁ
2020

*IMPORTANCIA DE LOS SUMIDEROS, SU FUNCIONAMIENTO Y DISEÑO EN REDES DE ALCANTARILLADO CASO DE
ESTUDIO SECTOR NORORIENTAL TUNJA*

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 13 de Noviembre de 2020

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo lo dedicamos primeramente a Dios, por ser nuestro guía y fuente de inspiración para la conclusión de este proceso, por darnos fuerzas para obtener uno de los sueños más deseados.

A nuestros padres (Donaldo y Miriam; Sixto y Griceldina), por su amor, trabajo y sacrificio, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado a lo largo de nuestras vidas, a Samuel por ser esa gota mágica en nuestras vidas que nos lleva a superarnos como mejores personas y padres cada día.

Agradecimientos

A nuestros Padres, Hermanos y Familiares, por habernos dado la oportunidad de formarnos en esta prestigiosa universidad y haber sido nuestro apoyo durante todo este tiempo.

De manera especial al Ingeniero PhD. Melquisedec Cortés Zambrano tutor de tesis, por habernos guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de la maestría y habernos brindado el apoyo para desarrollarnos profesionalmente y seguir cultivando valores.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. Objetivo general:	18
2.2. Objetivos específicos:.....	18
3. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA.....	19
3.1. Descripción zona de estudio	19
3.2. Descripción local	20
3.3. Sector Nororiental.....	26
3.4. Delimitación zona de estudio	27
4. CATASTRO RED DE SUMIDEROS	28
4.1. Tipología de los sumideros sector nororiental.....	31
4.2. Problemas atípicos de sumideros.....	37
4.3. Clasificación de las rejillas existentes	40
5. BASE DE DATOS ARCGIS	52
6. DISEÑO Y DESARROLLO DEL MODELO FÍSICO	56
6.1. Determinación del tamaño y escala del modelo	58
6.2. Diseño del modelo	60
6.3. Diseño de rejillas.	62
6.4. Construcción del modelo:.....	69
6.5. Ensayos de laboratorio:	70
7. MODELO MATEMÁTICO DIGITAL EN SOFTWARE EPA SWMM 5.1.015	
81	
7.1. Área (ha).....	82

7.2. Ancho (m).....	83
7.3. Pendiente (%)	84
7.4. Porcentaje de impermeabilidad (%)	84
7.5. Área conectada directamente (% zero-imperv)	84
8. NORMATIVIDAD COLOMBIANA	93
8.1. Resolución 0330 del 2017 -RAS	94
8.2. Norma de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (E.A.A.B – E.S.P) 96	
8.3. Norma de diseño empresa de servicios públicos de Medellín.....	106
8.4. Tipos de sumideros.....	106
9. MANTENIMIENTO.....	119
9.1. Metodología de limpieza de sumideros.....	123
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	126
REFERENCIAS.....	130
ANEXOS	134

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización geográfica zona de estudio	20
Ilustración 2. Geología local.....	22
Ilustración 3. Susceptibilidad sísmica.....	22
Ilustración 4. Diagnóstico uso de suelo urbano	25
Ilustración 5. Susceptibilidad a inundación	25
Ilustración 6. Distritos de drenaje sector nororiental- Santa Inés (a), Altagracia (b), La Villita (c) y Casa Verde (d).....	26
Ilustración 7. Distrito barrio Santa Inés.....	27
Ilustración 8. Formato de catastro de sumideros utilizado en la presente investigación.	29
Ilustración 9. Catastro de sumideros.....	30
Ilustración 10. Catastro de sumideros.....	31
Ilustración 11. Material de elaboración de la rejilla.....	32
Ilustración 12. Estado Físico de sumideros.....	33
Ilustración 13. Sello hidráulico.....	34
Ilustración 14. Porcentaje de material de tubería de salida.....	35
Ilustración 15. Diámetros de salida del sumidero.....	36
Ilustración 16. Porcentaje de colmatación de sumideros.....	37
Ilustración 17. Problemas atípicos de sumideros.....	38
Ilustración 18. Problemas atípicos de sumideros.....	39
Ilustración 19. Perforaciones laterales en los sumideros	40
Ilustración 20. Rejilla tipo 1.....	41

Ilustración 21. Rejilla tipo 2.....	42
Ilustración 22. Rejilla tipo 3.....	43
Ilustración 23. Rejilla tipo 4.....	44
Ilustración 24. Rejilla tipo 5.....	45
Ilustración 25. Rejilla tipo 6.....	46
Ilustración 26. Rejilla tipo 7.....	47
Ilustración 27. Rejilla tipo 8.....	48
Ilustración 28. Rejilla tipo 9.	49
Ilustración 29. Rejilla tipo 10.....	50
Ilustración 30. Rejilla tipo 11.....	51
Ilustración 31. Shape distrito Santa Inés.....	53
Ilustración 32. Zona de estudio delimitación sumideros	54
Ilustración 33. Tabla de atributos base de datos ArcGIS.....	55
Ilustración 34. Vertedero de salida cara lateral modelo físico, acotado en metros.....	60
Ilustración 35. Cara superior modelo físico espacio rejillas de captación, acotado en metros	61
Ilustración 36. Modelo físico 2D, acotado en metros.	62
Ilustración 37. Bosquejo 3D rejilla tipo 1.....	63
Ilustración 38. Bosquejos 3D rejilla tipo 2.	64
Ilustración 39. Bosquejo 3D rejilla tipo 3.....	64
Ilustración 40. Bosquejo 3D rejilla tipo 8.....	65
Ilustración 41. Bosquejo 3D rejilla tipo 9.....	65
Ilustración 42. Impresión 3D rejilla tipo 1.....	66

Ilustración 43. Impresión 3D rejilla tipo 2.....	67
Ilustración 44. Impresión 3D rejilla tipo 8.....	68
Ilustración 45. Impresión 3D rejilla tipo 9.....	68
Ilustración 46. Construcción del modelo físico	69
Ilustración 47. Construcción del modelo físico	70
Ilustración 48. Vertedero frontal.....	71
Ilustración 49. Tipos de vertederos según el espesor de la pared	72
Ilustración 50. (a) Vertedero lámina libre (b) Vertedero sumergido.	73
Ilustración 51. Relación entre carga y caudal sobre el vertedero.	74
Ilustración 52. Prueba de eficiencia de rejilla.....	75
Ilustración 53. Prueba de eficiencia de rejilla.	76
Ilustración 54. Prueba de eficiencia de rejilla.....	76
Ilustración 55. Prueba de eficiencia de rejilla.....	77
Ilustración 56. Delimitación de subcuencas barrio Santa Inés SWMM.	83
Ilustración 57. Perfil de vía seleccionado para el modelo matemático.....	85
Ilustración 58. Implementation of the hydraulic modelling of urban drainage in the northeast sector, Tunja, Boyacá.	87
Ilustración 59. Altura de flujo en vías urbanas SWMM.	89
Ilustración 60. Altura de flujo en tubería de salida de sumideros SWMM.....	90
Ilustración 61. Velocidad del flujo en vías SWMM.	91
Ilustración 62. Representación gráfica ancho de inundación.....	99
Ilustración 63. Determinación de la eficiencia.	102
Ilustración 64. Sumidero de rejilla- ubicación.....	108

Ilustración 65. Sumidero de rejilla- isométrico.....	109
Ilustración 66. Sumidero de rejilla- planta.....	110
Ilustración 67. Sumidero de rejilla- sección transversal.	110
Ilustración 68. Sumidero de rejilla- acero de refuerzo de los muros- isométrico.	111
Ilustración 69. Sumidero de captación lateral-ubicación.....	113
Ilustración 70. Sumidero mixto- ubicación.....	114
Ilustración 71. Problema de colmatación en un sumidero	119
Ilustración 72. Problema de colmatación en un sumidero.	120
Ilustración 73. Mantenimiento preventivo.....	121
Ilustración 74. Mantenimiento correctivo.....	122
Ilustración 75. Limpieza manual.....	124
Ilustración 76. Limpieza hidrodinámica.	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rejilla tipo 1.....	41
Tabla 2. Rejilla tipo 2.....	42
Tabla 3. Rejilla tipo 3.....	42
Tabla 4. Rejilla tipo 4.....	43
Tabla 5. Rejilla tipo 5.....	44
Tabla 6. Rejilla tipo 6.....	45
Tabla 7. Rejilla tipo 7.....	46
Tabla 8. Rejilla tipo 8.....	47
Tabla 9. Rejilla tipo 9.....	48
Tabla 10. Rejilla tipo 10.....	49
Tabla 11. Rejilla tipo 11.....	50
Tabla 12. Cantidad de rejillas según su tipo	51
Tabla 13. Resultados eficiencia de rejillas.....	78
Tabla 14. Entradas para cada Subcuenca Modelo SWMM.	82
Tabla 15. Ancho de inundación admisible según clasificación de la vía.....	95
Tabla 16. Selección del tipo de sumidero en función de la pendiente	97
Tabla 17. Selección del tipo de sumidero en función de la pendiente y el caudal.....	97
Tabla 18. Determinación Ancho de Inundación Admisible.....	99
Tabla 19. Requisitos normativa	115

RESUMEN

En los últimos años se ha visto el crecimiento en las áreas urbanas como consecuencia del proceso de industrialización, incrementando las inundaciones debido a la disminución del área permeable y el aumento del volumen de escorrentía. Además, la falta de una nueva visión en política medioambiental evidencia la necesidad de adaptar la metodología usada en el cálculo de estas redes, dando lugar a una disciplina llamada Hidrología Urbana. Se establecen nuevos mecanismos y tendencias en los diseños de drenaje urbano, aplicando y desarrollando modelos que se ajusten al comportamiento del flujo. Este fenómeno ha obligado a estudiar con más detalle la respuesta de la cuenca a los eventos de lluvia, considerando la actuación del agua en las calles y en los colectores.

Los drenajes urbanos están compuestos por dos diferentes sistemas: uno es superficial y el otro es subterráneo, a su vez se encuentran conectados por medio de los sumideros que tienen la función más conveniente que es recoger el agua y conducirla a las tuberías de alcantarillado enterradas.

La presente investigación tiene como finalidad estudiar e investigar la importancia de los sumideros, su diseño y construcción en las redes de drenaje pluvial de los sistemas de alcantarillados existentes, en el sector nororiental de la ciudad de Tunja, con el fin de dar una alternativa a los distintos problemas presentados esencialmente en épocas de lluvia, para evitar las inundaciones y la baja captación del agua de escorrentía e introducir por medio de un modelo digital, el cual nos permitirá seleccionar la mejor configuración y selección de estos.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país tropical, por lo que su clima está determinado por patrones atmosféricos como lluvias, temperaturas y vientos en un amplio mosaico con muy poca predicción de estos, lo que nos lleva a cambios climáticos. Estos cambios constantemente provocan que las vías urbanas se deterioren rápidamente debido al funcionamiento ineficaz de los sistemas de drenaje urbano, fenómeno que aumenta el valor de los daños que genera el hecho urbano (Manuel, 2014). Diferentes autores suelen distinguir cuatro subproblemas dentro del problema general del drenaje urbano. Podemos enumerarlos como: determinar la cantidad de agua con la que debemos tratar, introducir el agua en la red, diseñar una red de conductos suficiente para transportar los caudales calculados y verter dichos caudales en un medio receptor (Beniamino & Manuel, 2014).

De los cuatro subproblemas del drenaje urbano, el primero de ellos es el problema hidrológico, mientras que el tercero es el problema hidráulico y el cuarto afecta los problemas de vertido al exterior. Entre estos pasos, existe uno que con frecuencia solemos olvidar: los caudales de escorrentía deben introducirse en la red de drenaje y en los puntos previstos, para que el agua no circule descontrolada por la superficie de la ciudad (Russo & Gómez, 2014).

El drenaje urbano presenta un conjunto clásico de elementos ambientales modernos, los desafíos de este son: la necesidad de contar con servicios técnicos rentables y socialmente aceptables, mejoras en los sistemas existentes, la necesidad de evaluar el impacto de esos sistemas y la necesidad de buscar soluciones sostenibles (Butler & Davies, 2004). En respuesta a esta desafiante situación, se deben desarrollar nuevos modelos, medidas y soluciones para lograr el objetivo y evaluar la viabilidad de la mitigación de inundaciones (Huang et al., 2015). En la

optimización de los diseños de drenaje urbano se incurre en el problema de no llevar a cabo el diseño de los drenajes, simplemente considerando la entrada de agua al sistema de la red de colectores directamente, pues no existe un modelo que determine las dimensiones y formas geométricas que más nos conviene, por las características físicas de la vía, y que permite la mayor capacidad de captación de agua de escorrentía. Es claro entonces que un estudio detallado del drenaje de una cuenca urbana no puede prescindir de un análisis adecuado en la modelización de la captación superficial de agua de lluvia (Beniamino et al., 2014), y así poder elegir los modelos que mejor respondan a las necesidades de los usuarios y los requerimientos desde el punto de vista, entre otros, de diseño y mantenimiento (Martínez, 2014). Para hacer frente a tales eventos extremos, los modelos informáticos avanzados son una solución (Kourtis et al., 2017).

La falta de este conocimiento en los diseños nos lleva a que en la actualidad los sistemas de drenaje superficial presentan problemas de depósitos de sedimentos, bajas eficiencias en la captación de escorrentías y densidades mínimas de sumideros en importantes áreas inundables, lo que produce acumulación de agua generando inundaciones, que causar obstáculos en la movilidad y generar daños a las edificaciones vecinas, riesgos a la población civil e incluso complicaciones de salud, las inundaciones son un fenómeno natural agravado por la acción de los seres humanos (Manuel & Beniamino, 2011). La evaluación del peligro de inundaciones urbanas es importante para la mitigación de las inundaciones y un paso necesario para las políticas gubernamentales de planificación urbana en todo el mundo. (Bathrellos et al., 2016).

Actualmente uno de los factores más estudiados es la alta tasa de magnitud del caudal generado por eventos de lluvia en áreas urbanas, uno de los mayores efectos que trae consigo la urbanización es el aumento del riesgo de inundaciones (Salas Pérez et al., 2019). El aumento de la

proporción de la superficie impermeable tras la asignación de nuevos usos del suelo nos lleva a producir un incremento de las aguas pluviales que escurren, por otro lado, los elementos típicos de la urbanización, como carreteras y colectores, modifican el esquema de drenaje, lo que lleva a conducir mejor la escorrentía, reduciendo los tiempos de concentración y aumentando su velocidad. Las acumulaciones de superficie en aceras y calles provocan problemas de confort y seguridad para peatones y vehículos, provocando resbalones, disminución del coeficiente de resistencia al deslizamiento, pérdida de visibilidad, entre otros aspectos.

La población del sector nororiental de la ciudad de Tunja se ve afectada en épocas de lluvias fuertes por daños e inundaciones presentados en las vías debido a la mala evacuación de estas. Los sistemas de drenaje urbano se encuentran obstruidos por sedimentos o materiales depositados en ellos, o en algunos casos porque no está diseñado para la recolección del caudal pico, ya que se generan problemas tanto en la capacidad como en el paso del agua por las rejillas. Pero el problema principal radica en que no se realiza el análisis hidrodinámico correspondiente a cada uno. Hoy en día en la capital y demás municipios del departamento de Boyacá, se realizan los estudios y localización de sumideros bajo un criterio “tipo” adicional su ubicación siempre se hace en las esquinas de las calles a intervenir. Se debe cambiar la metodología por una que desarrolle el estudio, diseño y evaluación en la implementación de algún sumidero en un sistema de alcantarillado.

Se tiene un área de estudio aproximada de 342.309,99 m² correspondientes al sector urbano del Barrio Santa Inés, en donde se encuentran aproximadamente 206 sumideros a los cuales se les realizó el catastro de cada uno, se pondrán a prueba los diferentes factores que intervienen en la eficiencia de recolección como lo son: pendientes y configuraciones geométricas de las rejillas,

cambiando sus diámetros, formas, espaciamentos y tamaños. Con el fin de analizar así resultados cercanos a los casos reales que ocurren en la actualidad, y el análisis computacional que permita determinar mediante la interacción que se genera con el modelo lluvia escorrentía a la hora de introducir el agua a la red de diseño, según los elementos que se tuvieron en cuenta en la configuración para obtener la mayor captación de caudal superficial.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Diagnosticar el desempeño de la red de sumideros existente en el sector Nororiental de la ciudad de Tunja, mediante un modelo físico y computacional.

2.2. Objetivos específicos:

- 1.** Determinar mediante un modelo físico la eficiencia de las rejillas existentes en la red de sumideros del sector Nororiental de la ciudad de Tunja.
- 2.** Realizar un modelo matemático mediante el software SWMM, en el cual se lleve a cabo la interacción del modelo lluvia-escorrentía al modelo hidráulico.
- 3.** Identificar cuáles son las principales variables que afectan la eficiencia de los sumideros.
- 4.** Verificar la normatividad colombiana sobre el diseño de sumideros e identificar posibles falencias de estas.

3. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

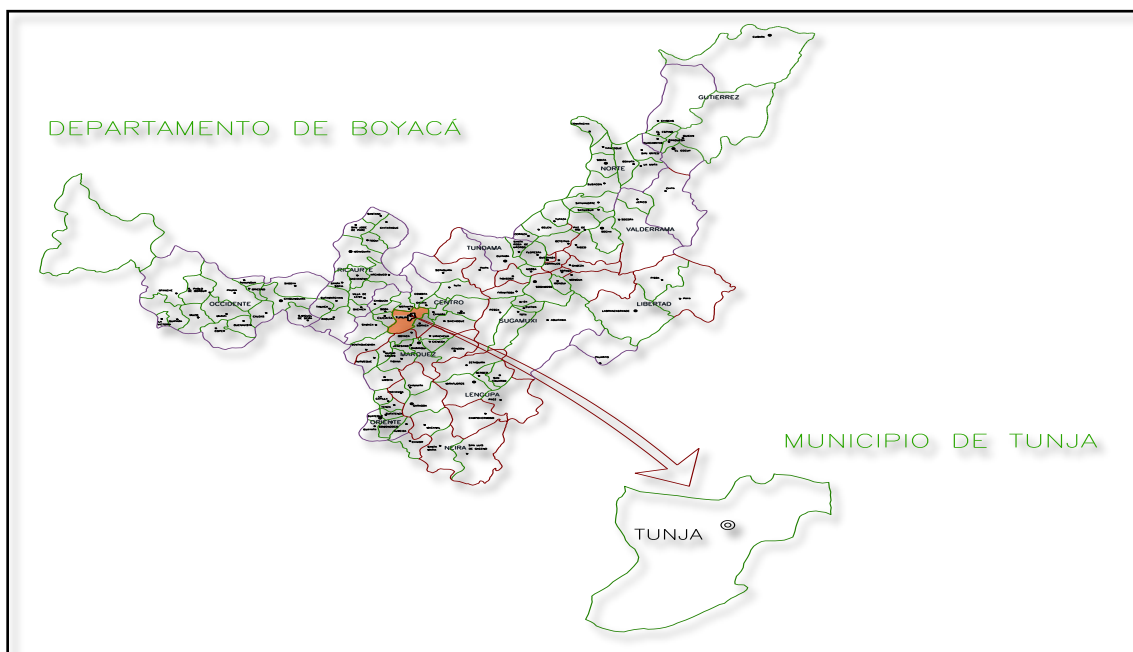
3.1. Descripción zona de estudio

Tunja está ubicada a 130 Kms de Santafé de Bogotá, su altura con el nivel del mar es de 2730 mts, se destacan sus iglesias coloniales, conventos y su centro histórico. El departamento está situado en el centro del país, en la cordillera oriental de los Andes; limita por el Norte con los departamentos de Santander y Norte de Santander, por el Este con los departamentos de Arauca y Casanare, por el Sur con Meta y Cundinamarca, y por el Oeste con Cundinamarca y Antioquía. El altiplano, lugar donde se localiza una de las regiones más ricas y densamente pobladas del país, se conoce también, como Altiplano Cundiboyacense, el cual se extiende desde el páramo de Sumapaz hasta las bases de la sierra nevada del Cocuy. Localización geográfica de Boyacá es 04° 39' 10" y los 07° 03' 17" de latitud norte y los 71° 57' 49" y los 74° 41' 35" de longitud oeste.

Limita por el norte con los municipios de Motavita y Cómbita, al oriente con los municipios de Oicatá, Chivatá, Soracá y Boyacá, por el sur con Ventaquemada y por el occidente con los municipios de Samacá, Cucaita y Sora. Registra 200 desarrollos urbanísticos en la zona urbana y 10 veredas en el sector rural: Barón Gallero, Barón Germania, Chorroblando, El Porvenir, La Esperanza, La Hoya, La Lajita, Pirgua, Runta y Tras del Alto. Los ríos: Jordán que atraviesa a la ciudad de sur a norte y la Vega que va de occidente a oriente, se consideran sus principales fuentes hídricas (Alcaldía de Tunja, 2018)

Ilustración 1.

Localización geográfica zona de estudio



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

3.2.Descripción local

La zona Nororiental de Tunja cuenta con un área aproximada de 285 ha, a lo largo de la avenida universitaria. Esta zona según el plan de ordenamiento territorial del municipio se encuentra contemplada entre los siguientes aspectos:

Geología: Para la zona en estudio se identificó tanto la estratigrafía como las estructuras tectónicas presentes, desde formaciones características hasta el sinclinal de Tunja, que colinda con la zona Nororiental objeto de estudio. Geología local. Las formaciones presentes hacen parte de la secuencia conformada por rocas de origen sedimentario depositadas durante el Terciario y Cuaternario, de las cuales se identificaron (Guacaneme, 2006):

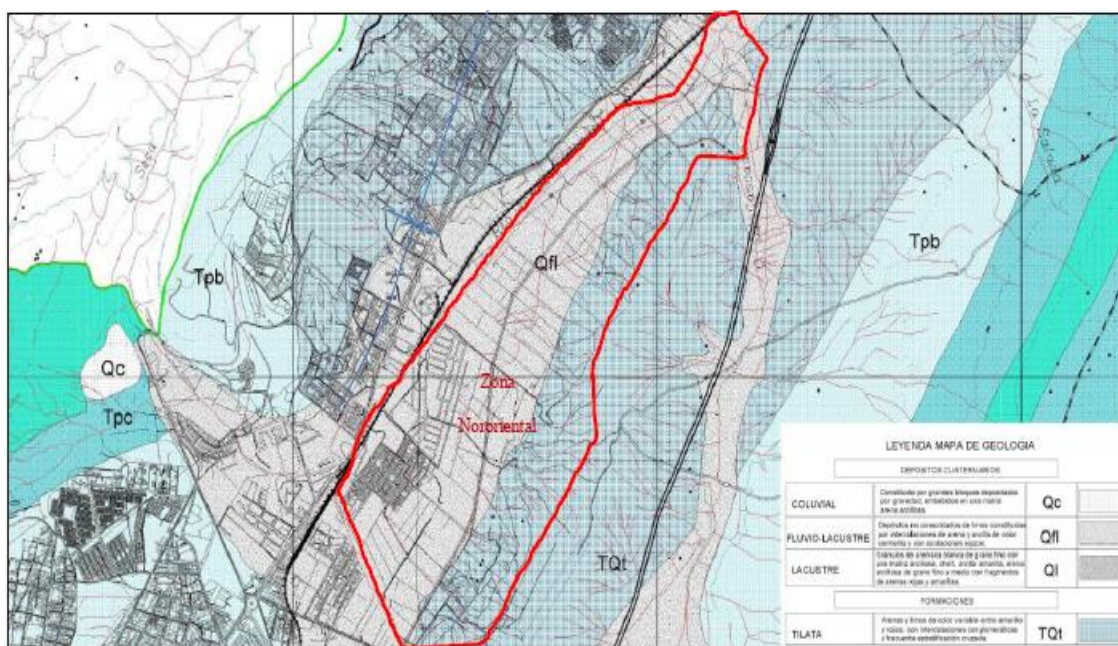
- Formación tilatá (Tst): Se da el nombre de Tilatá a una formación que se encuentra en capas horizontales entre Tilatá y la represa del Sisga, formada alternativamente de gredas, capas arenosas y cascajos con unos 150 m de espesor visible. El borde oriental de la pista de aterrizaje “Gustavo Rojas Pinilla” de la ciudad de Tunja, está conformada por arcillas blancas y grises, subhorizontales y compactas; todo este sector se halla fuertemente afectado por procesos erosivos proporcionando una morfología característica de cárcavas profundas y amplias.
- Formación fluvio-lacustre (Qac): Se encuentra formando los valles del río Jordán y de la quebrada La Cascada. Presenta una morfología de relieve suave a plano; son depósitos no consolidados y su composición varía lateralmente, así como la granulometría de sus elementos, situación que refleja la frecuente variación de la intensidad de las corrientes hídricas que los depositaron.

Susceptibilidad sísmica: cuenta con numerosos museos de interés arquitectónico, religioso, arqueológico y turístico. Estudios realizados por la AIS, (Universidad de Los Andes, 1984) y (Universidad de Los Andes, 1996), señalan que Tunja se encuentra en un área expuesta a la actividad sísmica. Como se observa en la ilustración 3.

El Departamento de Boyacá ha sido epicentro de más de 15 importantes sismos en Colombia, mientras que en Tunja según diversos catálogos sísmicos se han presentado más de 280 sismos con magnitudes Ms o mb superiores a 2.5 en los últimos 400 años, dentro de los que se destacan los de los años 1785, 1826, 1926, 1923, 1962 y 1967, los cuales causaron graves daños a las edificaciones de la ciudad (Ramírez, n.d.).

Ilustración 2.

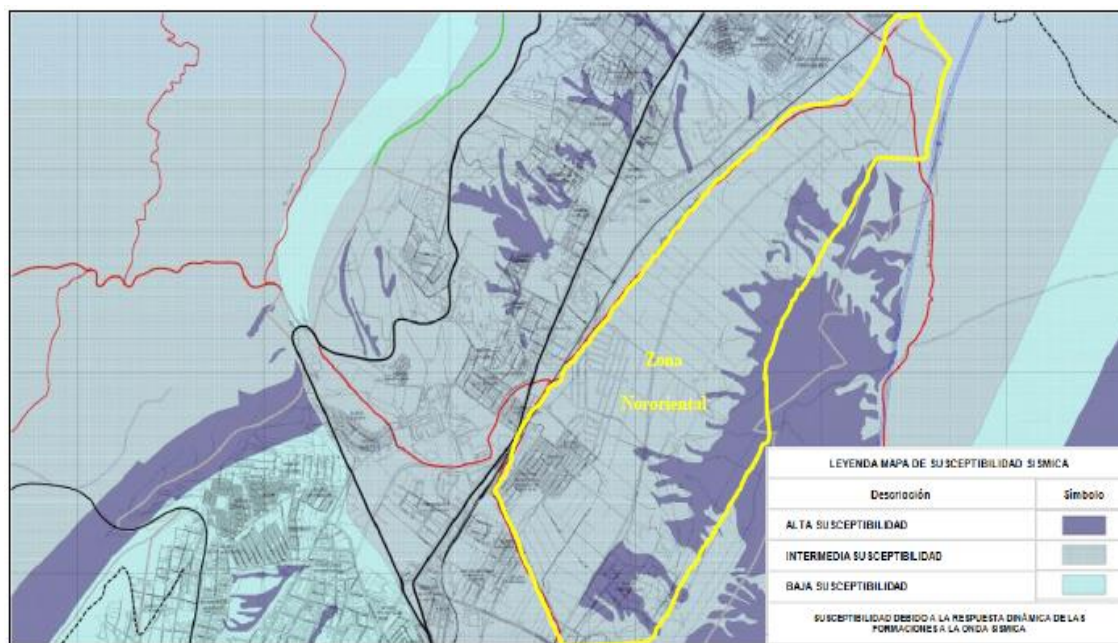
Geología local



Nota. Adaptado del plan de ordenamiento territorial del Municipio de Tunja (2014).

Ilustración 3

Susceptibilidad sísmica



Nota. Adaptado del plan de ordenamiento territorial del Municipio de Tunja (2014).

La zonificación de los suelos en superficie de la ciudad de Tunja permite precisar su baja capacidad portante, expansividad, con mal drenaje y substrato profundo e inundable, la gran susceptibilidad sísmica es evidente; de igual manera lo indica la presencia del eje de la estructura del Sinclinal de Tunja, el cual se encuentra desplazado por una falla transversal, con movimiento de rumbo y orientación NW.

Uso del suelo urbano: El POT del municipio de Tunja da a conocer el desarrollo que se tiene en la zona, a lo largo de la avenida universitaria se presentan usos de suelo específico, a saber: residencial exclusivo unifamiliar, uso institucional y uso mixto.

Residencial Exclusivo Unifamiliar: Área cuyo uso principal es el residencial, el cual solamente permite el desarrollo de algunos usos de bajo impacto urbanístico, compatibles a él. Para el área urbana de Tunja se identifica con el código U.P.R.E (Urbano Privado Residencial Exclusivo).

Institucional 2: Áreas destinadas a uso institucional específico, a saber: Educación: institutos técnicos, especializados, centros de capacitación, colegios de enseñanza media y similar.

Administrativos: centros administrativos locales, Centros de Atención inmediata y de telecomunicaciones.

Social-cultural: Teatros al aire libre, centros culturales comunitarios y academias.

Asistencial: Instituciones prestadoras de servicio de salud del nivel uno.

Recreativos: polideportivos, escenarios al aire libre.

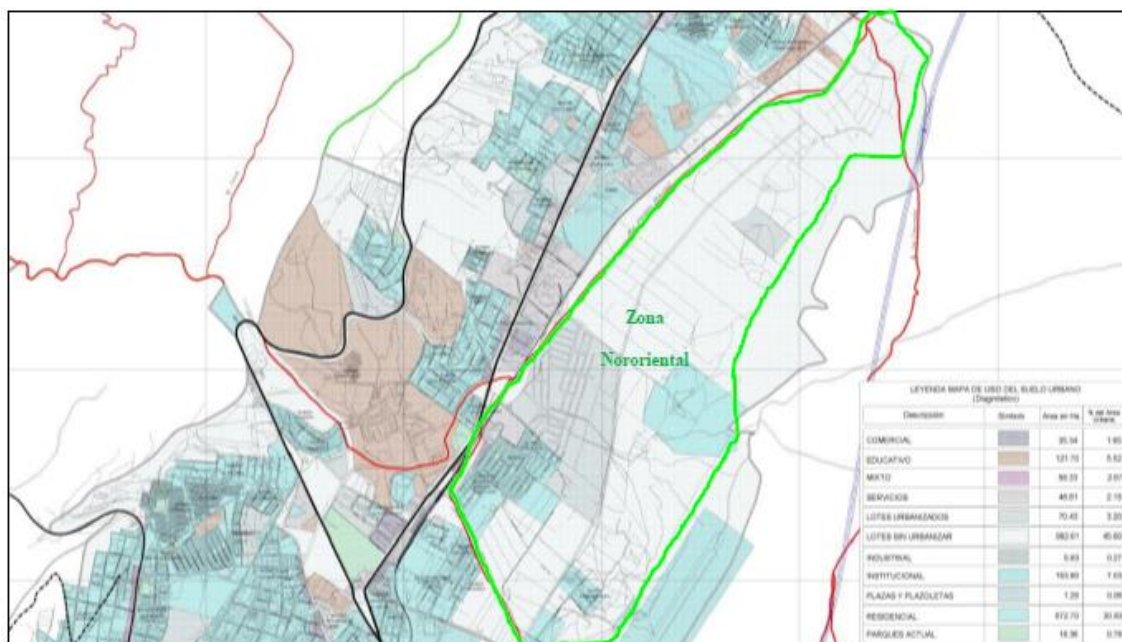
Residencial mixto X1 y X2: Áreas destinadas al uso residencial, pero que permite el desarrollo o mezcla con otros usos, en especial de comercio, servicio o industria, desarrollados en

forma independiente o dentro de la misma vivienda. Para el área urbana de Tunja se identifica con el código U.P.R.M (Urbano Privado Residencial Mixto).

Susceptibilidad a inundación: La actual tendencia en la ciudad es la de edificar en las zonas aluviales de los Ríos Jordán y La Vega, zonas que teniendo en cuenta la respuesta hidrológica de las fuentes superficiales presentan inundaciones. Las principales causales de incremento en el grado de susceptibilidad a inundación que afecta a la zona Nororiental del Municipio de Tunja son las provenientes de erosión avanzada y cárcavamiento. En la figura 5 se ilustra el plano Susceptibilidad a Inundación (Resolución 0241 POT, 2014), para la ciudad de Tunja, en donde se evidencia que la zona Nororiental posee susceptibilidad alta de inundaciones, teniendo en cuenta su cercanía a los cauces naturales del Río Jordán, quebrada la Vega y por la presencia importante de cárcavas en la zona.

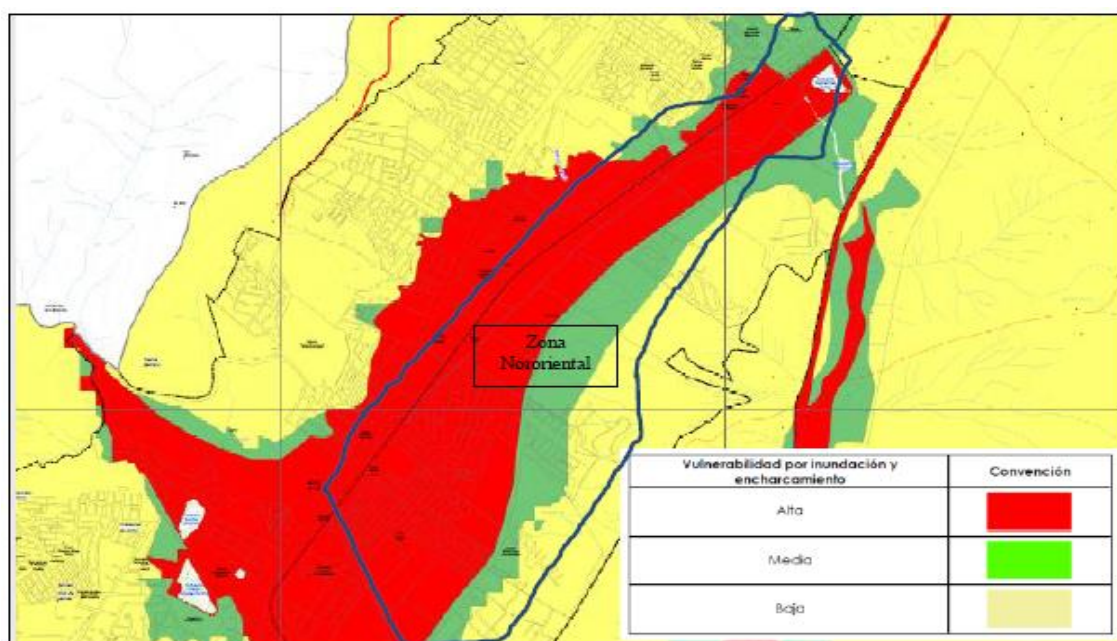
Los suelos urbanizables deben proyectar un plan general del trazado de redes fundamentales de agua acueducto y alcantarillado sanitario y pluvial definiendo las características de esas redes y galerías. Sin embargo, la expansión urbanística no siempre va acompañada de una adecuada planificación, las leyes urbanísticas no han creído nunca necesario establecer que para usar el suelo virtualmente siempre es necesario el manejo del recurso hídrico.

Ilustración 4

Diagnóstico uso de suelo urbano

Nota. Adaptado del plan de ordenamiento territorial del Municipio de Tunja (2014).

Ilustración 5

Susceptibilidad a inundación

Nota. Adaptado del plan de ordenamiento territorial del Municipio de Tunja (2014).

3.3. Sector Nororiental

La sectorización contemplada en el Plan Maestro de Alcantarillado de Tunja, la zona Nororiental se encuentra dividida en cuatro distritos de drenaje: Santa Inés (A), Altagracia (B), Villita (C) y Casa Verde (D) (Ver Ilustración 6).

Ilustración 6

Distritos de drenaje sector nororiental- Santa Inés (a), Altagracia (b), La Villita (c) y Casa Verde (d)



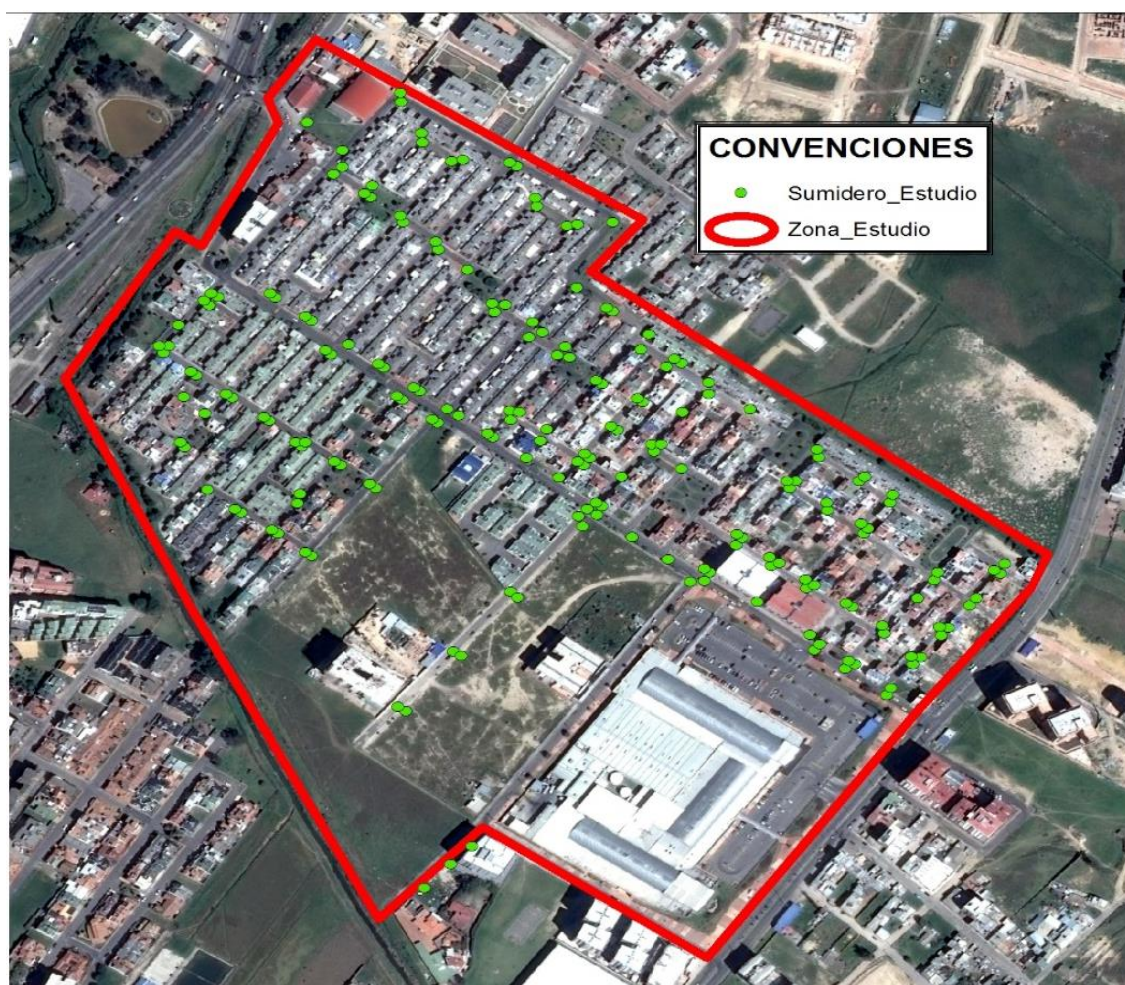
Nota. Adaptado de modelización hidráulica de drenaje urbano, por Amaya, W. (2019)

3.4. Delimitación zona de estudio

Se escoge el barrio Santa Inés como zona de estudio teniendo en cuenta que históricamente este sector ha presentado problemas de inundación, por eventos fuertes de precipitación y por poseer una mayor área de impermeabilidad con un alto índice de urbanización con respecto a los demás distritos.

Ilustración 7

Distrito barrio Santa Inés.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4. CATASTRO RED DE SUMIDEROS


La única manera de determinar la cantidad de agua que es capaz de interceptar un, sumidero es sometándolo a ensayos. Para la realización de estos se debe obtener la identificación de las características, esto hace necesario realizar un catastro ya que, por medio de este, se puede crear un sistema de registro y archivo de la información técnica estandarizada, teniendo en cuenta este concepto se procedió a identificar las propiedades físicas de cada uno.

Según los datos suministrados por la empresa Veolia compañía especializada en gestión de servicios de acueducto y alcantarillado se evidenció que no todos los sumideros aparecen en el plano correspondiente a la zona de estudio, tal vez por falta de actualización de estos. Por ende, se añadieron sumideros que no existían en la información entregada.

Por consiguiente, se identificaron 206 sumideros, en donde se realizó la comprobación del ancho, largo, tipo de material de rejilla y su configuración geométrica, adicional se identificó la conectividad con el alcantarillado, diámetros de tuberías, profundidad de estructuras y estado físico. Concluyendo que el catastro es representativo y constituye la realidad del sistema de drenaje. La actividad de verificación se procesó y digitalizó a través de un formato realizado por los autores.

Ilustración 8

Formato de catastro de sumideros utilizado en la presente investigación.

CATASTRO DE SUMIDEROS SECTOR NORTE TUNJA		UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CANTÓN UNIVERSIDAD DE CAGUAY		
PROYECTO: IMPORTANCIA DE LOS SUMIDEROS, SU FUNCIONAMIENTO Y DISEÑO EN REDES DE ALCANTARILLADO CASO DE ESTUDIO SECTOR NORTE TUNJA		FECHA: 16-04-19		
DIRECCIÓN Cra 2 bis calle 4ta		N° SUMIDERO: 50372		
CÓDIGO FOTO: 115-155354				
INSPECCIONAR	ESTADO A REVISAR			
SECCIÓN	Rectangular	SELLO HIDRAÚLICO	SI	NO
ESTADO DE REJILLA	BUENO: x	LARGO SUMIDERO (cm)	72	
	REGULAR:	ANCHO SUMIDERO (cm)	38	
	MALO:	TIPO TAPA	METÁLICA x	CONCRETO SIN TAPA
DIÁMETRO TUBERÍA	6" gres	TIPO SUMIDERO	FONDO x	LATERAL TRANSVERSAL
TIPO DE REJILLA	METÁLICA x	COMBINADA		
	CONCRETO			
MATERIAL DE SUMIDERO	MAMPOSTERIA x			
	CONCRETO x			
PROFUNDIDAD DE LA ESTRUCTURA	82 cm			
SUPERFICIE	CONCRETO x			
	ASFALTO x			
	ADOQUIN TIERRA			
SEPARACIÓN DE REJILLAS (cm)	4			
FUNCIONAMIENTO	SI NO			
OBSERVACIONES: 8 huecos (32 cm x 5 cm)				
ELABORO:			ELABORO	
NOMBRE: Karla Abaunza Tabares			NOMBRE: Ferrn Chaparro	
CARGO: Estudiante de Maestría			CARGO: Estudiante de Maestría	
FIRMA: Karla Abaunza			FIRMA: [Signature]	

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

En la ilustración anterior, se muestra el formato utilizado en campo donde se plasmaron los datos topológicos recopilados de los diferentes sumideros presentados en el área de estudio. A continuación, se presentan algunas fotografías.

Ilustración 9

Catastro de sumideros.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 10

Catastro de sumideros.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.1. Tipología de los sumideros sector nororiental

Una vez procesada toda la información del catastro de los 206 sumideros, se pueden determinar los siguientes datos estadísticos los cuales nos permiten tener una tipología más detallada y como clasificarlos:

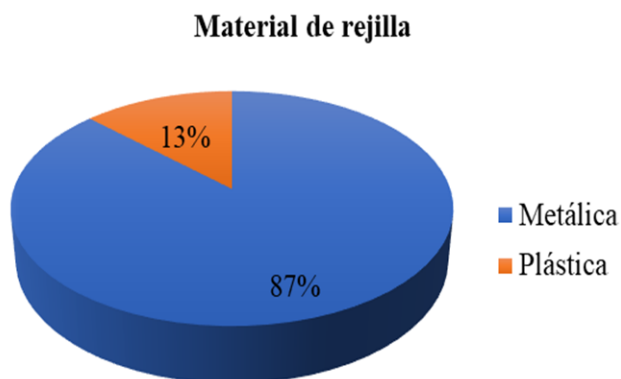
4.1.1. Material de rejilla.

Comenzaremos por indicar que tipo de material presentan, como se observa en la ilustración No. 11 se puede determinar que existen dos tipos: Metálicas (Hierro Fundido)

y Plásticas, predominan con un 87% las rejillas metálicas mientras que el 13% restantes son plásticas.

Ilustración 11

Material de elaboración de la rejilla.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.1.2. Estado físico de los sumideros.

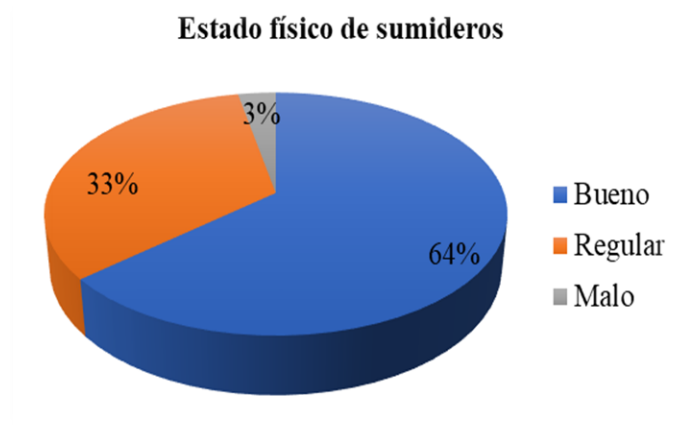
En el catastro realizado se pudo observar el estado en el que se encontraron los sumideros, estos se clasificaron en 3 estados: bueno, regular y malo, en donde el primero correspondía aquellos que se encontraban en perfectas condiciones tanto físicas e hidráulicas, el segundo cuya estructura física presentaban algún deterioro, pero tenían buenas circunstancias de trabajo hidráulico y el tercero a los que necesitan un cambio de rejillas u otro componente debido a deterioros, adicional su capacidad hidráulica no está trabajando al 100%.

Como se observa en la ilustración No.12, el 64% caracterizado se encuentran en buen estado, mientras que el 33% están regular y precisan de un mantenimiento para estar en óptimas condiciones de trabajo y el 3% restante están en mal estado y necesitan ser

cambiados o reparados sus componentes, con el fin de entrar en operación óptima en el sistema de drenaje.

Ilustración 12

Estado físico de sumideros.

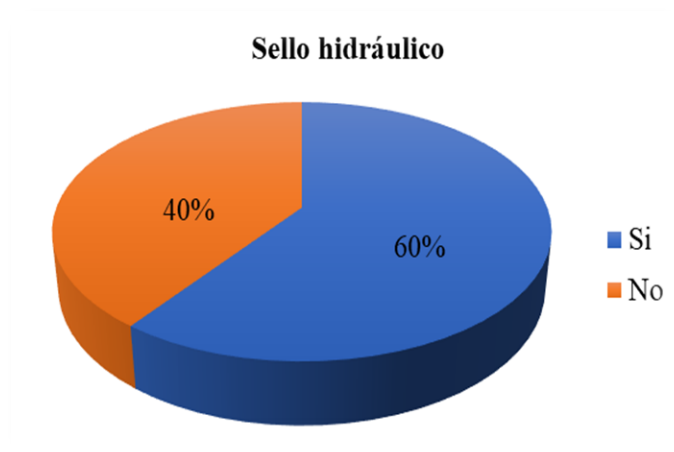


Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.1.3. Sello hidráulico.

Tiene como finalidad evitar que los malos olores y roedores circulen libremente entre el sumidero y el sistema de alcantarillado, es una parte fundamental para la estética del drenaje urbano, en la ilustración No. 13 se puede determinar que un 60% de los sumideros caracterizados poseen un sello hidráulico mientras que el 40% restante no cuentan con este.

Ilustración 13

Sello hidráulico.

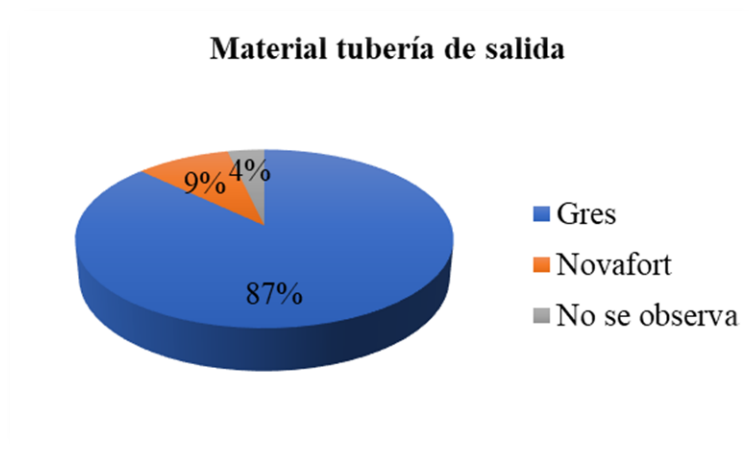
Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.1.4. Material de tubería de salida.

Se identificó que se presentan dos (2) tipos diferentes de material que conecta a este con el sistema de alcantarillado, como se puede apreciar en la ilustración No. 14, la tubería predominante es la de gres, ya que se utiliza en un 87%, mientras que el 9% están constituidas en novafort y el 4% no fue posible identificar.

Ilustración 14

Porcentaje de material de tubería de salida.



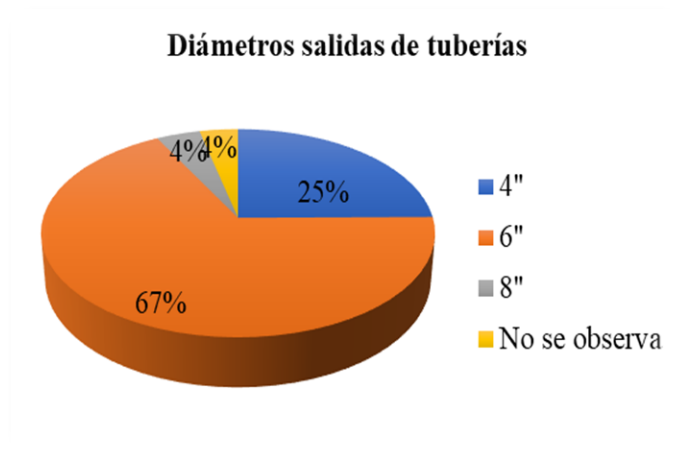
Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.1.5. Diámetro de la tubería de salida.

En el catastro realizado fue posible evidenciar la tubería que conecta al sumidero con el sistema de alcantarillado, se denotó que el 67% de las conexiones son de 4", el 25% cuentan con un diámetro de 6", un 4% de 8" y el 4% restante no se pudo determinar.

Ilustración 15

Diámetros de salida del sumidero.



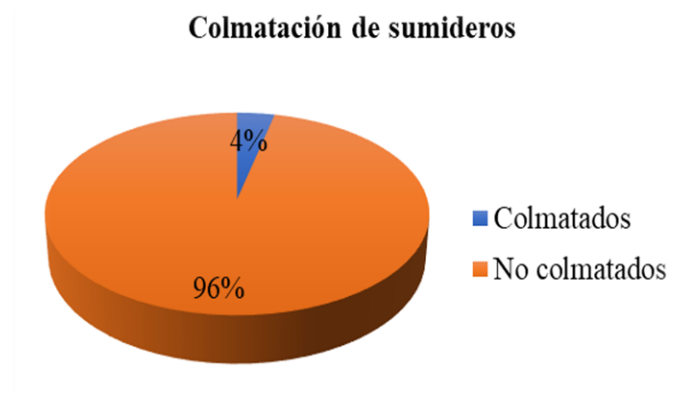
Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.1.6. Colmatación de sumideros.

Es la acumulación de sedimentos o residuos sólidos, en la ilustración No.16 se encontró que un 96% no se encontraban colmatados y el 4% restante si presentaban colmatación.

Ilustración 16

Porcentaje de colmatación de sumideros.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.2. Problemas atípicos de sumideros

Con atípicos nos referimos a casos que por sus propiedades o características resultan diferentes de los problemas comunes que se presentan en los sumideros, como lo puede ser que algunos estén colmatados por residuos sólidos urbanos, ya que estos son generadores de problemas hidráulicos provocando la disminución de la sección transversal de la tubería, además la rugosidad cambia con el tiempo por diversos factores como la biopelícula formada en las paredes de la tubería ocasionando diferentes pérdidas por fricción de las del diseño original (Cárdenas Ballén & Pérez Pulido, 2015), esto se debe a una falta de mantenimiento continuo de los mismos. También es muy típico encontrar rejillas que han sido víctimas de ataques vandálicos por parte de la comunidad.

En esta ocasión hemos encontrado que el ciudadano no es consciente de que todos los sumideros son un solo sistema, en el cual cada uno tiene sus propiedades hidrodinámicas que debe

cumplir para lograr realizar su fin. Ahora bien, las rejillas con sus respectivas configuraciones geométricas contienen una determinada eficiencia.

La eficiencia hidráulica de un elemento de drenaje superficial depende de muchos parámetros entre los cuales destacan el caudal de paso por la cuneta (Q), el tipo de rejilla de captación, la pendiente longitudinal (I_y), la rugosidad (n) y la geometría de la cuneta, el bombeo transversal de la calle (I_x), y del factor de colmatación debido a fenómenos de obstrucción del área de huecos de la estructura (Gómez & Russo, 2009), pero en distintos escenarios, se identificó que la comunidad realiza la instalación de un anejo que es una malla metálica o plástica con separaciones muy pequeñas, en toda la superficie de la rejilla, generando un cambio inmediato en las cualidades hidráulicas del mismo, en la ilustración No. 17 se muestran diferentes ejemplos.

Ilustración 17

Problemas atípicos de sumideros.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Adicional se encontró otro problema, en este caso la ciudadanía realiza la construcción de cárcamos para el ingreso de sus vehículos a los garajes de las viviendas, al realizar estos la mayoría de sumideros quedan en medio generándose un taponamiento en las cunetas, provocando que el agua no sea captada y se quede estancada en los costados, en la ilustración No. 18 se pueden observar algunos ejemplos.

Ilustración 18

Problemas atípicos de sumideros.



Nota. Abaunza, K. Chaparro, F. (2020).

Así mismo, se encuentra otro fenómeno en los sumideros, este hace referencia a la intervención directa de la ciudadanía sobre las rejillas, ya que en muchos se presenta una perforación a las paredes laterales para que el agua de escorrentía entre directamente al cuerpo del sumidero sin pasar por la rejilla, generando un cambio completo en las propiedades hidráulicas de todo el sistema de sumideros.

Ilustración 19

Perforaciones laterales en los sumideros.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

En la ilustración No. 19 se puede observar un claro ejemplo del problema que se presentan en algunos sumideros en donde se inhabilita el uso de la rejilla.

4.3. Clasificación de las rejillas existentes

Una vez terminado el análisis estadístico de la información recolectada mediante el catastro, se logró determinar que de las doscientas seis (206) rejillas analizadas se clasificaron once (11) tipos, ya que cumplían con similitud en sus características; esta clasificación está compuesta de la siguiente manera:

4.3.1. Rejilla tipo 1.

Tabla 1

Rejilla tipo 1

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
40	90	Metálica	8	33 x 5

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 20

Rejilla tipo 1

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.2. Rejilla tipo 2

Tabla 2

Rejilla tipo 2

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
42	90	Metálica	10	32 x 2

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 21

Rejilla tipo 2.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.3. Rejilla tipo 3

Tabla 3

Rejilla tipo 3

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
40	65	Plástica	20	16 x 4.5

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 22

Rejilla tipo 3.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.4. Rejilla tipo 4

Tabla 4

Rejilla tipo 4

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
40	80	Plástica	8	29 x 5

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 23

Rejilla tipo 4.

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.5. Rejilla tipo 5

Tabla 5

Rejilla tipo 5

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
50	80	Plástica	8	32 x 5

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 24

Rejilla tipo 5.

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.6. Rejilla tipo 6

Tabla 6

Rejilla tipo 6

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
48	115	Metálica	11	34 x 3

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 25

Rejilla tipo 6.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.7. Rejilla tipo 7

Tabla 7

Rejilla tipo 7

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
38	72	Metálica	8	31.5 x 5

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 26

Rejilla tipo 7.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.8. Rejilla tipo 8

Tabla 8

Rejilla tipo 8

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
46	90	Metálica	19	Variables

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 27

Rejilla tipo 8.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.9. Rejilla tipo 9

Tabla 9

Rejilla tipo 9

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
40	70	Metálica	10	34 x 4.5

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 28

Rejilla tipo 9.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.10. Rejilla tipo 10.

Tabla 10

Rejilla tipo 10

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
40	100	Metálica	18	32 x 3

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 29

Rejilla tipo 10.

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

4.3.11. Rejilla tipo 11.

Tabla 11

Rejilla tipo 11

Ancho (cm)	Longitud (cm)	Material	N.º Orificios	Medida Orificios (cm)
55	55	Metálica	11	51 x 3.5

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 30

Rejilla tipo 11.

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Se muestra la tabla No. 12 en donde se señala el tipo de rejilla y su cantidad con respecto a la totalidad de sumideros del sistema de alcantarillado analizado.

Tabla 12

Cantidad de rejillas según su tipo

Tipo de rejilla	Cantidad	%
1	33	16%
2	5	2%
3	4	2%
4	8	4%
5	11	5%
6	14	7%
7	102	50%
8	5	2%
9	18	9%
10	5	2%
11	1	0,48%

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

5. BASE DE DATOS ARCGIS

Para llevar a cabo una información organizada, precisa y detallada, fue necesario crear una base de datos mediante el Software ArcGIS.

El diseño de la base de datos, comprende tres etapas:

- **Diseño conceptual.** Aquí se identifican los requerimientos de información y los datos disponibles relacionados con ellos, que a su vez generan un modelo conceptual y una definición clara para el usuario en relación con la aplicación.
- **Diseño lógico.** Consiste en la concepción general del sistema, mediante la integración de los modelos particulares para generar un modelo global de información, lo que permitirá eliminar redundancias y optimizar el esquema formal de la base de datos (modelo lógico).
- **Modelo físico.** Representa la última etapa, consiste en el desarrollo computacional de la base de datos (diseño de registros, archivos, métodos de acceso, restricciones de seguridad, etc.) (Sosa-Pedroza & Martínez-Zúñiga, 2009). De acuerdo con las cifras recolectadas en el catastro de los sumideros, permitiendo visualizar de manera ágil y segura.

Acorde a los datos entregados por Veolia compañía especializada en gestión de servicios de acueducto y alcantarillado, se puede observar el Shape el cual es un formato sencillo que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica e información de atributos de las entidades geográficas.

Ilustración 31

Shape distrito Santa Inés.

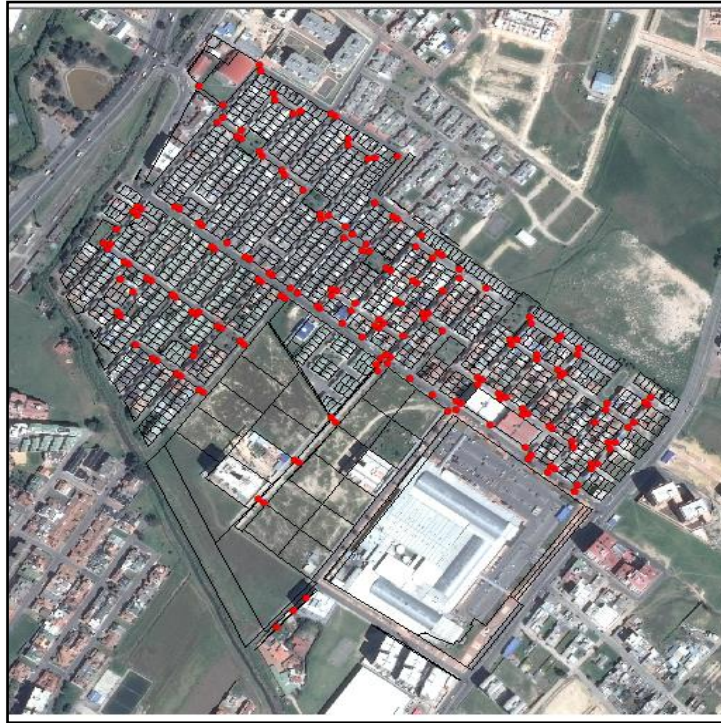


Nota. Tomado de Veolia aguas de Tunja, (2019).

Consecutivamente se realizó un recorte al Shape para la zona de estudio correspondiente a la investigación, como se observa en la Ilustración No.32, se resaltó por medio de puntos de color rojo los sumideros a los cuales se les realizó el catastro.

Ilustración 32

Zona de estudio delimitación sumideros.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Además, el Shape contiene una tabla de atributos donde se le ingresaron los datos tomados en el catastro, como lo muestra la Ilustración No. 33, se puede detallar la información que contiene el Shape.

Ilustración 33

Tabla de atributos base de datos ArcGIS.

FID	Shape *	OBJECTID_1	OBJECTID	IDSIG	IDCAD	DIRECCION	OBSERVACION	FECHA	CODIGO
183	Point	184	0	PC086	AE25	CRA 4#43	7 HUECOS(42CMX3.5CM),ANGULO MARCO 2"X2",SELLO NO FUNCIONA	29/08/2019	
46	Point	47	8790	PATS1978	S01RM	CRA 3A#40	10 HUECOS(31.5CMX5CM)	18/09/2019	
72	Point	73	8820	PATS2008	S01TZ	CRA 2A#42	8 HUECOS(30CMX2.5CM),SELLO NO FUNCIONA	16/09/2019	
108	Point	109	8882	PATS2070	S02AE	CALLE 43#5	ANGULO 2"X2",SUMIDERO LLENO DE SEDIMENTOS Y AGUA	29/08/2019	
50	Point	51	8794	PATS1982	S02RM	CRA 3A#40	10 HUECOS(31.5CMX5CM)	18/09/2019	
64	Point	65	8811	PATS1999	S02TZ	CALLE 42A#2	8 HUECOS(31.5X5CM)	16/09/2019	
107	Point	108	8881	PATS2069	S03AE	CALLE 43#5	8 HUECOS(33CMX5CM),SUMIDERO COLMATADO	29/08/2019	
61	Point	62	8808	PATS1996	S03TZ	CRA 2#41A	8 HUECOS(32CMX5CM)	16/09/2019	
106	Point	107	8876	PATS2064	S04AE	CRA 4B#42	PLATINA 1 1/4"	17/09/2019	
186	Point	187	0		S04TZ	CRA 2BIS#41A	8 HUECOS(32CMX5CM), SELLO NO FUNCIONA	16/09/2019	
105	Point	106	8874	PATS2062	S05AE	CRA 4B#42	8 HUECOS(34CMX5.6CM)	17/09/2019	
66	Point	67	8813	PATS2001	S05RM	CRA 4#40	10 HUECOS(31.5CMX4.5CM)	18/09/2019	
63	Point	64	8810	PATS1998	S05TZ	CALLE 42A#2	8 HUECOS(32CMX5CM)	16/09/2019	
103	Point	104	8871	PATS2059	S06AE	CRA 4A#42	9 HUECOS(39CMX3CM),MARCO ANGULO 2"X2"	17/09/2019	
68	Point	69	8815	PATS2003	S06RM	CRA 4 #40	10 HUECOS(32CMX5CM)	18/09/2019	
56	Point	57	8800	PATS1988	S06TZ	CALLE 42A#1H	8 HUECOS(32CMX5CM)	16/09/2019	
104	Point	105	8872	PATS2060	S07AE	CRA 4A#42	8 HUECOS(34CMX5.6CM)	17/09/2019	
52	Point	53	8796	PATS1984	S07TZ	CRA 2#42	8 HUECOS(32CMX5CM),COLMATADO DE BASURA	16/09/2019	
102	Point	103	8870	PATS2058	S08AE	CRA 4#43	20 HUECOS(16CMX4.5CM) CON DIVISION, NO SE EVIDENCIA EL DIAMETRO TUBERIA	29/08/2019	
181	Point	182	0		S08TZ	CALLE 42A#1H	8 HUECOS(32CMX5CM),COLMATADO DE BASURA	16/09/2019	
101	Point	102	8869	PATS2057	S09AE	CRA 4#43	8 HUECOS(29CMX5CM),AGUA Y SEDIMENTO	29/08/2019	
44	Point	45	8788	PATS1976	S09TZ	CALLE 42A#1H	8 HUECOS(32CMX5CM)	16/09/2019	
134	Point	135	9726	PATS2914	S101TZ	CALLE 41A#1D	8 HUECOS(32CMX6CM)	18/09/2019	
130	Point	131	9722	PATS2910	S102TZ	CALLE 41A#1D	8 HUECOS(31.5CMX5CM), EL AGUA INGRESA POR UN COSTADO	18/09/2019	
140	Point	141	9732	PATS2920	S103TZ	CALLE 41A#1E	7 HUECOS(3.5CMX2.5CM), EL AGUA INGRESA POR UN COSTADO DEL SUMIDERO Y NO POR LA REJILLA, REJILLA ROTA	18/09/2019	
143	Point	144	9735	PATS2923	S104TZ	CRA 1E#41A	8 HUECOS(31CMX5CM)	18/09/2019	
111	Point	112	9701	PATS2889	S106TZ	CRA 1B#41	6 HUECOS(24CMX3CM)	18/09/2019	
113	Point	114	9705	PATS2893	S107TZ	CRA 1B#41	18 HUECOS(32CMX3CM)	18/09/2019	
119	Point	120	9711	PATS2899	S108TZ	CRA 1A#41A	8 HUECOS(31.5CMX5CM)	17/09/2019	
127	Point	128	9719	PATS2907	S109TZ	CRA 1B#41A	13 HUECOS(2CMX31.5CM),REJILLA, MARCO Y TAPA, EN ANGULO 1 1/2"X 1 1/2"	18/09/2019	
97	Point	98	8862	PATS2050	S10AE	CRA 3B#42	6 HUECOS(29CMX7CM)	17/09/2019	
160	Point	161	9752	PATS2940	S10TZ	CALLE 42A#1D	8 HUECOS(32CMX5CM)	16/09/2019	
158	Point	159	9750	PATS2938	S110TZ	CALLE 42A#10	10 HUECOS(35CMX5.5CM),MARCO ANGULO 1 1/2"X1 1/2",VARILLA #8 1"	16/09/2019	
155	Point	156	9747	PATS2935	S111TZ	CALLE 42A#10	8 HUECOS(32CMX5CM)	16/09/2019	
42	Point	43	8786	PATS1974	S112TZ	CRA 2#42	8 HUECOS(5CMX31CM)	18/09/2019	
18	Point	19	8761	PATS1949	S113TZ	CRA 2 #41A	8 HUECOS(31.5CMX4.8CM)	17/09/2019	
141	Point	142	9733	PATS2921	S114TZ	CALLE 1A#1E	8 HUECOS(32CMX5.6CM)	18/09/2019	
95	Point	96	8857	PATS2045	S11AE	CRA 3B#42	8 HUECOS(33.5CMX5CM)	17/09/2019	
83	Point	84	8836	PATS2024	S11RM	CRA 4B#40	PLATINA 2" (NO SE PUEDE MEDIR LA PROFUNDIDAD DEBIDO A QUE TIENE MALLA)	20/09/2019	
159	Point	160	9751	PATS2939	S11TZ	CRA1F#42A	8 HUECOS(32CMX5.5CM)	16/09/2019	
90	Point	91	8849	PATS2037	S12AE	CRA 3A#42	8 HUECOS(33.5CMX5CM)	17/09/2019	
85	Point	86	8838	PATS2026	S12RM	CRA 4B #40	10 HUECOS (34CMX5CM)	20/09/2019	
152	Point	153	9744	PATS2932	S12TZ	CALLE 42A#1C	8 HUECOS(32CMX5CM),EL AGUA INGRESA POR UN COSTADO DEL SUMIDERO Y NO POR LA REJILLA	16/09/2019	
91	Point	92	8850	PATS2038	S13AE	CRA 3B#42	8 HUECOS(33.5CMX5CM)	17/09/2019	

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Este Shape permite tener una organización lógica detallada de cada uno de los sumideros existentes, es importante recalcar que esta herramienta proporciona una facilidad de gestión a la hora de tener actualizados los datos reales y el estado en el que se encuentra cada sumidero.

Teniendo esta base de datos actualizada es muy fácil determinar las jornadas de mantenimiento preventivo a los sumideros, ya que se puede conocer las características de cada uno sin necesidad de hacer un recorrido previo y una vez finalizado el mantenimiento, se puede volver actualizar esta base datos con el fin de mantenerla al día.

6. DISEÑO Y DESARROLLO DEL MODELO FÍSICO

Existe una gran diversidad de configuraciones geométricas de los sumideros, en donde unos captan más caudal que otros, pero esta variedad no se debe directamente a su funcionalidad o eficiencia, sino que está determinada a la estética, cada día se diseñan diferentes formas, debido al amplio crecimiento del mobiliario urbano que se presentan en las ciudades (Beniamino & Gómez, 2014). Para la presente investigación es muy conveniente determinar cuál es la capacidad de captación de las rejillas en estudio.

La mejor manera de determinar la capacidad de captación es realizando un modelo físico, la teoría de estos se basa en que a partir de las magnitudes fundamentales -longitud (L), tiempo (t) y masa (M)-, las restantes que intervienen en la mecánica de fluidos quedan predeterminadas (magnitudes derivadas) y que en este sistema (L-t-M) las ecuaciones hidrodinámicas del fluido son adimensionales y por lo tanto se mantienen invariantes frente a una transformación del tipo (Guitierrez Serret et al., n.d.), en donde nos permitirá realizar diferentes tomas de datos en

laboratorio para establecer la eficiencia de las rejillas, en primera medida se determinó construirlo de tal forma que permitiera simular un carril de circulación de una vía urbana.

En un principio se quiso elaborar a una escala 1:1, que es acorde a la realidad, debido a la complejidad de este, el tiempo y los altos costos de fabricación, se decidió utilizar a una proporción más pequeña, en la cual se realizaría la simulación de media calle.

En el desarrollo de este, para determinar su escala y tamaño se acudió a la ley de simultaneidad de Froude, la Teoría de Similitud establece que la igualdad de los números adimensionados que caracterizan los movimientos en el modelo y el prototipo es una condición suficiente para que los mismos sean similares, lo que permite transferir los resultados observados en el modelo experimental al prototipo en escala real. Esta condición de igualdad establece a su vez relaciones entre las escalas de las magnitudes que intervienen en el proceso físico (López, 2018).

Debido a que se tenía que realizar la simulación de un evento de lluvia, se adoptó trabajar en el canal de pruebas hidrodinámicas del laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, este puede ser definido como un canal físico en el que se desarrollan ensayos con modelos geoméricamente semejantes reducidos a escala, con el propósito de predecir el comportamiento de dichos diseños bajo condiciones específicas en las diferentes situaciones (Troncel Zuleta et al., 2012).

La elección del trabajo en este canal se realiza debido a que se puede contar con un depósito de agua, que funciona como una carga constante ayudando a servir de elemento de regulación del caudal.

6.1. Determinación del tamaño y escala del modelo

La ley de similitud adoptada es la de Froude, ya que el modelo se rige bajo los principios de esta ley, los cuales son: que las fuerzas predominantes sean las gravitatorias, el flujo en superficie sea libre y las pérdidas de fricción puedan ser despreciables (Ortiz Aguilera & Gómez Mayorga, 2017). Para determinar el caudal, la relación de escala que nos determina la ley entre el prototipo y el modelo es la siguiente:

$$E_Q = \frac{E_{vol}}{E_t} = \frac{E_1^3}{E_1^2} = E_1^{\frac{5}{2}}$$

Para la determinación de las magnitudes del modelo se decidió trabajar con las condiciones del escenario real, en este caso las vías urbanas del barrio Santa Inés de la ciudad de Tunja, como se tenían distintos anchos de vía se procedió a realizar un promedio de todas estas (Ver anexo No. 4), dando como resultado un ancho promedio de 4,80 metros.

Como el modelo fue diseñado para trabajar medio carril de una vía, se toma un ancho de trabajo de 2,4 metros que corresponde a la mitad del ancho promedio de vía, una vez definido el ancho a trabajar se determina calcular el caudal de escorrentía.

Para el cálculo de la esorrentía fue necesario primero desagregar la zona de estudio en las subcuencas de aportación directa a cada sumidero, se determinaron 272 subcuencas (Ver anexo No. 5), dentro de estas se seleccionó la de mayor área que corresponde a 0.10 ha, una vez definida se procedió a realizar el análisis numérico mediante el software SWMM, este arrojó un caudal circulante de 43,5 L/s.

El ancho del canal de pruebas hidrodinámicas del laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja es de 30,9 cm, lo que limita la base del modelo y nos lleva a tener un ancho constante de 29,9 cm, este valor debido al descuento del ancho de las paredes del canal. Dado esto la relación geométrica o escala es de 1 a 8, como lo demuestra la siguiente ecuación:

$$E_l = \frac{E_{\text{real}}}{E_{\text{modelo}}} = \frac{240}{29,9} = 8$$

Según esto y la ley de similitud de Froude, la escala del caudal sería la siguiente:

$$E_Q = E_l^{5/2} = 8^{5/2} = 181$$

Conociendo la relación de caudales podemos averiguar con que caudal debería manejarse el modelo para garantizar las condiciones reales de la vía.

$$E_Q = \frac{E_{Q \text{ real}}}{E_{Q \text{ modelo}}}$$

$$E_{Q \text{ modelo}} = \frac{E_{Q \text{ real}}}{E_Q} = \frac{43,5}{181} \text{ l/s} = 0,240 \text{ l/s}$$

Como el caudal del modelo era demasiado pequeño para garantizarlo con los equipos automáticos del canal de pruebas hidráulicas, se recurrió a utilizar un equipo de bombeo adecuado

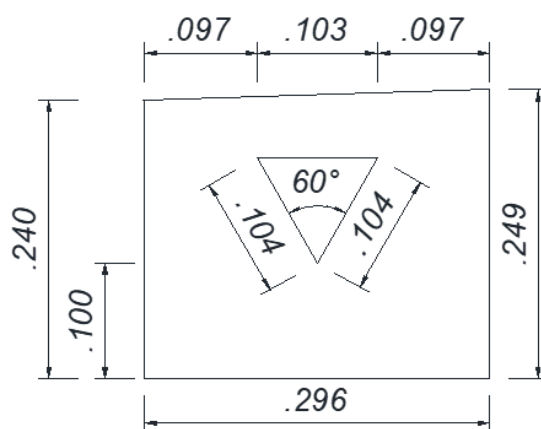
que nos garantice la carga, realizados los aforos de forma manual como se aprecia en las imágenes del anexo No. 2, se logró obtener un caudal de 0,238 L/s con respecto a los 0,24 L/s que nos arroja la escala del modelo, esta variación se dio debido a que el equipo de bombeo utilizado no contaba con circuitos electrónicos el cual nos dejara un caudal exacto.

6.2. Diseño del modelo

Una vez determinada la escala del modelo, se realizó el diseño de este, teniendo como base que funcionara igual que un sumidero en una vía real. Se desea saber qué cantidad de agua de escorrentía está captando, por ende, fue necesario realizar esta medida a través de un vertedero de pared delgada triangular a 60° .

Ilustración 34

Vertedero de salida cara lateral modelo físico, acotado en metros.



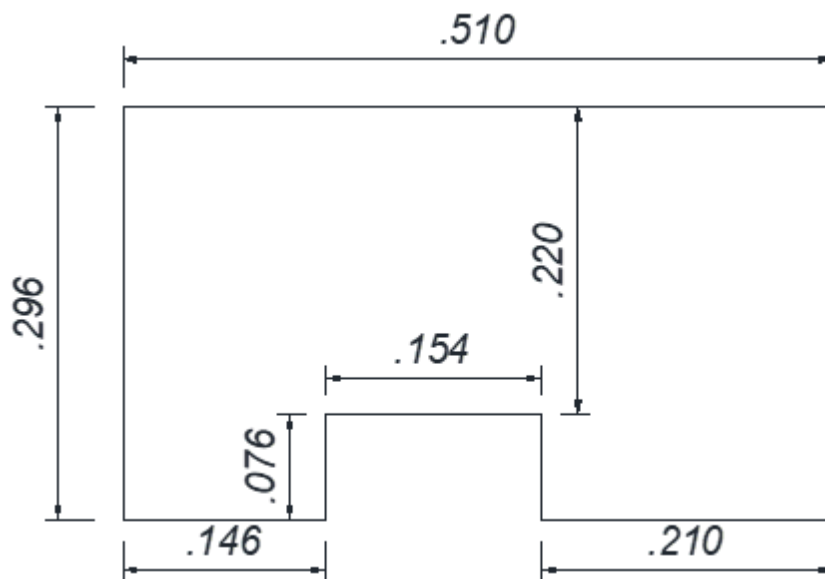
Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

La cara superior del modelo físico tendrá la función de captar el caudal que está en escorrentía, en esta se encuentra el espacio de la rejilla, como había diferentes medidas, se tomó la decisión de

realizar un marco a cada una, con el fin de estandarizar el orificio para que fueran más sencillo al momento de intercambiarlas.

Ilustración 35

Cara superior modelo físico espacio rejillas de captación, acotado en metros.

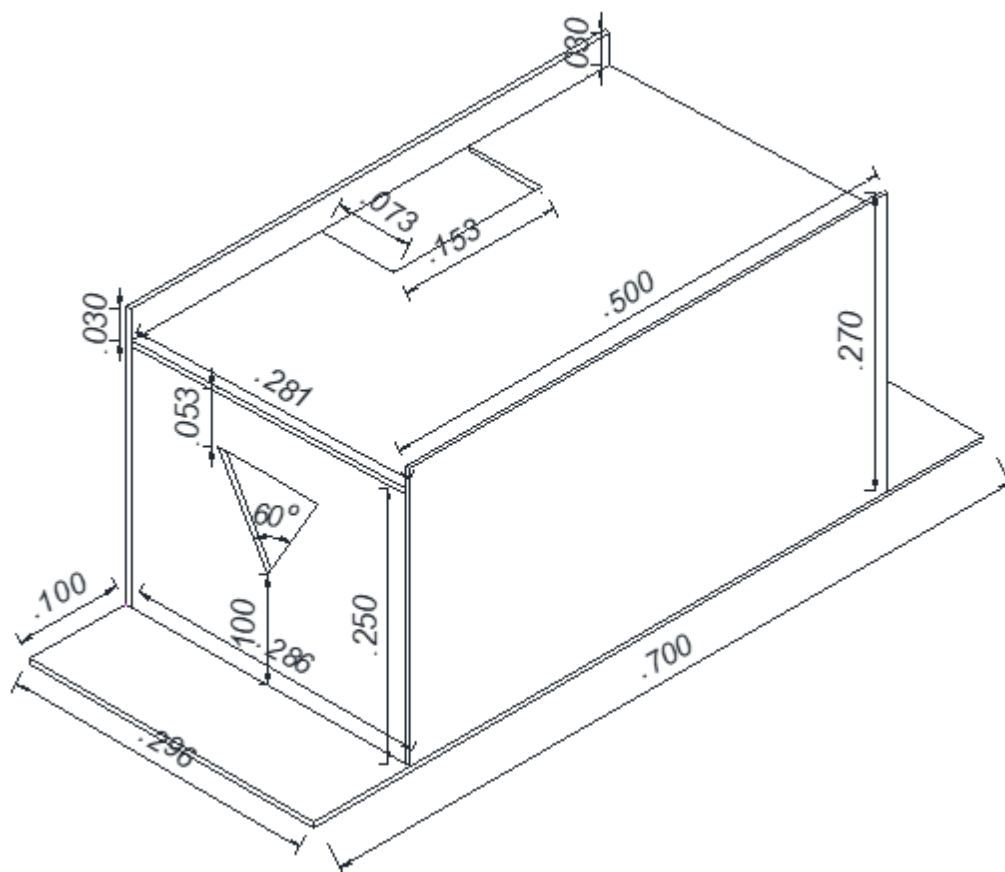


Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

En la ilustración No. 35, se presenta la cara superior del modelo, en esta se representa la simulación de medio carril de la vía urbana, en la cual estará circulando el caudal de escorrentía generado por un evento de lluvia que conducirá hacia la rejilla con el fin de ser interceptado para determinar su eficiencia.

Ilustración 36

Modelo físico 2D, acotado en metros.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

En la ilustración No. 36, se puede apreciar el modelo físico completo, esta imagen nos permite tener una visualización más clara del funcionamiento de este.

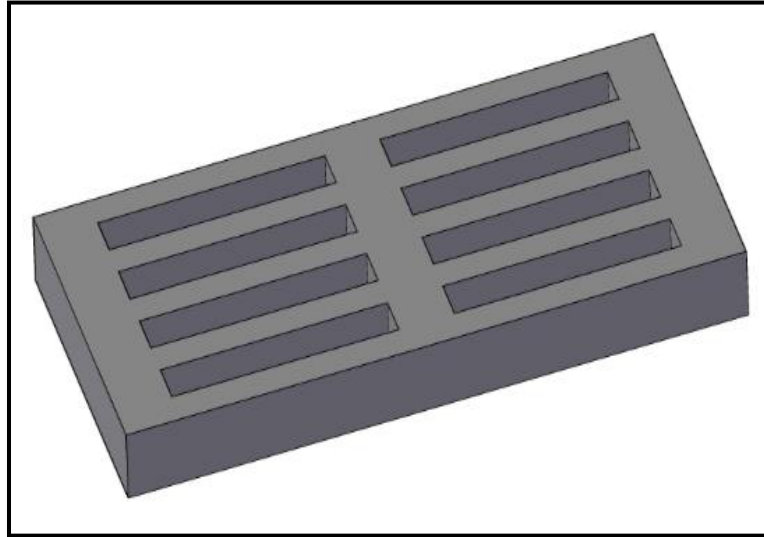
6.3. Diseño de rejillas.

Según el catastro realizado a la zona de estudio se determinó que existen Once (11) tipos de rejillas, en el capítulo No. 4,3 del presente libro se puede apreciar las dimensiones de cada una de estas, para determinar la eficiencia de estas se procedió primero a realizar los bosquejos a detalle

de cada una en el Software de dibujo AutoCAD 3D, como se observa las siguientes ilustraciones a modo de ejemplo:

Ilustración 37

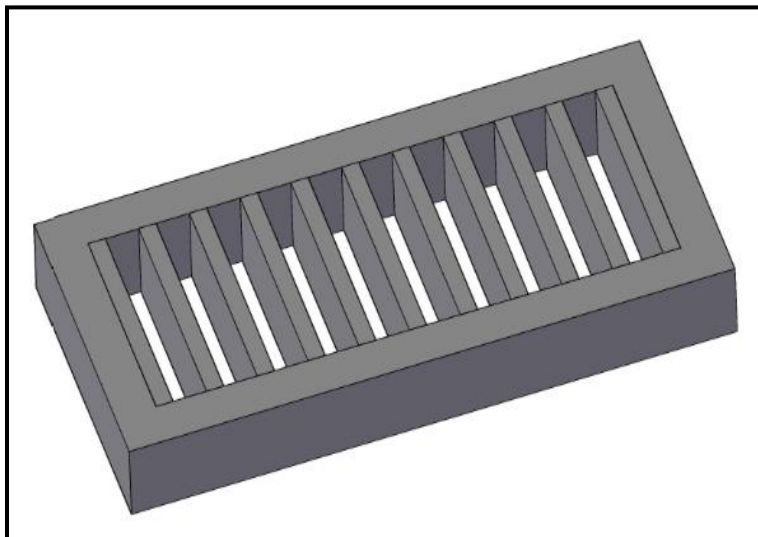
Bosquejo 3D rejilla tipo 1.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 38

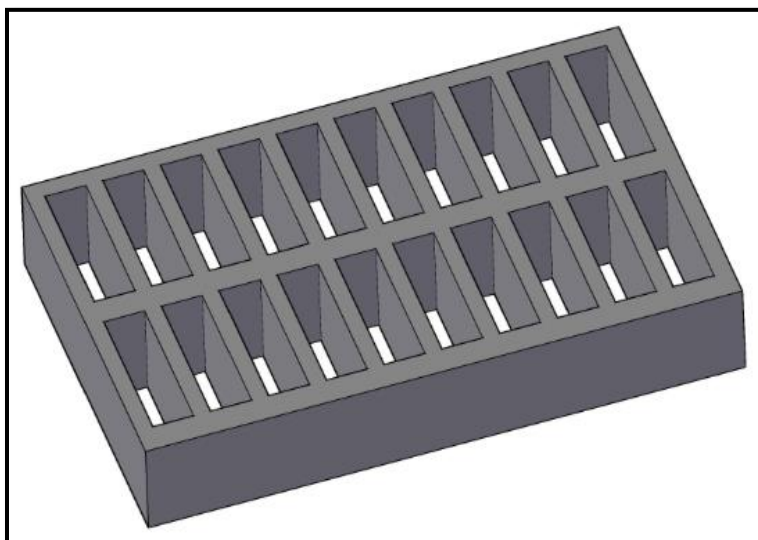
Bosquejo 3D rejilla tipo 2.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 39

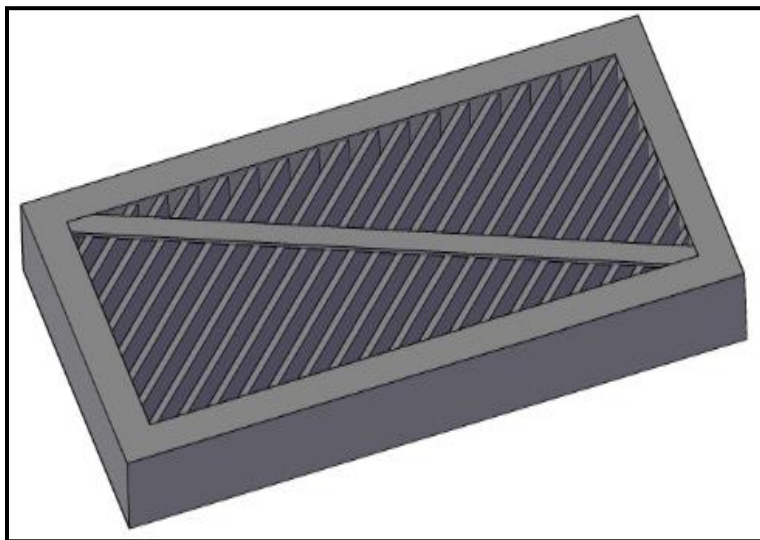
Bosquejo 3D rejilla tipo 3.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 40

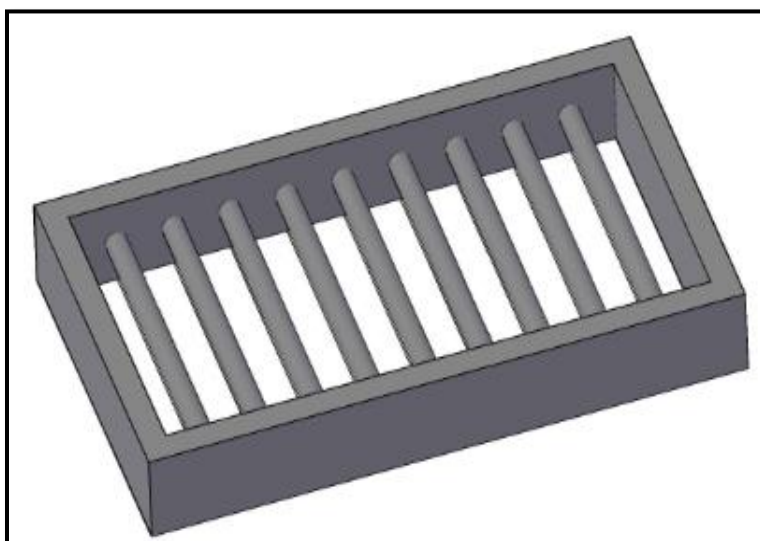
Bosquejo 3D rejilla tipo 8.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 41

Bosquejo 3D rejilla tipo 9.



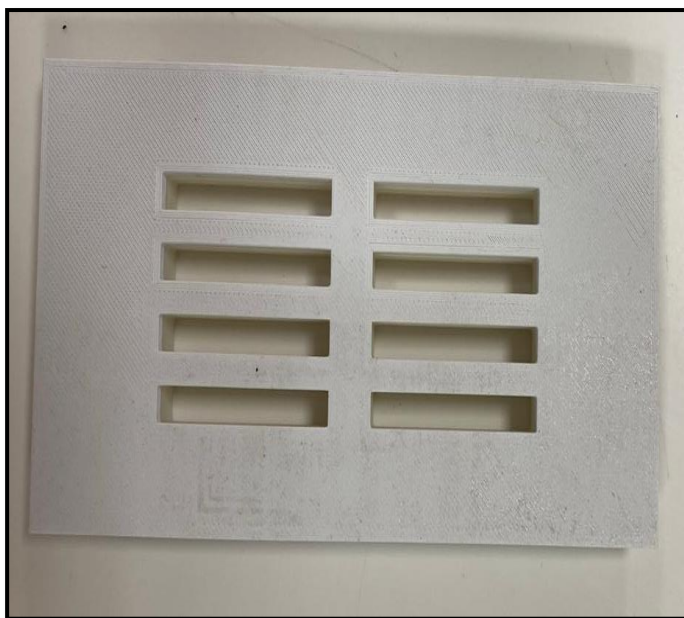
Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Una vez individualizadas las rejillas, se realiza el escalamiento apropiado, determinado en el capítulo No. 6,1 que corresponde a un factor de escala de 1 a 8.

Teniendo las rejillas escaladas se procedió a imprimir estas, durante la impresión 3D se aporta y adhiere controladamente diferentes tipos de materiales para crear objetos a partir de los datos de un modelo en tres dimensiones, normalmente capa sobre capa, ello facilita la impresión de objetos con geometrías más intrincadas, cambios y personalizaciones llegando a poder fabricar en un solo paso, diseños complejos (Vicente Oliva, 2018), una vez realizada la impresión se obtienen los siguientes prototipos:

Ilustración 42

Impresión 3D rejilla tipo 1.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 43

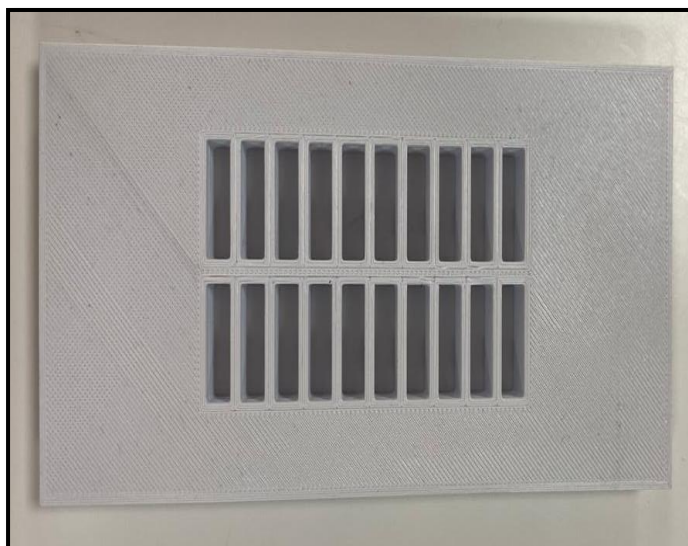
Impresión 3D rejilla tipo 2.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 44

Impresión 3D rejilla tipo 3.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 44

Impresión 3D rejilla tipo 8.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 45

Impresión 3D rejilla tipo 9.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

6.4. Construcción del modelo:

Una vez determinada la escala y medidas del modelo se realizó el corte para el correspondiente armado, se utilizó una lámina de acrílico recuperado de 120 cm x 190 cm en 55 mm de grosor, color cristal. Posteriormente, se hace la unión de cada una de las piezas, se manejó un pegamento con base en disolvente, incoloro que no mancha.

Ilustración 46

Construcción del modelo físico.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 47

Construcción del modelo físico.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

6.5. Ensayos de laboratorio:

Teniendo el modelo armado en físico se llevó al canal del laboratorio, para iniciar con la toma de datos, primero se realizó la conexión del equipo de bombeo, se utilizó una bomba centrífuga de 0.5 hp, la descarga se controló mediante una válvula de compuerta, que nos permitía regular el caudal apropiado y mantenerlo constante durante el tiempo de los ensayos.

Determinado el caudal de funcionamiento del modelo, se procedió a realizar la calibración del vertedero de pared delgada utilizado, para empezar, hay que tener presente el concepto de vertedero, ya que cumplen la función de un dique o pared que intercepta una corriente de un líquido con superficie libre, causando una elevación del nivel del fluido aguas arriba de la misma. Los vertederos se emplean bien para controlar ese nivel, es decir, mantener un nivel aguas arriba que no exceda un valor límite, o bien para medir el caudal circulante por

un canal. Como vertedero de medida, el caudal depende de la altura de la superficie libre del canal aguas arriba, además de depender de la geometría; por ello, un vertedero resulta un medidor sencillo pero efectivo de caudal en canales abiertos (Portillo, 2012).

6.5.1. Clasificación de los vertederos

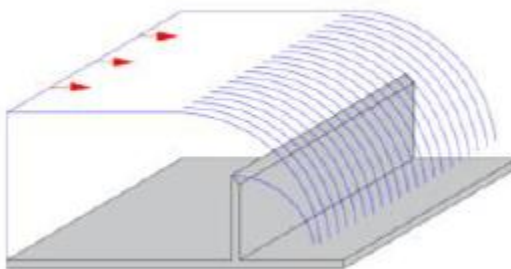
Se clasifican en sus diversas características tales como la ubicación de la estructura, el espesor de la cresta, del tipo de descarga, del número de contracciones y de la geometría (Gallego, 2012).

- **Por la ubicación de la estructura:**

- Depende de la ubicación de la estructura del vertedero con respecto al sentido del flujo del líquido, con lo que se obtienen 3 tipos: frontales, oblicuos y laterales, En este caso de estudio tenemos una ubicación frontal debido a la dirección del sentido del flujo.

Ilustración 48.

Vertedero frontal



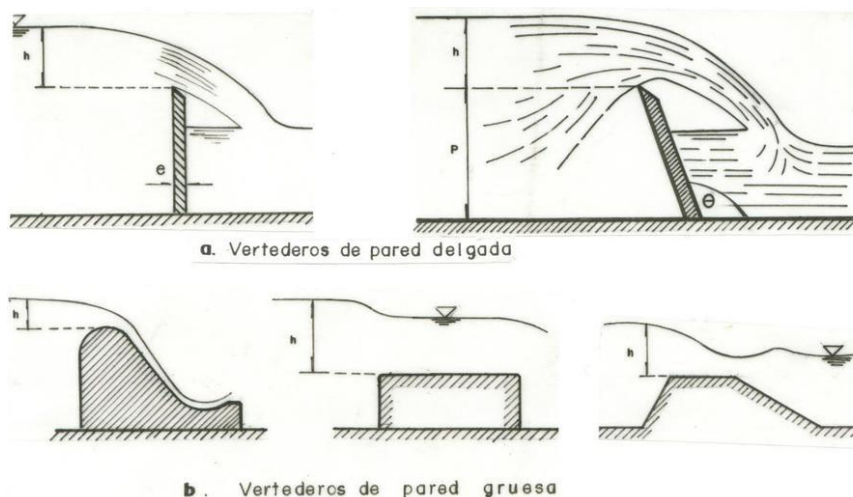
Nota. Gallego (2012).

- **Por el espesor de la pared**

- Se fundamenta en el espesor de la superficie superior del vertedero que se encuentra en contacto con el líquido, con lo que se han determinado dos tipos: de pared delgada si el espesor tiene una dimensión máxima de 5 mm, y de pared gruesa en el caso contrario (Mataix, 1986). Nuestro modelo presenta un espesor de pared de 5 mm por lo cual se clasifica como vertedero de pared delgada.

Ilustración 49.

Tipos de vertederos según el espesor de la pared



Nota. Ramiro Marbello Pérez (Asociado, 2005).

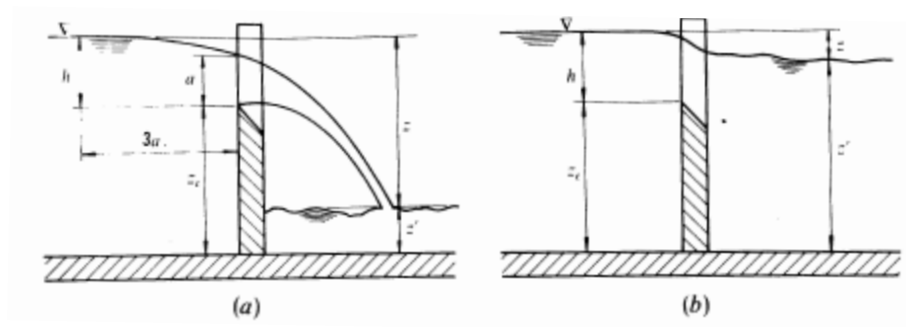
- **Por el tipo de descarga**

- Depende del efecto que ocasiona el régimen del flujo aguas abajo sobre el flujo aguas arriba del vertedero; por lo tanto, se han establecido dos tipos: de descarga libre si el

flujo aguas abajo no tiene incidencia sobre el flujo aguas arriba, y de descarga parcialmente sumergida si ocurre lo contrario (Mataix, 1986). El vertedero se clasificó como descarga libre.

Ilustración 50.

(a) Vertedero lámina libre (b) Vertedero sumergido



Nota. Claudio Mataix, 1986.

6.5.2. Calibración del vertedero

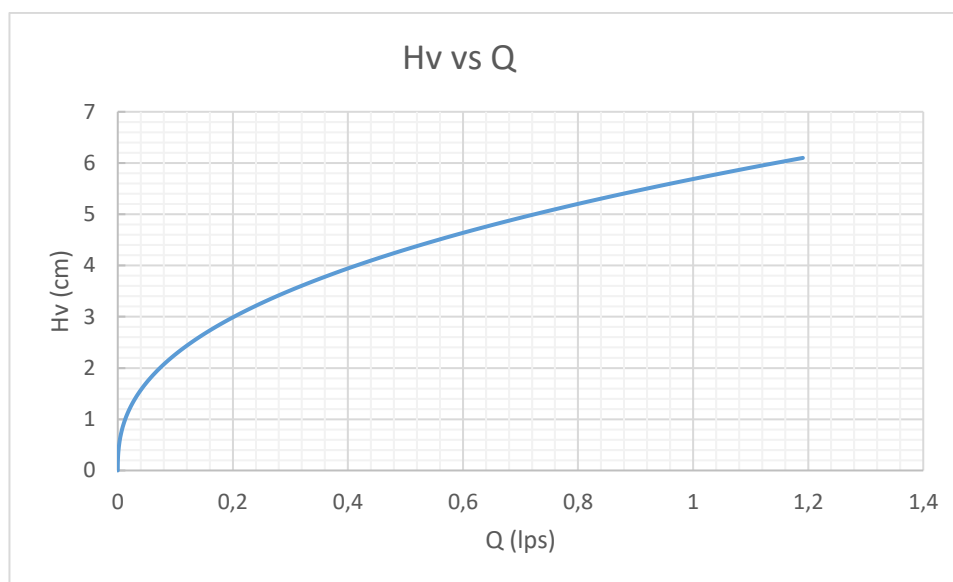
Para la calibración del vertedero usado en el modelo físico, primero se procedió a realizar la instalación de este en canal de pruebas, luego se midió la distancia desde la base del canal hasta el vertedero el cual tenía una distancia de 10 cms.

Luego se enciende el equipo de bombeo y se empieza a tomar las lecturas hasta llegar a la cresta del vertedero, a esta altura se le llama H' , a partir de esta altura se empezarán a tomar medidas, haciendo énfasis que las válidas son aquellas que presenten zona aireada bajo la lámina de agua vertiente.

Realizando lecturas de carga H y efectuando aforos volumétricos, cada uno con la lectura de tiempos de llenado se determinó la calibración del vertedero, como se puede observar en el Anexo No. 1, se encuentra la tabla de calibración utilizada para el modelo físico.

Ilustración 51.

Relación entre carga y caudal sobre el vertedero



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

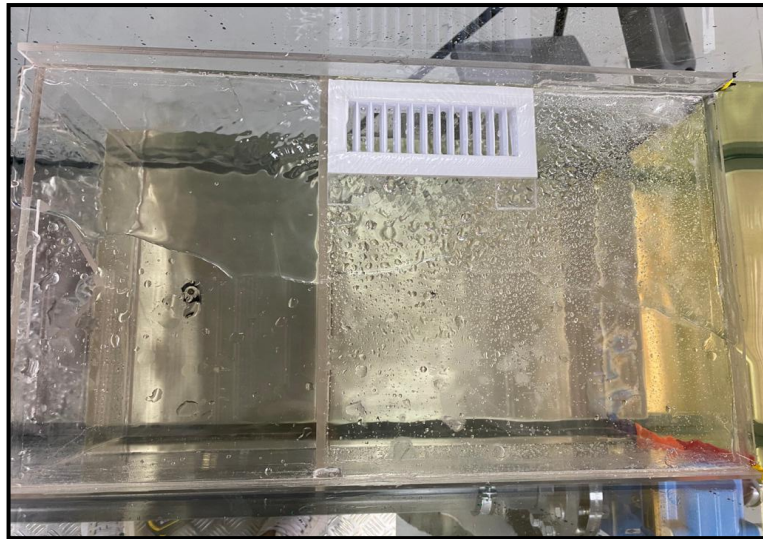
6.5.3. Determinación de las Eficiencias en las Rejillas

Ya calibrado el vertedero se continúa con la toma de datos de la altura de la lámina de agua en las paredes laterales, se realizó un total de 5 tomas de alturas por cada rejilla para determinar qué cantidad de agua están captando, adicional se varió la pendiente longitudinal del canal entre los valores 1, 1.5 y 2 %.

Durante la toma de datos se notó que el modelo a una pendiente longitudinal del 1 % no trabajaba, ya que el caudal de esorrentía generado era muy bajo y no alcanzaba a llegar a la rejilla, al 2 % era muy alta y se generaba un rebose sobre esta y no se obtenía ninguna retención en ellas, se determinó trabajar con una inclinación del 1.5 %, ya que genero el mejor flujo y permitió que hicieran su función de captación como se muestra en las siguientes ilustraciones:

Ilustración 52

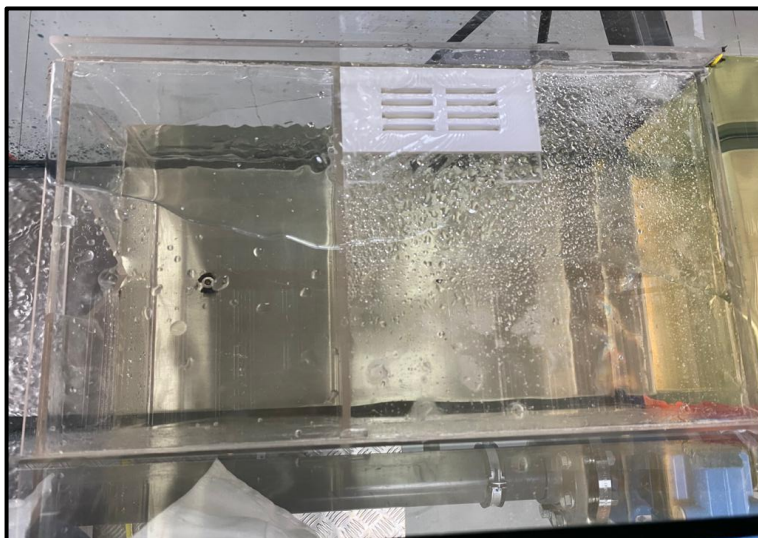
Prueba de eficiencia de rejilla.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 53

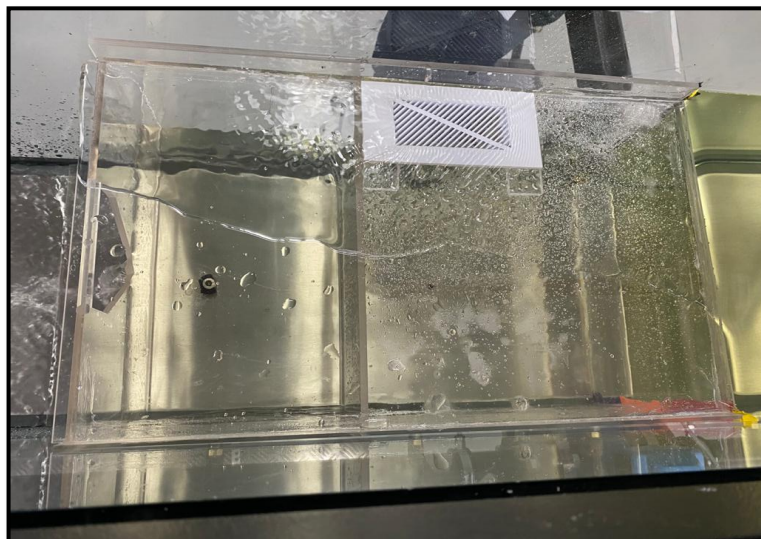
Prueba de eficiencia de rejilla.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 54

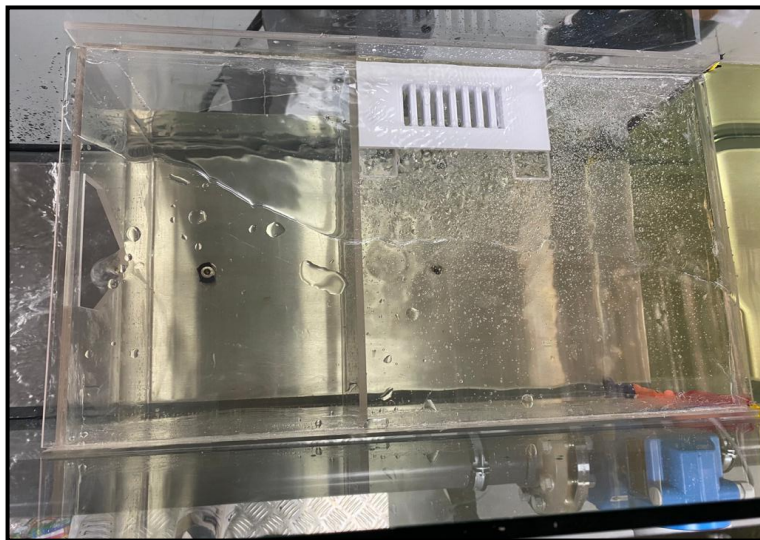
Prueba de eficiencia de rejilla.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 55

Prueba de eficiencia de rejilla.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Finalizada la toma de datos de cada una de las rejillas, se procedió a realizar una tabulación de los resultados obtenidos, como bien sabemos la naturaleza de los modelos físicos a escala nos ayudan a encontrar una recomendación del problema real más no nos dan datos exactos del comportamiento real, los modelos de simulación de flujo no permiten llegar a tener un detalle de un ensayo a escala real, es por esta razón que el modelo ensayado solo permitió que tuviera un solo valor de pendiente longitudinal y caudal.





Debido a que no se podía tener una amplia variación entre pendientes y caudales en el modelo, no se puede realizar una curva de eficiencia de cada una de las rejillas, provocando que fuera imposible encontrar una ecuación donde se determinara su eficiencia al modificar factores de pendiente tanto longitudinal como transversal y caudales circulantes.

Se determinó la eficiencia de cada una de las rejillas obedeciendo al caudal medido a través del vertedero, cada uno contó con cinco aforos de altura de carga, una vez calculado el caudal del vertedero se aplicó la ley de que la eficiencia es el resultado de la medida del caudal captado entre el caudal de la calle.







Calculada esta medida de la fracción del agua que cada rejilla es capaz de captar, se unificó en la Tabla No. 13, donde se puede observar los valores de eficiencia de cada una de las rejillas en estudio.

Tabla 13

Resultados eficiencia de rejillas.

Rejilla	Eficiencia	FOTO	FOTO
Tipo	%	Rejillas Modelo	Rejillas Reales
1	65,21		
2	57,93		

3	67,04		
4	52,20		
5	61,65		
6	62,24		
7	59,91		
8	53,80		

9	59,34		
10	62,83		
11	68,28		

Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

En la tabla anterior se muestra los porcentajes de captación obtenidos en el modelo después de realizar el análisis hidrodinámico, dando como mayor resultado la N° 11 con una eficiencia del 68.28% y la menor el tipo 4 con un valor del 52.20%.

7. MODELO MATEMÁTICO DIGITAL EN SOFTWARE EPA SWMM 5.1.015

El modelo de gestión de aguas pluviales de la EPA (SWMM) se utiliza en todo el mundo para la planificación, análisis y diseño relacionados con la escorrentía, alcantarillado sanitario, combinado y otros sistemas de drenaje. Se puede utilizar con el fin de evaluar estrategias de control de lluvias, infraestructura gris, como tuberías y desagües, y es una herramienta útil en la creación de soluciones de control de aguas pluviales híbridas verde / gris rentables. SWMM se desarrolló para ayudar a respaldar los objetivos de gestión de aguas pluviales locales, estatales y nacionales para reducir la escorrentía a través de la infiltración y la retención, y ayudar a reducir las descargas que causan deterioro de los cuerpos de agua ((EPA), 2015).

Los modelos son aproximaciones de sistemas reales, la confiabilidad de su representatividad dependerá de su buena estructuración matemática y qué tan bien haya sido parametrizado con información primaria (Hogue et al., 2006). El principal beneficiario es el factor social de la zona de estudio, ya que esto permitirá la mitigación de riesgos de inundaciones, rebosamientos y colmatación de la red de drenaje contemplados con el desarrollo urbano de la ciudad. (Amaya, 2019).

Para la obtención de un resultado en la cuenca de estudio es fundamental el análisis del comportamiento actual por medio un software de solución matemática, una vez finalizadas las pruebas en laboratorio sobre las rejillas existentes se procedió a realizar la simulación con lo cual nos permite apreciar más a fondo como interactúa en la vía real mediante el modelo matemático digital.

Para realizar esta modelación mediante el software SWMM 5.1.015, fue necesario basarnos en el modelo hidrológico calibrado y validado de la investigación denominada “Modelización Hidráulica de Drenaje Urbano. Aplicación Sector Nororiental Distrito Santa Inés Tunja-Boyacá” desarrollada por el Ingeniero Wilson Enrique Amaya Tequia, en la cual se desarrolló el hietograma que nos permite ingresar la lluvia de diseño.

En la etapa de construcción del modelo matemático mediante SWMM, es necesario introducir unos parámetros de entrada, estos son las propiedades físicas que se encuentran en cada subcuenca de la zona en estudio, para esto se recurre a herramientas como el GIS, en esta parte nos remitimos al Shape desarrollado por los autores en la presente investigación, con el fin de poder determinar las entradas al software.

Para un mayor entendimiento del desarrollo del modelo en SWMM aplicado a la cuenca del barrio Santa Inés se describen a cada una de las entradas que se tomaron en cuenta:

Tabla 14.

Entradas para cada Subcuenca Modelo SWMM.

No.	Entradas	Unidad
1	Área	Ha
2	Ancho	m
3	Pendiente	%
4	Porcentaje de impermeabilidad	%
5	Área conectada directamente	%

Nota. Abaunza, K & Chaparro, F (2020).

7.1. Área (ha)

Este parámetro hace referencia al área de la subcuenca que aportara directamente sobre cada sumidero, en este caso nuestra área obedece a la medida de medio carril de vía y el andén,

la medida es en hectáreas, el barrio Santa Inés se caracteriza por ser una zona con alto índice de habitabilidad en la ciudad de Tunja, lo que nos lleva a encontrar que la cuenca se disgregue en 272 subcuencas urbanas generando escorrentía hacia los sumideros.

Ilustración 56

Delimitación de subcuencas barrio Santa Inés SWMM.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

7.2. Ancho (m)

Este factor corresponde a la longitud del flujo superficial que genera la cuenca pendiente abajo, en el caso del presente estudio se consideró que las subcuencas eran un plano rectangular inclinado, que generaba un escurrimiento a la parte más baja por lo que el ancho es la medida en metros en sentido de la escorrentía de cada subcuenca.

7.3. Pendiente (%)

La pendiente obedece a la medida del porcentaje de inclinación que tiene el terreno, la cuenca del barrio Santa Inés presenta una topografía casi plana en todas sus calles, para la determinación de esta se procedió a realizar el cálculo de cada una de las subcuencas presentes en el modelo, en el Anexo No. 5, se puede apreciar las pendientes de cada una de las 272 subcuencas, dando como resultado una pendiente promedio del 0,40 %, aunque cabe recalcar que este dato de pendiente es solo estadístico, ya que en el modelo de SWMM cada una de las subcuencas cuenta con su propia pendiente.

7.4. Porcentaje de impermeabilidad (%)

Nuestro modelo corresponde a un sistema de drenaje superficial, por lo tanto, no disponemos de áreas permeables, se utilizó solo áreas impermeables (vía y andén) que generaran escorrentía directa sobre las calles para establecer su captación de caudal en un evento de lluvia, por tal motivo la impermeabilidad en las subcuencas es del 100 %, adicional esto nos genera que despreciemos un modelo de infiltración, ya que estamos asumiendo escorrentía directa.

7.5. Área conectada directamente (%zero-imperv)

Corresponde al porcentaje de área que se encuentra impermeable sin almacenamiento de depresión, para nuestro caso la investigación se centra en la escorrentía generada directamente en cada subcuenca, es por ello que el valor es del 100%.

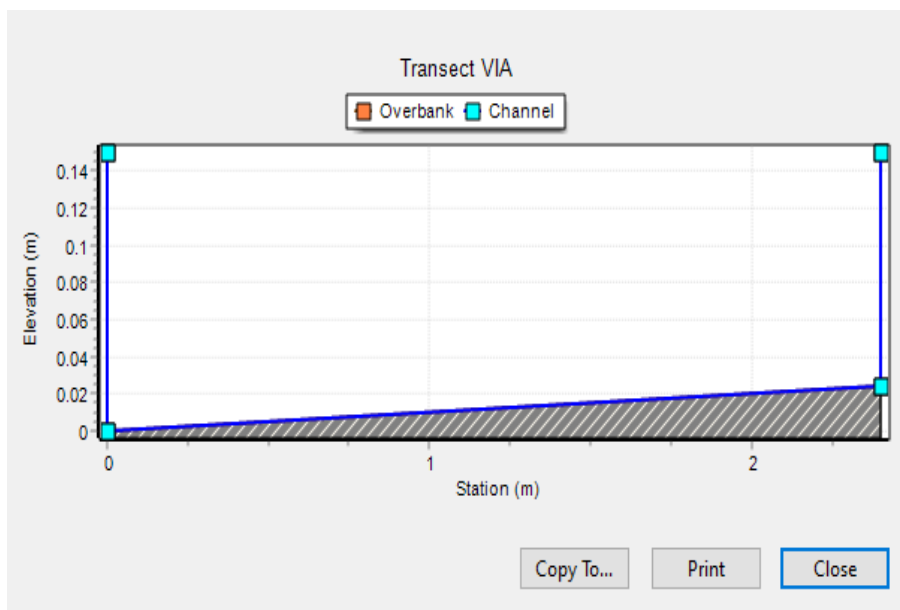
Una vez determinados los factores físicos de la subcuenca se procede a realizar la conexión de los sumideros con las calles, con el fin de modelar cada uno, se utilizó la herramienta de nodo

divisor, se utilizaron divisores de flujo que son nodos del sistema de transporte utilizados para dividir el flujo en dos conductos de salida de modo definido por el usuario. Estos divisores de caudal tan solo pueden tener dos conductos en la descarga de los mismos. Se encuentran activos tan solo cuando se analiza el fenómeno mediante el modelo de la Onda Cinemática (Kinematic Wave) y se tratan como simples nudos cuando se emplea el modelo de la Onda Dinámica (Dynamic Wave) (Gutiérrez, 2005).

Para la selección de la conexión entre los nodos divisores se realizó mediante la simulación de la vía, como se había explicado anterior mente se toma la mitad del carril que corresponde a un ancho de 2,8 metros, en la construcción del modelo se unificó las alturas de los andenes, tomando como altura 0,15 metros que corresponde a una altura de bordillo, común mente utilizada en la construcción de vías en la República de Colombia.

Ilustración 57

Perfil de vía seleccionado para el modelo matemático.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Una vez conectados nuestros nodos divisores se procede a realizar la descarga de cada uno de ellos, en nuestro sistema real esta conexión se realiza directamente a los pozos de inspección del sistema de alcantarillado, como el alcance de nuestra investigación no era el de la inspección de alcantarillados se decide, optar por dejarlos a una descarga libre que simula la descarga al pozo de la red de alcantarillado.

Esta conexión se simula mediante una tubería con diámetros acordes a los encontrados en el catastro de sumideros de cada uno, el coeficiente de Manning utilizado es de 0,015 unificados a todas las tuberías de salida sin importar el material en el que esté constituido, esto debido a la difusión en la película biológicamente activa de la pared de las tuberías. La estructura del biofilm se encuentra formado por varias capas, encontrando una zona aerobia y otra anaerobia (Lara Pérez, 2020).

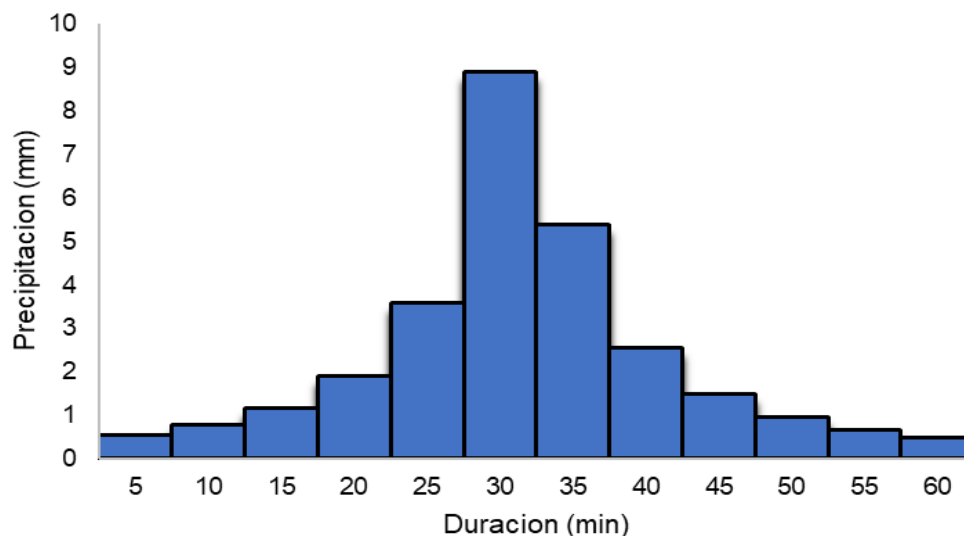
Luego de definir nuestras secciones de vía y sumideros se procede a introducir la lluvia de diseño del modelo, para esto se utiliza el hietograma de un escenario crítico con una tormenta de PR 10 años desarrollado para la zona de estudio (Cortés Zambrano et al., 2020)., El método del bloque alterno, es una forma simplificada para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva de intensidad-duración-frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total de $T_d = n\Delta t$. Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad se lee de una curva IDF para cada una de las duraciones $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$, y la profundidad de precipitación correspondiente, se determina al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencia entre los valores sucesivos de profundidad de precipitación, se

encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño (Chow et al., 2000).

En la investigación desarrollada por el ingeniero Amaya determino que el hietograma de diseño para la cuenca urbana del barrio Santa Inés tendría una duración de 60 minutos, este tiempo fue seleccionado debido al tiempo de retardo que presentaba la cuenca, este tiempo oscilaba entre 20 y 25 minutos, el resultado final fue el siguiente hietograma de lluvia de diseño:

Ilustración 58

Implementation of the hydraulic modelling of urban drainage in the northeast sector, Tunja, Boyacá.



Nota. Tomado de M. Cortés, W. E Amaya and D. S. Gamba. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia., Hietograma de diseño bloque alterno periodo de retorno 10 años.

En este caso usamos el modelo de onda cinemática, ya que este modelo hidráulico de transporte resuelve la ecuación de continuidad junto con una forma simplificada de la ecuación de cantidad de movimiento en cada una de las conducciones. Esta última requiere que la pendiente de la superficie libre del agua sea igual a la pendiente de fondo del conducto. El caudal máximo que puede fluir por el interior de un conducto es el caudal a tubo lleno determinado por la ecuación de Manning. Cualquier exceso de caudal sobre este valor en el nodo de entrada del conducto se pierde del sistema o bien puede permanecer estancado en la parte superior del nodo de entrada y entrar posteriormente en el sistema cuando la capacidad del conducto lo permita (Gutiérrez, 2005).

El modelo de la onda cinemática permite que tanto el caudal como el área varíen tanto espacial como temporalmente en el interior del conducto. Esto origina una cierta atenuación y retraso en los hidrogramas de salida respecto de los caudales de entrada en los conductos. No obstante, este modelo de transporte no puede considerar efectos como el resalto hidráulico, las pérdidas en las entradas o salidas de los pozos de registro, el flujo inverso o el flujo presurizado, así como su aplicación está restringida únicamente a redes ramificadas. Como práctica general puede mantener una estabilidad numérica adecuada con incrementos de tiempo de cálculo relativamente grandes, del orden de 5 a 15 minutos (Gutiérrez, 2005)

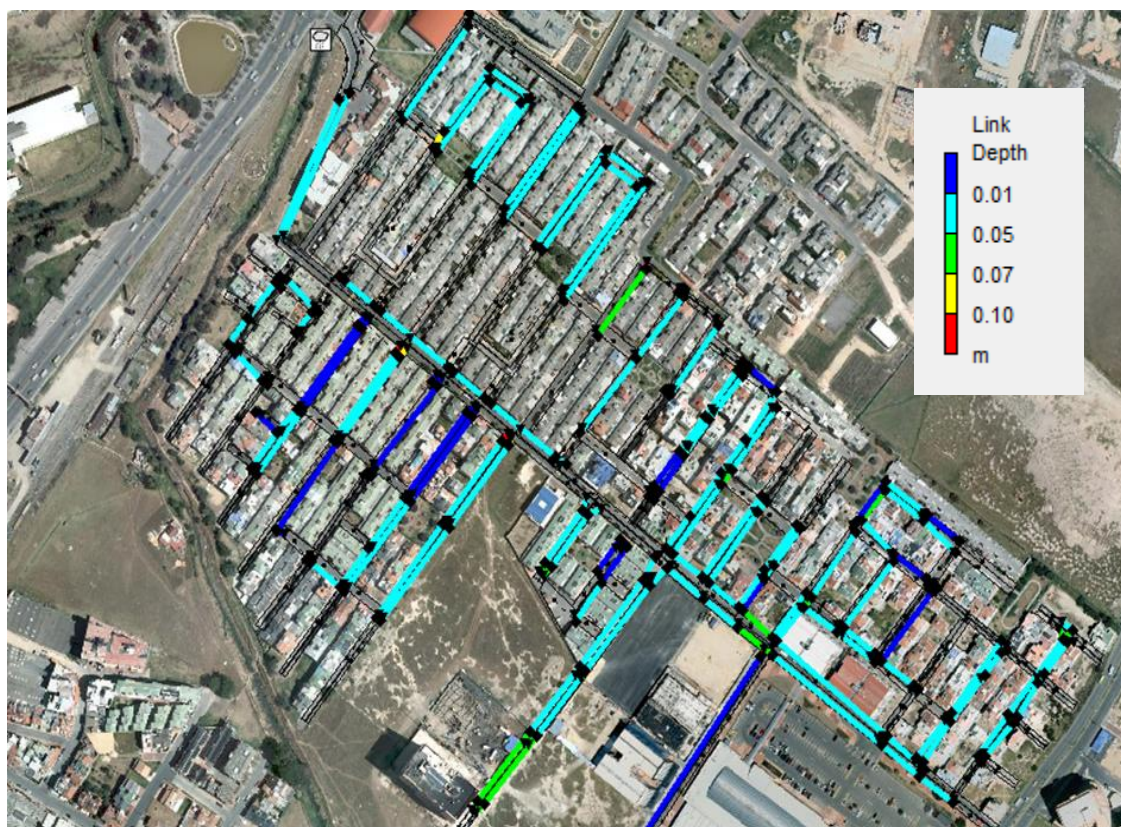
Para el ingreso de las eficiencias de los sumideros escogimos cutoff el cual deriva todos los caudales de entrada por encima de un determinado valor de corte especificado (Durán Vinuesa, 2017). Esto debido a que no se cuenta con una tabla de eficiencia de cada rejilla en estudio. Para el ingreso de la eficiencia es necesario primero tener en cuenta cuanto es el caudal total circulante

en el sumidero, esto lo determina SWMM, luego este caudal es multiplicado por la eficiencia que presenta el sumidero, este valor que se obtiene es el que se le ingresa al modelo.

Una vez ingresados los parámetros físicos y teóricos se procede a crear la simulación para determinar la evaluación hidráulica de los sumideros en el barrio Santa Inés, con una tormenta de diseño equivalente a un periodo de retorno de 10 años, realizado este evento se validaron los resultados con la finalidad de establecer las deficiencias que presenta el drenaje de escorrentía del medio urbano como lo es el rebose de vías.

Ilustración 59

Altura de flujo en vías urbanas SWMM.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

Ilustración 60

Altura de flujo en tubería de salida de sumideros SWMM.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F. (2020).

El resultado del modelo hidrodinámico de los sumideros en la cuenca del barrio Santa Inés, nos dice que durante el evento de lluvia seleccionado el pico más alto se alcanzó en el minuto 35, este no presenta un escenario de inundación, también nos está arrojando que el 32,7% de las tuberías de salidas se encuentra trabajando a un 98,7% de la capacidad, el 22,13% a un 68,89% y el 45,17% al 49,21%.

Ilustración 61

Velocidad del flujo en vías SWMM.



Nota. Abaunza, K., Chaparro, F- (2020).

En la ilustración anterior se puede observar las velocidades que se generan en las vías, la mayor velocidad generada oscila entre los 1 y 1.1 m/s, este rango es óptimo para el arrastre de sedimentos, adicional no genera ningún riesgo relacionado con el transporte de algún peatón circulante en la vía, ya que se considera que la velocidad límite para calados pequeños, que supone la pérdida de capacidad por parte de un individuo de caminar por el agua es de 1,5 m/s ((ARMC), 2000).

Como demuestran los datos anteriores la zona en estudio se puede considerarse de riesgo leve, ya que su calado máximo se encuentra también por debajo del máximo permitido, debido a que la altura próxima al límite a partir del cual un vehículo empieza a perder adherencia y flota en el agua es de 0,45 metros (Wright-Mc, 1969).

8. NORMATIVIDAD COLOMBIANA

Actualmente Colombia cuenta con una amplia variedad en normatividad, pero las más importantes son las siguientes: E.A.A.B. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá), EPM (Empresa de Servicios Públicos de Medellín) y la Resolución 0330 del 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS”. Al realizar un análisis detallado de esta normativa se ha encontrado un gran vacío en este tema, ya que está no muestra de forma clara y precisa las especificaciones técnicas que se deben tener en el diseño, construcción y ubicación de los diferentes tipos de sumideros utilizados en el país.

La falta de parámetros establecidos para el diseño, construcción y su implementación sobrelleva a la utilización de sumideros no aptos a las características geométricas de las vías, diseños con capacidad hidráulica regular, ubicación ineficaz causando el aumento de calados altos, sobre costos y el uso de materiales inapropiados. De manera que se ha probado que, si no se cuenta con especificaciones con este tipo de captación ubicadas en las calles y diseñados con el procedimiento teórico, existirá un alto nivel de escorrentía, mayor riesgo de inundaciones y en general, todos los problemas asociados a un drenaje deficiente.

Para solucionar la deficiencia de los sistemas de sumideros, es necesario implementar en las normas Colombianas un escenario de diseño acompañado de modelos matemáticos digitales, los cuales nos ayudaran a determinar la capacidad hidráulica necesaria con el fin de evacuar las aguas lluvia que se encuentran circulando y conducir las directamente al alcantarillado, es conveniente recalcar que es de vital importancia el área que va a portar a cada sumidero, esto

debido a que no solo la calle generara escorrentía directa, también lo hará una parte de los costados de las vías dependiendo de las pendientes de los terrenos, es ineludible establecer el tipo de suelo que se tiene en esta pequeña microcuenca que se genera.

Si tenemos zonas impermeables como lo pueden ser tejados, pisos, placas de cemento, entre otros aspectos, generará una escorrentía directa hacia el sumidero, pero si existen tramos permeables tendríamos que identificar muy bien nuestro sistema de infiltración y calcular el caudal que llegara, una vez determinado este podemos saber la ubicación y cantidad de los sumideros, ya que esto dependerá directamente de la eficiencia y potencial que tenga cada rejilla para retener el agua que se encuentra circulando en la vía, así podremos determinar exactamente qué cuantía y en que localización se deben disponer de estos.

En forma de ejemplo se encuentra que las normas Colombianas solo describen que la ubicación de cada sumidero se debe realizar antes de los cruces, pero con este concepto nos deja un vacío, ya que esto precisamente no es necesario, en la presente investigación se determinó que la localización depende directamente del caudal que se quiera captar en una sección de vía, para dar una noción más grande sobre las normas de diseños de sistemas de sumideros se trae a colación un resumen de los parámetros a los que se refieren.

8.1. Resolución 0330 del 2017 -RAS

Según la resolución 0330 del 2017 Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, los requisitos de diseño para sumideros deben cumplir con lo siguiente:

1. Deben ubicarse antes de los cruces de las vías, antes de las zonas de tránsito de peatones, en la reducción de la pendiente longitudinal de la vía en el sentido de la esorrentía, en puntos bajos y depresiones.
2. Se deben justificar los métodos utilizados en el análisis del comportamiento hidráulico de los sumideros. Los anchos de inundación admisibles deben ser los establecidos en la siguiente tabla

Tabla 15.

Ancho de inundación admisible según clasificación de la vía.

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

Nota. Si el bombeo es a los dos costados de la vía el ancho de inundación admisible deberá dividirse en dos (2). Adaptado del RAS resolución 0330 del 2017.

3. Debe verificarse que la capacidad de recolección de la esorrentía de los sumideros aportantes a un colector sea consistente con la capacidad de evacuación de este.
4. Los sumideros conectados a pozos de inspección para alcantarillados de tipo, combinado deben tener elementos para evitar la salida de gases que causan malos olores.
5. La tubería de conexión del sumidero debe tener un diámetro interno real mínimo de 215 mm, pendiente mínima de 2,0% y no debe tener una longitud mayor de 15 m.

8.2. Norma de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (E.A.A.B – E.S.P)

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, establece los requisitos que deben cumplir las rejillas para sumideros en los sistemas de redes de alcantarillados pluviales construidas para la E.A.A.B - E.S.P. Requisitos:

8.2.1. Norma NS-047 versión 3.0.

Esta norma establece los siguientes parámetros:

- Según la E.A.A.B., “los sumideros descritos son los típicos utilizados, en caso de cualquier modificación por cambio de dimensiones, dificultades de construcción o interferencias de servicios públicos, debe presentar plano de propuesta del sumidero a utilizar para su aprobación por parte de la empresa”.
- Según la E.A.A.B., “los sumideros laterales o longitudinales con respecto al eje de las vías se clasifican en función de la longitud de la boca de captación así:
 - SL-100
 - SL-150
 - SL-200
 - SL-250

Tabla 16

Selección del tipo de sumidero en función de la pendiente

Caudal máximo (LPS) que captan los sumideros en función de la pendiente de la vía						
Sumidero Tipo	Pendiente longitudinal de la vía *					
	0.3%	0.5%	1%	2%	3%	4%
SL-100	35	30	25	--	--	--
SL-150	60	50	45	35	30	25
SL-200	85	75	65	55	50	45
SL-250	130	115	110	95	85	75

* La escorrentía generada en vías con pendientes longitudinales superiores al 4% debería captarse con sumideros transversales al eje de la vía

Nota. Adaptado de EAAB Norma NS-047 versión 3.0, (2002).

El diámetro de la tubería de salida debe ser:

- Ø8"
- Ø10"
- Ø12"
- Ø14"

Tabla 17

Selección del tipo de sumidero en función de la pendiente y el caudal.

Determinación de la capacidad máxima del tubo de salida					
∅	Q(Lps)	Pendiente 1.5%	Pendiente 2%	Pendiente 2.5%	Pendiente 3%
		v(m/s)	v(m/s)	v(m/s)	v(m/s)
8"	41.04	1.25	1.44	1.55	1.65
10"	71.69	1.44	1.62	1.77	1.89
12"	112.00	1.65	1.82	1.97	2.10
14"	168.00	1.82	2.02	2.18	2.33

Nota. Adaptado de EAAB Norma NS-047 versión 3.0, (2002).

- Ø 8" – Sumideros existentes
- Ø 10" – Sumideros nuevos
- Ø 12" – Sumideros tipos SL
- Ø 14" – Sumideros nuevos tipo ST

8.2.2. Norma NS-047 versión 4.0

Parámetros y procedimiento de diseño para la ubicación de los sumideros.

El procedimiento de diseño establecido en esta norma, para la captación de la escorrentía superficial en las vías, consiste en determinar el espaciamiento de los sumideros, a partir de una geometría única de los mismos y su capacidad de captación, un caudal de diseño y un ancho de inundación de la vía "T" permisible.

Parámetros De Diseño

- Caudal de diseño: El diseño de los sumideros debe ser compatible con la capacidad de las redes de alcantarillado, para tal efecto, los caudales de diseño son los mismos que los adoptados para las redes de alcantarillado y se deben calcular según la norma del "NS – 085 Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado".
- Ancho de inundación de la vía por escorrentía: El ancho de inundación "T" permisible de la vía (Ver figura 59), está en función del tipo de vía, del tráfico vehicular y peatonal esperado tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 18

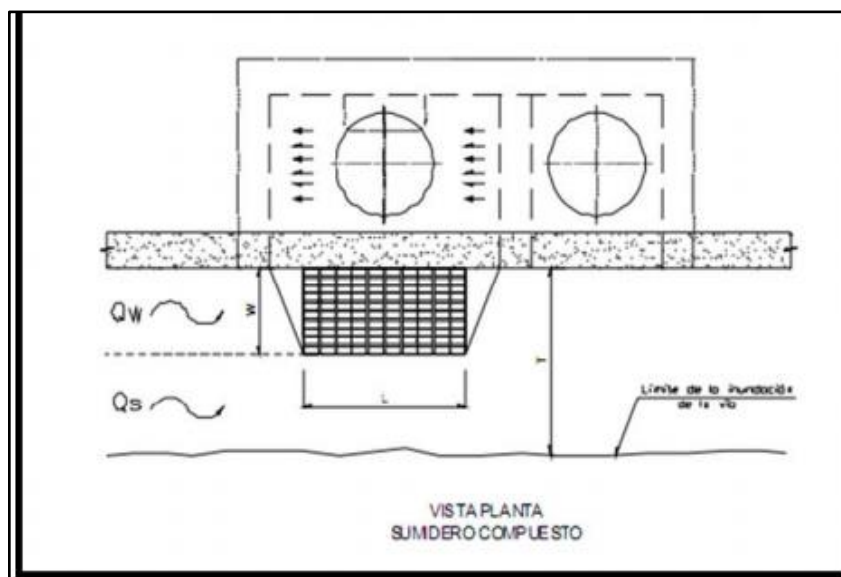
Determinación Ancho de Inundación Admisible.

Clasificación de la vía	Ancho de inundación superficial admisible T (m)
Zona Residencial	2
Zona Institucional y Comercial	1,5
Vías tipo V-0 a V-3	1,5

Nota. Adaptado de EAAB Norma NS-047 Versión 4.0.(2002).

Ilustración 62

Representación gráfica ancho de inundación.



Nota. Adaptado de EAAB Norma NS-047 Versión 4.0.(2002).

En esta versión también se tienen en cuenta otros parámetros importantes tales como:

- Pendiente transversal de la vía y la cuneta.
- Pendiente longitudinal de la cuneta y de la vía.
- Rugosidad de la vía.
- Longitud de la rejilla.

- Ancho de la cuneta y la rejilla.

Procedimientos de diseño para sumideros en pendiente. El procedimiento de diseño para los sumideros tiene en cuenta el espaciamiento según la pendiente de la vía, en la cual el agua fluye en sentido de la pendiente sin que se presenten represamientos y donde parte del caudal es captado por un sumidero y el caudal remanente es captado por el siguiente sumidero, en consecuencia, el espaciamiento entre sumideros en una vía con pendiente está en función del flujo no captado por el sumidero anterior.

La norma establece cuatro pasos con los cuales se hacen los cálculos, teniendo en cuenta los planos topográficos de la zona, los flujos, la localización de los sumideros, las áreas de drenaje de los sumideros, el ancho de inundación de la vía, el tipo de rejilla preseleccionado, el ancho de la cuneta, la profundidad del flujo y las áreas de drenaje tributarias (según norma NS-085; criterios de diseño de sistema de alcantarillado). Con estos parámetros se determina, el caudal total de la vía en el costado donde se encuentra ubicado el sumidero.

Una vez determinado el caudal se calcula el ancho de inundación mediante la siguiente expresión:

$$T = \left[\frac{Q_n}{K_u S_x^{1.67} S_L^{0.5}} \right]^{0.375}$$

Donde:

- T: Ancho de la inundación de la vía (m)
- K_u : 0.376 (sistema métrico)

- n: Coeficiente de Manning pavimento: 0.016
- Q: Caudal total de escorrentía (m³/s)
- Sx: Pendiente transversal de la vía
- SL: Pendiente longitudinal de la vía

Una vez calculado el ancho de inundación y sabiendo la pendiente longitudinal de la vía se calcula la profundidad del agua junto al andén, utilizando la siguiente expresión:

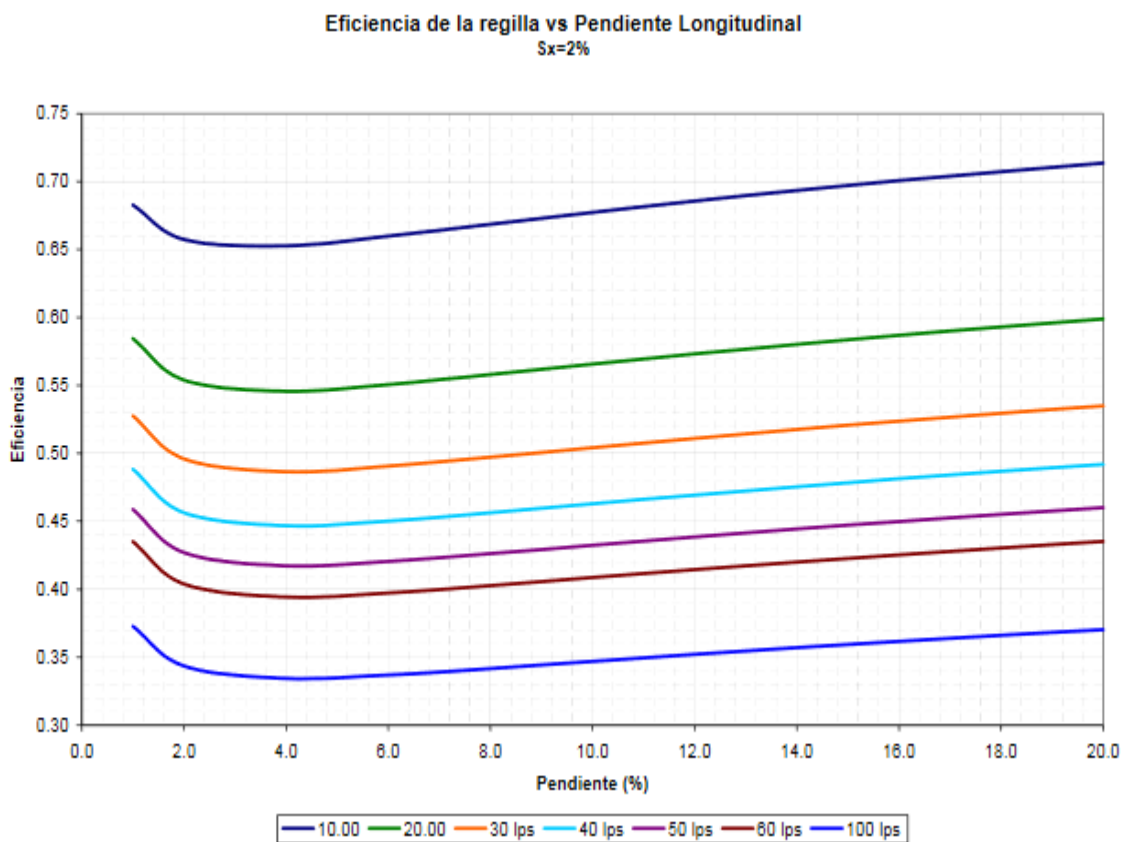
$$d = TS_x$$

Obtenidos estos valores se compara el valor de “T” con el ancho de inundación permitido según la tabla No.16, contenida en la norma y el valor de d se compara con la altura de sardinel. Si estos valores son aceptables se procede con el siguiente paso, de lo contrario se debe de encontrar el área de drenaje disminuyendo la distancia del sumidero y se repiten nuevamente el procedimiento para verificar que los valores de los parámetros sean satisfactorios. Posteriormente se calcula el flujo interceptado por la rejilla con la expresión:

$$Q_1 = E * Q$$

Siendo E la eficiencia de la rejilla, y Q el caudal por la vía, la eficiencia de la rejilla E se determina a partir de la ilustración 61.

Ilustración 63

Determinación de la eficiencia.

Nota. Adaptado de EAAB Norma NS-047 Versión 4.0.(2002).

Para el cálculo del flujo captado por la apertura lateral, se calcula con el siguiente procedimiento:

1. Para efectos del diseño, se calcula la longitud requerida por la apertura lateral como si se fuese a captar la totalidad del caudal de escorrentía sobre la vía:

$$L_T = K_u Q^{0.42} S_L^{0.3} \left(\frac{1}{n S_L} \right)^{0.6}$$

Donde:

- LT: Longitud de la apertura para captar el 100% del flujo en la vía.
- Ku: 0.817(sistema métrico)
- Q: Se refiere al caudal total que corre por la vía.

2. Se calcula la eficiencia de la captación para la longitud de la apertura establecida para el sumidero:

$$E=1-\left[1-\frac{0.85}{LT}\right]^{1.8}$$

Donde:

0.85 Es la longitud de apertura lateral real en metros del acceso lateral para el sumidero típico contemplado en esta norma.

3. Se calcula el caudal captado por la apertura.

$$Q_2 = E * Q$$

El valor del caudal total interceptado por el sumidero "Qi" equivale a la suma de los caudales captados por la rejilla Q₁ y la apertura lateral Q₂.

Se determina el caudal no captado por el sumidero, Qb:

$$Q_b = Q - Q_i$$

Se continúa con el siguiente sumidero localizado aguas abajo, teniendo en cuenta que existe un caudal de sobrepaso o no captado Q_b del sumidero anterior, el cual debe sumarse al caudal tributario al sumidero siguiente para llevar a cabo los pasos anteriores.

Luego menciona que se continúe el proceso en el resto de las vías del sector a drenar.

Procedimiento de diseño para sumideros en batea.

Para el cálculo de sumideros en depresiones, puntos bajos o bateas, en los cuales las líneas de corriente confluyen desde cualquier dirección hacia el sumidero. Inicialmente se define el área aferente al sumidero con base en la geometría de la vía. Una vez definida el área, se calcula el caudal aferente al sumidero según la norma "NS – 085 Notes Link criterios de diseño de sistemas de alcantarillado". Se calculan los valores de T y d según el siguiente procedimiento:

El Ancho de inundación "T" ocupado por la escorrentía en la vía se deduce de la siguiente ecuación:

$$T = \left(\frac{Qn}{K_u S_x^{1.67} S^{0.5}} \right)^{0.375}$$

Donde:

- T: Ancho de la inundación de la vía (m)
- K_u : 0.376 (sistema métrico)
- n: Coeficiente de Manning pavimento: 0.016
- Q: Caudal (m^3/s)
- S_x : Pendiente transversal de la vía
- SL: Pendiente longitudinal de la vía.

Profundidad del flujo en la cuneta "d":

$$d = T * S_x$$

En caso de que los valores de T y d no cumplan con los valores de diseño, se incrementa el número de sumideros hasta que se satisfagan las condiciones de diseño.

El caudal captado por el sumidero se calcula con las siguientes ecuaciones:

- Caudal captado por la rejilla:

Donde: $Q_1 = C_w P d^{1.5}$

- P: Perímetro de la rejilla descartando el lado junto al sardinel del andén.
- C_w : 1.66
- d: Profundidad del flujo sobre la rejilla.

- Caudal captado por la apertura en el andén:

$$Q_1 = C_w (L + 1.8W) d^{1.5}$$

Donde:

- C_w : 1.25.
- L: Longitud de la apertura.
- W: Ancho de la depresión.
- d: Profundidad junto al sardinel.

8.2.3. Norma NS-047 versión 4.1.

Esta norma establece los siguientes parámetros: Los criterios de localización y los parámetros de diseño son establecidos en la versión 4.0. Solamente está contemplado la exigencia de construcción de los sumideros combinados. Lo que se modifica en esta versión es la conexión del sumidero a la red; se debe tener en cuenta que la distancia máxima del sumidero al pozo de inspección es de 50 metros, salvo los criterios adoptados en la norma NS – 029.

La tubería de descarga deberá ser de mínimo 250 mm y deberá tener una pendiente mínima del 2 %.

8.3. Norma de diseño empresa de servicios públicos de Medellín

Para La Empresa de Servicios Públicos de Medellín, se debe tener en cuenta los siguientes criterios de localización de los sumideros: cruces de vías de tal manera que intercepten las aguas de escorrentía antes de que alcancen las zonas peatonales, rebajes de andén, parqueaderos en niveles inferiores al de la vía, reductores de velocidad, cunetas y bateas, puntos bajos y depresiones, disminución de la pendiente longitudinal de la vía, antes de puentes o terraplenes, deprimidos viales y sitios de captación de sedimentos. Los sumideros deben tener un espaciamiento máximo de 80 m o donde lo indiquen los planos del proyecto o EPM.

Los sumideros siempre deben estar conectados a cámaras de inspección. El caudal de agua de escorrentía captado por un sistema de sumideros no puede en ningún momento sobrepasar la capacidad hidráulica del sistema de drenaje al cual va conectado. Los sumideros se clasifican según la forma de captación de las aguas, y la selección del tipo de sumidero a instalar depende de las características de flujo, topografía y grado de importancia del sector.

8.4. Tipos de sumideros

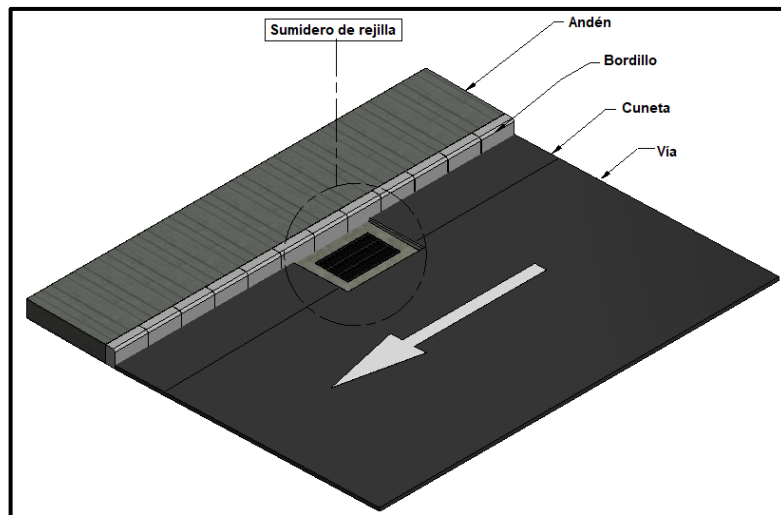
8.4.1. Sumideros de rejilla (tipo A y tipo B):

Estos sumideros consisten en una abertura con rejilla colocada sobre el piso de la cuneta de la vía, adyacente al bordillo o borde del andén. Adicionalmente la rejilla debe quedar entre 0.01m –0.02m por debajo de la rasante de la vía. La rejilla utilizada para los, sumideros ya sea tipo A o B, debe cumplir con los requisitos estipulados en la Especificación Técnica de EPM: ET-AS-

ME08-16 Rejilla para sumideros. Los muros y la losa de fondo de la caja de los sumideros deben ser en concreto con una resistencia a la compresión de 28MPa, reforzado en ambas caras con barras de acero de refuerzo No. 3 (3/8") con una separación entre estas de 0.15 m y un recubrimiento mínimo de 0.04 m. Se debe tener en cuenta en el momento del vaciado del concreto de los muros del sumidero que el marco de la rejilla quede correctamente embebido y anclado. Para lo anterior, el marco de la rejilla debe contar en sus esquinas o laterales con aletas o ganchos de acero u otro material que permitan el anclaje al concreto. Adicionalmente, la rejilla y su marco debe contar con un apoyo uniforme en todos sus lados, evitando que esta quede en voladizo y se presenten deformaciones excesivas en la rejilla.

Los sumideros de rejilla pueden llegar a perder área efectiva de captación por efecto de acumulación de sedimentos, basura o escombros, adicionalmente estos elementos pueden llegar a generar obstrucciones en las tuberías. En estos casos, se debe consultar con el área de operación y mantenimiento de EPM la posibilidad de la instalación de canastillas poliméricas, la cual debe ser de acuerdo con la especificación técnica de EPM:ET-AS-ME08-09 Canastilla para sumideros de alcantarillado. Cabe aclarar que dicha canastilla impide el paso de elementos de gran tamaño a las redes, sin embargo, disminuye considerablemente la capacidad de captación del sumidero, por lo que su utilización no debe ser de uso generalizado, sino para sitios aprobados por EPM.

Ilustración 64

Sumidero de rejilla- ubicación.

Nota. Adaptado de Empresa de servicios públicos de Medellín (2019).

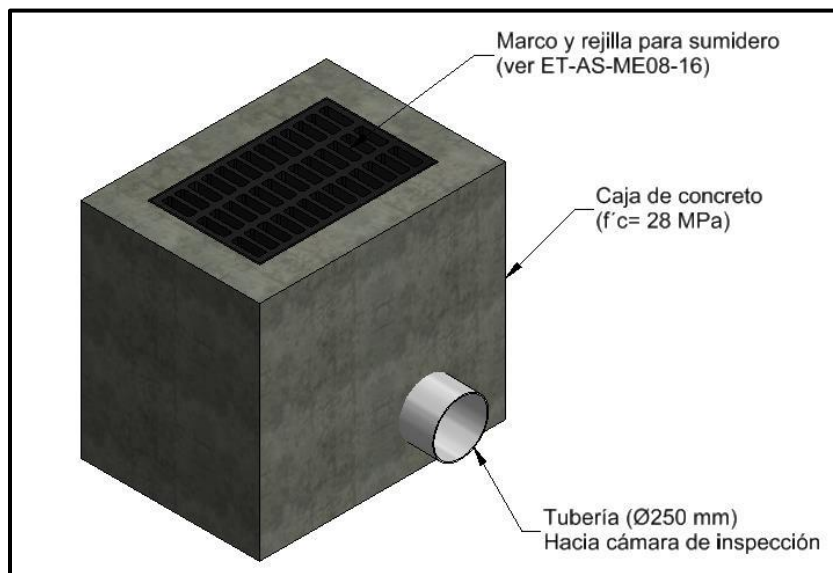
Notas:

- Debe evitarse la construcción de sumideros localizados por fuera de la cuneta, en una zona intermedia de la vía o sobre los andenes, a menos que sea aprobado por EPM.

- Para los casos donde se requieran dos sumideros ubicados en serie, estos deben conservar una distancia mínima de 5.00 m entre sí, con el fin de permitir que el flujo del agua que no se capta por el primer sumidero, pueda uniformizarse y encausarse nuevamente en la cuneta y posteriormente pueda ingresar en el siguiente sumidero.

En las imágenes 62 a 65, se presenta la configuración de los sumideros de rejilla tipo A y tipo B.

Ilustración 65

Sumidero de rejilla- isométrico.

Nota. Adaptado de Empresa de servicios públicos de Medellín (2019).

Notas:

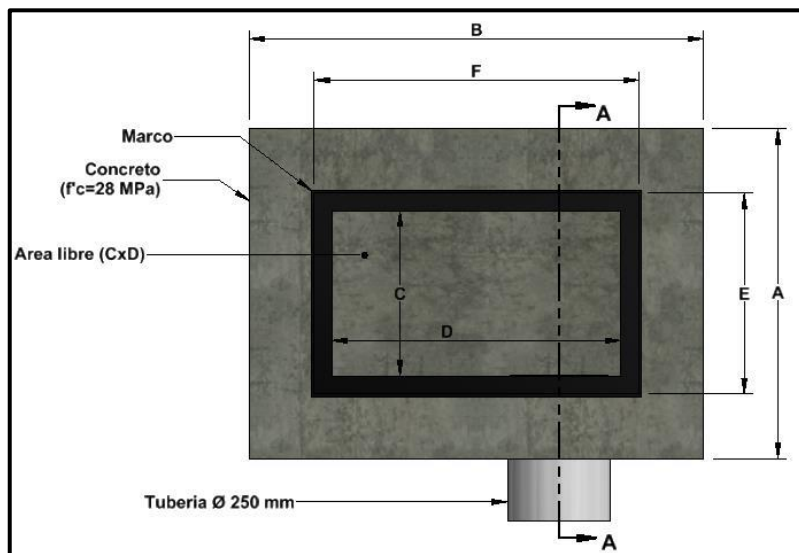
- El esquema de la rejilla y su marco es ilustrativo, las características técnicas de la rejilla para sumidero deben cumplir los requerimientos establecidos en la especificación técnica de EPM:

ET-AS-ME08-16 Rejilla para sumidero.

- La rejilla debe ser de tipo basculante compuesto por un marco, ala y bisagra o punto de pivote.

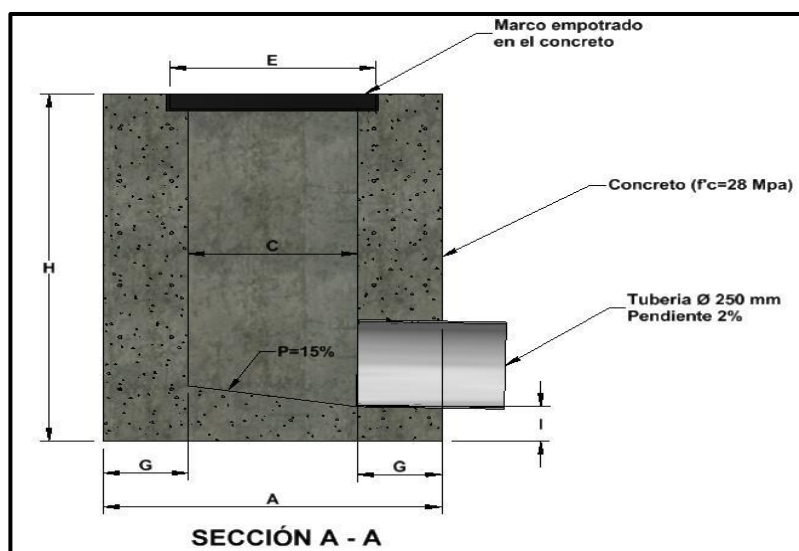
- La pendiente de la tubería de desagüe debe ser mínimo de 2%.

Ilustración 66

Sumidero de rejilla- planta.

Nota. Adaptado de Empresa de servicios públicos de Medellín (2019).

Ilustración 67

Sumidero de rejilla- sección transversal.

Nota. Adaptado de Empresa de servicios públicos de Medellín (2019).

Notas:

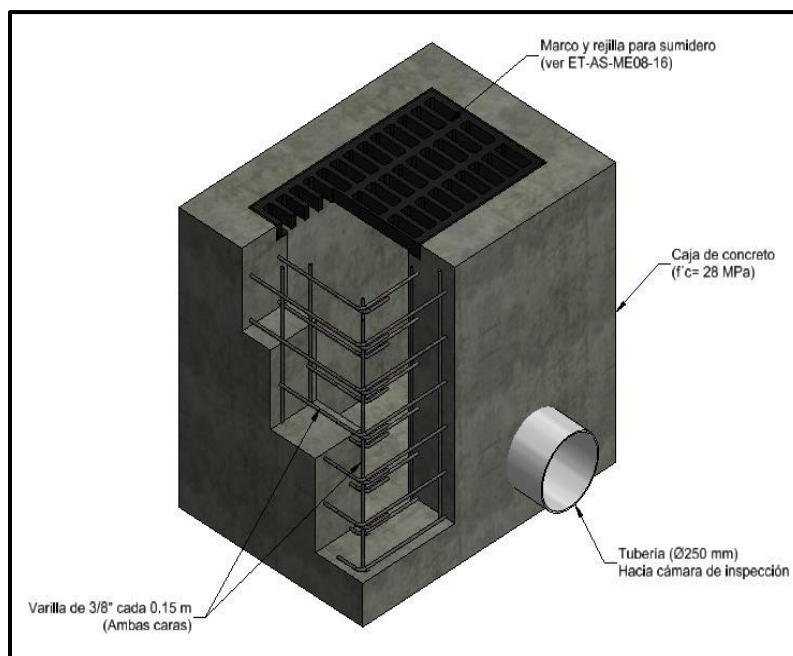
- La altura H depende de la profundidad de la tubería, en general se recomienda una altura de 1.00 m.

- Las características técnicas de la rejilla se establecen en la especificación técnica de EPM: ET-AS-ME08-16 Rejilla para sumidero.

- El acero de refuerzo de los muros debe tener un recubrimiento mínimo de 0.04 m y debe conformarse de acuerdo con el siguiente esquema:

Ilustración 68

Sumidero de rejilla- acero de refuerzo de los muros- isométrico.



Nota. Adaptado de Empresa de servicios públicos de Medellín (2019).

8.4.2. Sumideros de ventana o captación lateral

Estos sumideros constan de una abertura a manera de ventana colocada sobre la cara vertical del bordillo de la vía, o sobre los bordillos de los andenes. Su localización permite colocar una ventana con una ligera depresión, lo cual permite aumentar la captación mediante la acumulación de agua en esta zona. Para efectos de mantenimiento preventivo y correctivo deben conectarse siempre a una cámara de inspección.

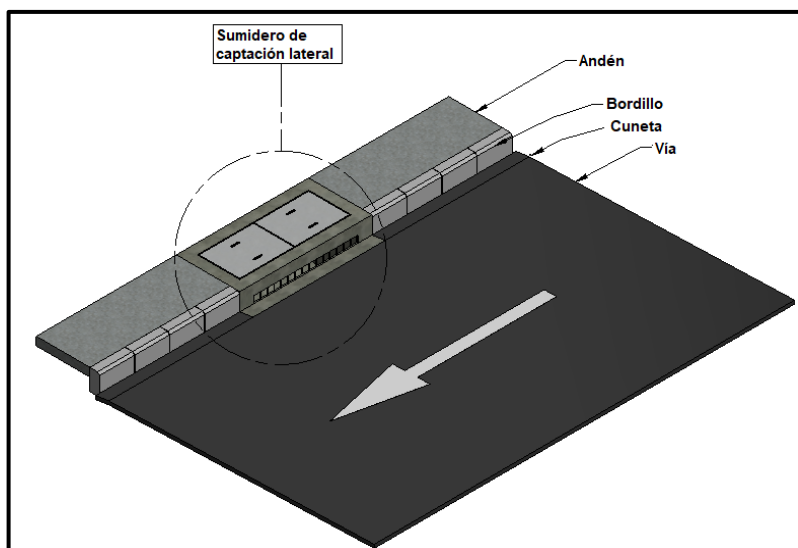
Al estar ubicado de forma lateral, no interfiere ni se ve afectado por el tráfico vehicular, sin embargo, es susceptible a taponamiento por sólidos de gran tamaño y sedimentos, lo cual debe evitarse mediante la utilización de rejillas en la ventana. Dichas rejillas deben quedar ancladas en la parte inferior y superior de la abertura de la ventana. Estos sumideros se construyen en zonas de flujo lento o flujo subcrítico, donde la inercia del flujo en la dirección longitudinal es comparable con la dirección transversal.

Debajo de la zona peatonal debe construirse una caja en concreto. Los muros y la losa de fondo de la caja de los sumideros deben ser en concreto con una resistencia a la compresión de 28 MPa, reforzado en ambas caras con barras de acero de refuerzo No. 3 (3/8") con una separación entre estas de 0.15 m y un recubrimiento mínimo de 0.04 m. Posteriormente se deben instalar las tapas en concreto o material polimérico de dimensiones 0.60 m x 0.80 m, con el fin de permitir labores de operación y mantenimiento. Las tapas deben tener la capacidad de resistir una carga de 33.3 kN, considerando que estos elementos no se ubicarán en vías con tráfico vehicular, adicionalmente debe contar con gancho de asidero en varilla lisa o corrugada N°4 (1/2").

La reja lateral puede ser fabricada en material polimérico o metálica con barras de acero No. 6 (3/4”), espaciadas cada 0.05 m, las cuales deben quedar embebidas en la parte inferior a la caja del sumidero, y la superior en la viga reforzada que se encuentra sobre la ventana de captación.

Ilustración 69

Sumidero de captación lateral-ubicación.

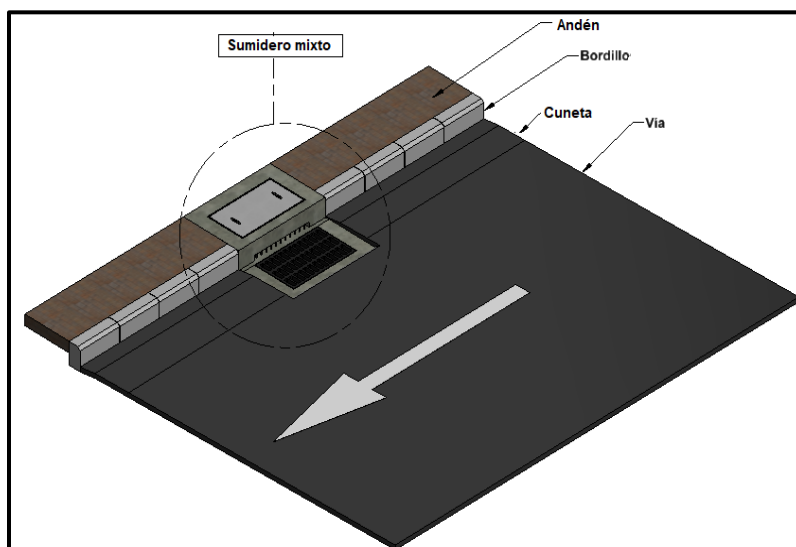


Nota. Adaptado de Empresa de servicios públicos de Medellín (2019).

8.4.3. Sumideros mixtos

Están compuestos por una combinación de los sumideros de rejilla y ventana, con el fin de aumentar el área de captación. Se utilizan en zonas donde por condiciones de tráfico sea preferible usar un sumidero de ventana, pero donde la pendiente longitudinal de la vía sea mayor al 3%.

Ilustración 70

Sumidero mixto- ubicación.

Nota. Adaptado de Empresa de servicios públicos de Medellín (2019).

Tabla 19

Requisitos normativa

Norma	Requisitos	Falencias
Resolución 0330 del 2017 RAS	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación antes de los cruces de las vías, zonas de tránsito de peatones. - Justificar los métodos utilizados en el análisis del comportamiento hidráulico de los sumideros. - Ancho de inundación admisible según clasificación de la vía. - Verificación en la capacidad de recolección de la escorrentía de los sumideros aportantes a un colector sea consistente con la capacidad de evacuación de este. - Los sumideros conectados a pozos de inspección para alcantarillados de tipo, combinado deben tener elementos para evitar la salida de gases que causan malos olores. - La tubería de conexión del sumidero debe tener un diámetro interno real mínimo de 215 mm - Pendiente mínima de 2,0% y no debe tener una longitud mayor de 15 m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diámetro de salida. - Longitud de la rejilla. - Espaciamiento máximo.

Empresa de
acueducto y
alcantarillado de
Bogotá (E.A.A.B –
E.S.P)

- NS-047
versión 3.0.

- NS-047
versión 4.0

- Los sumideros laterales o longitudinales con respecto al eje de las vías se clasifican en función de la longitud de la boca de captación (SL-100, SL-150, SL-200, SL-250).
- El diámetro de la tubería de salida debe ser de Ø8" Sumideros existentes, Ø10" Sumideros nuevos, Ø12" Sumideros tipos SL, Ø14" Sumideros nuevos tipo ST.

- El diseño de los sumideros debe ser compatible con la capacidad de las redes de alcantarillado.

- Ancho de inundación admisible según clasificación de la vía.

- Pendiente transversal de la vía y la cuneta.

- Pendiente longitudinal de la cuneta y de la vía.

- Rugosidad de la vía.

- Longitud de la rejilla.

- Ancho de la cuneta y la rejilla.

Diseño para sumideros en pendiente:

- Caudal total de la vía se realiza de acuerdo a la siguiente información: planos topográficos de la zona, los flujos, la localización de los sumideros, las áreas de

- NS-047 versión 4.1. drenaje de los sumideros, el ancho de inundación de la vía, el tipo de rejilla preseleccionado, el ancho de la cuneta, la profundidad del flujo y las áreas de drenaje tributarias.

Diseño para sumideros en batea:

- Área aferente al sumidero con base en la geometría de la vía.

- Se debe tener en cuenta que la distancia máxima del sumidero al pozo de inspección es de 50 metros.

- Tubería de descarga deberá ser de mínimo 250 mm.

- Pendiente mínima del 2 %.

- Localización de los sumideros: cruces de vías de tal manera que intercepten las aguas de escorrentía antes de que alcancen las zonas peatonales, rebajes de andén, parqueaderos en niveles inferiores al de la vía, reductores de velocidad, cunetas y bateas, puntos bajos y depresiones, disminución de la pendiente longitudinal de la vía, antes de puentes o terraplenes, deprimidos viales y sitios de captación de sedimentos.

- Espaciamiento máximo de 80 m o donde lo

Empresa de servicios públicos de Medellín (EPM)

indiquen los planos del proyecto.

- Los sumideros siempre deben estar conectados a cámaras de inspección.

- El caudal de agua de escorrentía captado por un sistema de sumideros no puede en ningún momento sobrepasar la capacidad hidráulica del sistema de drenaje al cual va conectado.

- Los sumideros se clasifican según la forma de captación de las aguas, y la selección del tipo de sumidero a instalar depende de las características de flujo, topografía y grado de importancia del sector.

Nota. Abaunza, K & Chaparro, F (2020).

9. MANTENIMIENTO

Uno de los problemas más importantes en la etapa de funcionamiento de los sumideros es la falta de una gestión responsable en el mantenimiento y corrección, es por esto que gran fragmento de las inundaciones urbanas provocadas por eventos de precipitación fuertes se deben a los que están colmatados, aquellos en los cuales los sedimentos y sólidos urbanos se acumulan hasta el punto de bloquear el trabajo (Martínez, 2014), debido a la no realización de mantenimientos preventivos y correctivos por parte de las empresas administradoras de servicios públicos locales, como se puede evidenciar en las siguientes ilustraciones.

Ilustración 71

Problema de colmatación en un sumidero



Nota. Adaptado del Diario vanguardia (2016).

Ilustración 72

Problema de colmatación en un sumidero.



Nota. Adaptado del diario vanguardia (2014).

Para la corrección de estos problemas es necesario tener en cuenta, un correcto mantenimiento de un sistema de drenaje, que consiste, en la óptima utilización de la mano de obra, equipo y materiales. Puede ser preventivo o correctivo.

Si el mantenimiento es preventivo, menor será el correctivo.

- Mantenimiento preventivo: incluye limpieza, reparación de rejillas y sumideros, registro de mantenimiento en los puntos críticos. Un buen programa preventivo asegura una atención a todas las partes del sistema para que los problemas puedan ser descubiertos y corregidos.

Ilustración 73

Mantenimiento preventivo.



Nota. Adaptado de Empresas públicas de Medellín (2017).

- **Mantenimiento Correctivo:** Podría llamarse también de emergencia, ya que se lleva a cabo como resultado de un problema observado y de la recepción de una queja en específico. Incluye la reparación de un elemento que no funciona o que causa problemas y, por ende, necesita de una actuación inmediata para resolver la emergencia.

Ilustración 74

Mantenimiento correctivo.



Nota. Adaptado de Diario vanguardia (2018).

La limpieza se puede realizar de la siguiente manera:

- ✓ Limpieza no programada (correctiva): Cuando se detecta alguna deficiencia en el sistema, obstrucción. La frecuencia de las intervenciones determinará el equipamiento y el personal que sea necesario para dicha limpieza.
- ✓ Limpieza programada o sistemática: Es la limpieza con periodicidad para limitar al máximo las intervenciones de emergencia.
- ✓ Limpieza selectiva: a través de un diagnóstico del estado de las rejillas y necesidades de limpieza que se requiera, con una limpieza mínima para poder limitar al máximo las intervenciones de emergencia.

Las medidas preventivas que se pueden acoger para reducir la limpieza necesaria de los elementos de captación es tener una buena coordinación entre el servicio de limpieza diaria y el de alcantarillado, para que la tierra, las hojas y los sólidos urbanos no vayan a parar a las rejillas y puedan ser retiradas de la superficie. Por otra parte, en los puntos de entrada permisible de sedimentos, como pueden ser parques, obras, entre otras, se debería instalar dispositivos de retención de sólidos que eviten su entrada en las rejillas y proceder a su inspección y limpieza periódica. Llevar a cabo una limpieza a los sumideros antes de la época de lluvias, especialmente en las zonas de captación donde se pueda ver más afectada.

Es importante disponer de un soporte tecnológico, que funcione como mecanismo organizador de la información relacionada con la limpieza. Un sistema de información geográfica aplicado a la gestión de redes de alcantarillado sería un soporte correcto para esta tarea, es por esto que es indispensable realizar las bases de datos de los estados de sumideros como la que se desarrolló en la presente investigación.

9.1. Metodología de limpieza de sumideros

- Limpieza manual por arrastre: Se recogen manualmente los sedimentos depositados en el sumidero por parte de los operarios.

Ilustración 75

Limpieza manual



Nota. Adaptado de Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá ESP (2017).

- Limpieza hidrodinámica: Consiste en introducir agua a presión al interior del sumidero para poder limpiarlos y arrastrar los sedimentos, extraer por succión mediante vacío, los sedimentos arrastrados.

Ilustración 76

Limpieza hidrodinámica.

Nota. Adaptado de Escobarsl (2018).

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Mediante la modelación computacional se logró el diagnóstico de la red de sumideros existentes en el sector nororiental de la ciudad de Tunja, dando como resultado que el escenario presenta un riesgo leve ante inundaciones siempre y cuando se cumpla con la condición de que todos los andenes tengan un bordillo de 15 cms.
- Se determinó que el catastro realizado a los sumideros es representativo y refleja la realidad del estado actual del sistema de drenaje superficial (sumideros).
- Por medio del catastro se logró clasificar estadísticamente las propiedades físicas del estado actual del sistema de sumideros, dando como resultado que el 64% de los 206 sumideros se encuentran en buen estado, el 33% en estado regular y un 3% en mal estado.
- Se evidencia que hace falta jornadas de carácter pedagógico por parte de la empresa administradora de los servicios públicos de la ciudad, debido a que la comunidad no es consciente de la importancia de la no manipulación de los elementos pertenecientes al sistema de drenaje como lo son las rejillas, cunetas, etc.
- Se logró diseñar y construir un modelo físico a escala, el cual nos permitió determinar las eficiencias de cada una de las configuraciones geométricas existentes de los sumideros en el sector Nororiental en la ciudad de Tunja.
- En el desarrollo del modelo físico, se determinó, que al trabajar a una escala tan pequeña la pendiente longitudinal es un factor muy sensible, debido a que, al realizar variaciones de esta en el modelo afecta drásticamente en el desarrollo del flujo que circula a través de este y se refleja directamente en la eficiencia de captación de cada una de las rejillas.
- Se logró determinar una metodología específica para estimar la eficiencia hidráulica de rejillas, mediante el cálculo de un vertedero triangular de pared delgada, componente fundamental del modelo físico.

- Una vez realizados los análisis del laboratorio, se concluyó que el modelo físico no es representativo, debido a que no refleja apropiadamente las condiciones reales, los modelos físicos a escala demasiado pequeñas tienden a ignorar datos importantes, que son fundamentales al momento de generar resultados.
- Se evidenció durante el desarrollo del catastro de sumideros que no todos los andenes contaban con bordillos, teniendo en cuenta y resaltando que los bordillos forman parte de elementos constructivos de la pavimentación urbana, es de vital importancia que este sea contemplado como recurso fundamental para el diseño de una vía urbana.
- En la elaboración del modelo matemático digital por medio del software EPA SWMM 5.01.015, se disgregó la cuenca del barrio Santa Inés, en 272 subcuencas las cuales cuentan cada una con la medida de área y ancho, acorde a las condiciones de drenaje, las subcuencas se trazaron teniendo en cuenta la zona de aportación de cada uno de los sumideros.
- En los resultados arrojados por el software EPA SWMM 5.01.015, se logró estimar que el caudal generado a cada sumidero no solo depende de la generación directa de escorrentía de la vía, sino que es fundamental tener en cuenta la zona de aportación aferente al sumidero.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en el modelo hidrodinámico se puede establecer que los parámetros más influyentes en la eficiencia de los sumideros son: la pendiente del terreno, la configuración geométrica de su rejilla y el ancho del sumidero.
- Dentro de los sistemas de alcantarillados pluviales, el diseño de la red de sumideros tiene una importancia muy alta, ya que permite el ingreso del caudal en escorrentía hacia las tuberías que se encuentran enterradas, sin este, es posible que los drenajes de alcantarillados se encuentren colapsados, generando mayor inundación en las vías urbanas.

- En el análisis de las Normas aplicadas a los diseños de sumideros se encuentra una falencia en la determinación de las áreas de aportación, ya que este es un factor clave en el desarrollo de estos diseños, se puede determinar el caudal a generar en la vía, con esto se puede conocer con más precisión la cantidad y ubicación de sumideros presentes en el sistema.
- Ninguna de las tres normas más influyentes en el diseño de sistemas de sumideros en Colombia habla sobre la necesidad de realizar un modelo matemático digital, esto es importante debido a que una vez calibrado el evento de precipitación se puede saber más precisamente el comportamiento del sistema en la vida real, llevándonos a hacer diseños más eficientes tanto hidráulica como económicamente.
- Se recomienda la utilización de un diámetro mínimo de tubería de salida del sumidero de 10”, esto de acuerdo a los requisitos de diseño de sumideros del REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (Resolución 0330 de 2017), ya que el modelo hidrodinámico nos permite observar que durante un evento de lluvia la mayor parte del tiempo estas tuberías trabajan casi a tubo lleno, lo que no es recomendable en este tipo de sistemas, la tubería de 10” nos determina un amplio margen de evacuación sin saturar el sistema de drenaje, adicional se debe verificar en el modelo hidrodinámico cuál sería el mejor diámetro a utilizar en cada sumidero.
- Para efectos de futuras investigaciones similares se recomienda, primero, realizar una topografía detallada a la zona de estudio, ya que esta nos puede facilitar datos más precisos como lo pueden ser anchos de vías, pendientes de vías, cuencas de aportación y cotas de altura.
- Se recomienda para el desarrollo de una futura investigación desarrollar un modelo físico a escala 1:1, debido a que sus resultados son más acertados a la realidad, ya que los

modelos a escalas pequeñas son más susceptibles a los datos de entrada y pueden presentar una variabilidad entre el 20 y el 40% en el resultado de sus datos.

- Es importante dar un espacio en el diseño de sistemas de sumideros para hablar sobre la creación de manuales de mantenimiento y limpieza periódica, debido a los efectos naturales los sumideros tienden a colmatarse de residuos sólidos urbanos, lo que lleva a un alto grado de incertidumbre en su funcionamiento sobre todo en periodos de fuertes lluvias.

REFERENCIAS

- (ARMC), A. and R. M. C. of A. and N. Z. (2000). *Floodplain Management in Australia*.
- (EPA), E. P. A. (2015). *Swmm*.
- Alcaldía de Tunja. (2018). *No Title*. 01 de 11.
- Resolución 0241 POT, 23 de 9 (2014).
- Amaya, W. E. (2019). *Modelización hidráulica de drenaje urbano. aplicación sector nororiental distrito Santa Inés Tunja-Boyacá*.
- Asociado, P. (2005). *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*.
- Bathrellos, G. D., Karymbalis, E., Skilodimou, H. D., & Baltas, E. A. (2016). Urban flood hazard assessment in the basin of Athens Metropolitan city , Urban flood hazard assessment in the basin of Athens Metropolitan city , Greece. *Environmental Earth Sciences*, March. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5157-1>
- Beniamino, R., & Gómez, M. (2014). *Sumideros y captación de escorrentía en la ciudad. Errores y problemas de ubicación y opereación*.
- Beniamino, R., & Manuel, G. V. (2014). Análisis del comportamiento hidráulico de elementos de drenaje superficial. *Universitat Politecnica de Catalunya, 1*.
- Beniamino, R., Manuel, G. V., & Sánchez, H. (2014). *Ejemplos de cálculo de espaciamento entre sumideros a través de diferentes técnicas: método racional, flujo no permanente 1d y 2d. Software para el diseño de sistemas de drenaje superficial*.
- Butler, D., & Davies, J. W. (2004). *Urban Drainage* (2nd ed.).
- Cárdenas Ballén, J. F., & Pérez Pulido, A. (2015). *Propuesta para la reutilización de los sedimentos de sistemas de saneamiento pluvial para el aprovechamiento en usos ingenieriles en Puente Aranda Bogotá*. (Vol. 2015).
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2000). Hidrología Aplicada. *Potencia*, 1–14.

- Cortés Zambrano, M., Amaya Tequia, W. E., & Gamba-Fernández, D. S. (2020). Implementation of the hydraulic modelling of urban drainage in the northeast sector, Tunja, Boyacá. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200798>
- Durán Vinuesa, L. F. (2017). *Análisis y desarrollo de la simulación termo-hidráulica de flujo multifase en CFD con ANSYS Fluent*®.
- Gallego, T. M. (2012). *Universidad politécnica salesiana unidad de posgrados*.
- Gómez, M., & Russo, B. (2009). Eficiencia hidráulica de rejillas transversales continuas. *Jornadas de Ingeniería del Agua, Figura 1*, 1–10.
- Guacaneme, J. J. (2006). Zonificación de suelos en superficie de la ciudad de Tunja. *Enero-Junio*, 29–44.
- Gutiérrez Serret, R. M., Lozano Pedroche, J., & Atienza, R. (n.d.). *Los modelos físicos a escala reducida y la simulación de maniobras de buques. herramientas para el diseño portuario*.
- Gutiérrez, S. (2005). *SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales, manual del usuario*.
- Hogue, T. S., Gupta, H., & Sorooshian, S. (2006). A ‘User-Friendly’ approach to parameter estimation in hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 320(1), 202–217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.009>
- Huang, C.-L., Hsu, N.-S., Wei, C.-C., & Luo, W.-J. (2015). Optimal Spatial Design of Capacity and Quantity of Rainwater Harvesting Systems for Urban Flood Mitigation. In *Water* (Vol. 7, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/w7095173>
- Kourtis, I. M., Kopsiaftis, G., & Tsihrintzis, V. A. (2017). Calibration and validation of SWMM model in two urban catchments in Athens, Greece. *15th International Conference on Environmental Science and Technology*, 2(September), 1–6. <https://www.researchgate.net/publication/319465255>
- Lara Pérez, M. Y. (2020). *Modelación de calidad de agua del drenaje urbano, en software SWMM, sector Nororiental - Santa Inés – Tunja*.

- López, B. (2018). *Desarrollo de un Túnel de Viento Numérico*. Universidad de la República de Uruguay.
- Manuel, G. V. (2014). Problemas del agua en calles: inundación y consideraciones sobre el funcionamiento de los sumideros. *Universitat Politecnica de Catalunya*.
- Manuel, G. V., & Beniamino, R. (2011). *Criterios de peligrosidad para peatones e información de base para el diseño de sistemas de sumideros*.
- Martínez, P. (2014). *Elementos de captación: acreditación de calidad, materiales, criterios de operación y mantenimiento*.
- Mataix, C. (1986). *Ingeniería - Claudio Mataix - Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas.Pdf* (pp. 423–435).
- Ortiz Aguilera, Y. I., & Gomez Mayorga, Y. C. (2017). *Modelación matemática e hidráulica del flujo en pilares en un canal con sedimentación*.
- Portillo, L. E. (2012). *Calibración de vertederos de pared delgada para plantas de tratamiento de aguas residuales. I*(Calibración de vertederos de pared delgada), 189.
- Ramírez, J. E. (n.d.). *Historia terremotos Colombia(Ramírez_1975).pdf* (p. 247).
- Russo, B., & Gómez, M. (2014). *Diseño de sistemas de sumideros en medio urbano* (p. 86).
- Salas Pérez, C., Coy Castro, D., Acuña Ramírez, K., Páez Cuervo, L., & Upegui, E. (2019). Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44). <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd23-44.cuis>
- Sosa-Pedroza, J., & Martínez-Zúñiga, F. (2009). Los sistemas de información geográfica y su aplicación en enlaces de comunicaciones. *Científica*, 13, 27–34.
- Troncel Zuleta, W. de J., Méndez Villamizar, S. S., & Molina Gonzalez, K. M. (2012). Modelo de un canal hidrodinámico para Colombia. In *Экономика Региона*. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Universidad de los Andes. (1984). Estudio general de riesgo sísmico en Colombia. In *Asociación*

Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Universidad de los Andes. (1996). *Estudio general de amenaza sísmica de Colombia*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Vicente Oliva, S. (2018). La impresión 3D como tecnología de uso general en el futuro. *Revista Economía Industrial* N°407. <https://www.interempresas.net/Fabricación-aditiva/Articulos/217882-La-impresión-3D-como-tecnología-de-uso-general-en-el-futuro.html>

Wright-Mc, L. (1969). Urban Storm Drainage Criteria Manual. *Urban Drainage and Flood Control District, Denver, Colorado, Estados Unidos.*

ANEXOS

ANEXO N° 1
TABLA CALIBRACIÓN VERTEDERO TRIANGULAR MODELO FÍSICO

H' (cm)	H (m)	Q (m³/s)	Q (m³/h)	H (cm)	Q (lps)
10,4	0	0,0000	0,0000	0	0
10,5	0,001	0,0000	0,0001	0,1	4,0974E-05
10,6	0,002	0,0000	0,0008	0,2	0,00023179
10,7	0,003	0,0000	0,0023	0,3	0,00063873
10,8	0,004	0,0000	0,0047	0,4	0,00131118
10,9	0,005	0,0000	0,0082	0,5	0,00229053
11	0,006	0,0000	0,0130	0,6	0,00361318
11,1	0,007	0,0000	0,0191	0,7	0,00531198
11,2	0,008	0,0000	0,0267	0,8	0,00741713
11,3	0,009	0,0000	0,0358	0,9	0,00995675
11,4	0,01	0,0000	0,0466	1	0,0129572
11,5	0,011	0,0000	0,0592	1,1	0,01644345
11,6	0,012	0,0000	0,0736	1,2	0,02043922
11,7	0,013	0,0000	0,0899	1,3	0,02496719
11,8	0,014	0,0000	0,1082	1,4	0,03004909
11,9	0,015	0,0000	0,1285	1,5	0,03570585
12	0,016	0,0000	0,1510	1,6	0,04195765
12,1	0,017	0,0000	0,1758	1,7	0,04882402
12,2	0,018	0,0001	0,2028	1,8	0,05632387
12,3	0,019	0,0001	0,2321	1,9	0,06447557
12,4	0,02	0,0001	0,2639	2	0,073297
12,5	0,021	0,0001	0,2981	2,1	0,08280555
12,6	0,022	0,0001	0,3349	2,2	0,0930182
12,7	0,023	0,0001	0,3742	2,3	0,10395151
12,8	0,024	0,0001	0,4162	2,4	0,11562169
12,9	0,025	0,0001	0,4610	2,5	0,12804459
13	0,026	0,0001	0,5084	2,6	0,14123573
13,1	0,027	0,0002	0,5588	2,7	0,15521033
13,2	0,028	0,0002	0,6119	2,8	0,16998331
13,3	0,029	0,0002	0,6680	2,9	0,18556933
13,4	0,03	0,0002	0,7271	3	0,20198278
13,5	0,031	0,0002	0,7893	3,1	0,2192378
13,6	0,032	0,0002	0,8545	3,2	0,23734832
13,7	0,033	0,0003	0,9228	3,3	0,256328
13,8	0,034	0,0003	0,9943	3,4	0,27619035
13,9	0,035	0,0003	1,0690	3,5	0,29694862
14	0,036	0,0003	1,1470	3,6	0,31861591

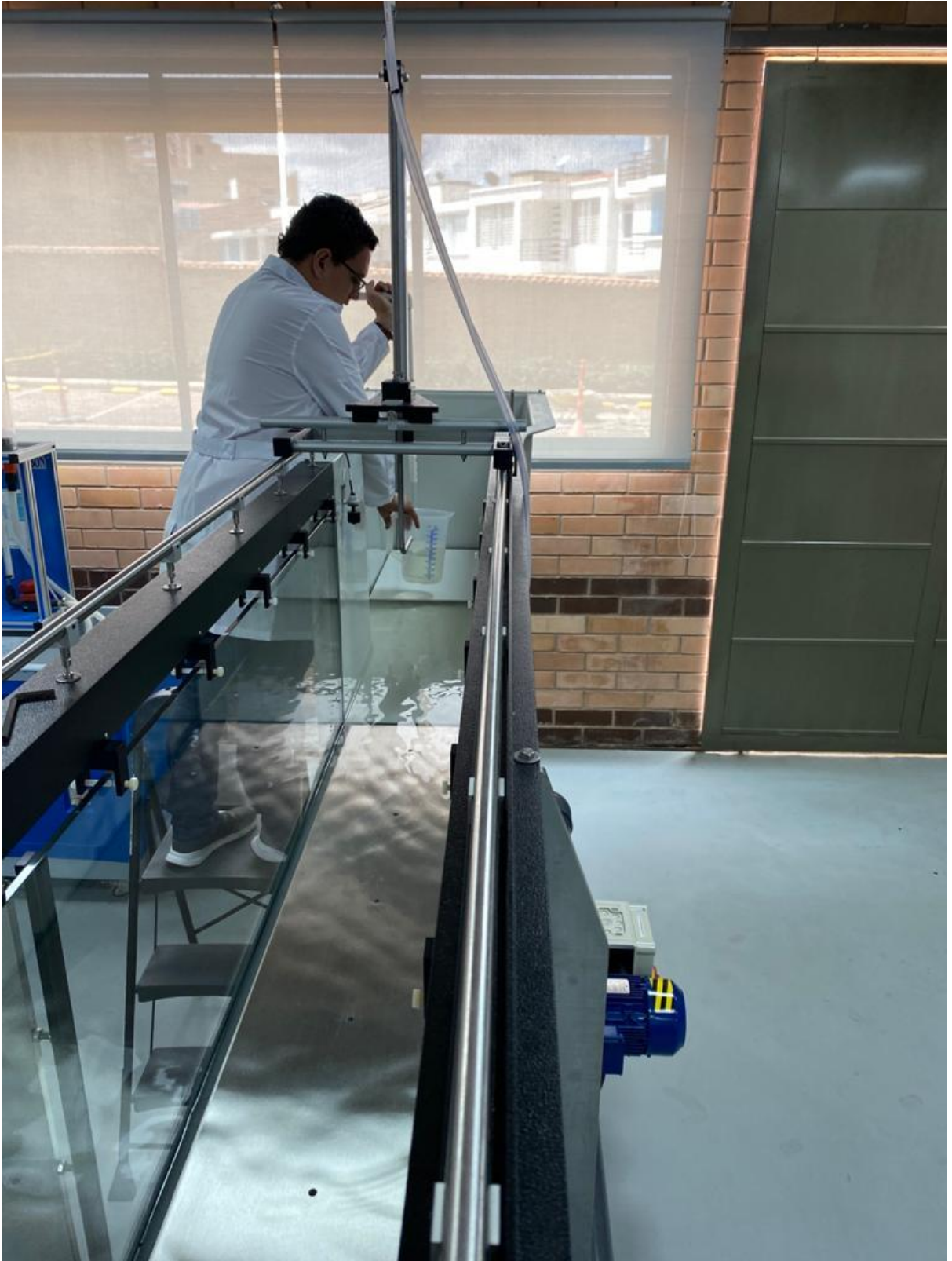
14,1	0,037	0,0003	1,2283	3,7	0,3412051
14,2	0,038	0,0004	1,3130	3,8	0,36472892
14,3	0,039	0,0004	1,4011	3,9	0,3891999
14,4	0,04	0,0004	1,4927	4	0,41463044
14,5	0,041	0,0004	1,5877	4,1	0,44103276
14,6	0,042	0,0005	1,6863	4,2	0,46841893
14,7	0,043	0,0005	1,7885	4,3	0,49680087
14,8	0,044	0,0005	1,8943	4,4	0,52619037
14,9	0,045	0,0006	2,0038	4,5	0,55659909
15	0,046	0,0006	2,1169	4,6	0,58803853
15,1	0,047	0,0006	2,2339	4,7	0,6205201
15,2	0,048	0,0007	2,3546	4,8	0,65405505
15,3	0,049	0,0007	2,4792	4,9	0,68865453
15,4	0,05	0,0007	2,6076	5	0,72432958
15,5	0,051	0,0008	2,7399	5,1	0,76109111
15,6	0,052	0,0008	2,8762	5,2	0,79894994
15,7	0,053	0,0008	3,0165	5,3	0,83791677
15,8	0,054	0,0009	3,1608	5,4	0,87800221
15,9	0,055	0,0009	3,3092	5,5	0,91921675
16	0,056	0,0010	3,4617	5,6	0,96157082
16,1	0,057	0,0010	3,6183	5,7	1,00507471
16,2	0,058	0,0010	3,7791	5,8	1,04973866
16,3	0,059	0,0011	3,9441	5,9	1,09557279
16,4	0,06	0,0011	4,1133	6	1,14258714
16,5	0,061	0,0012	4,2869	6,1	1,19079169

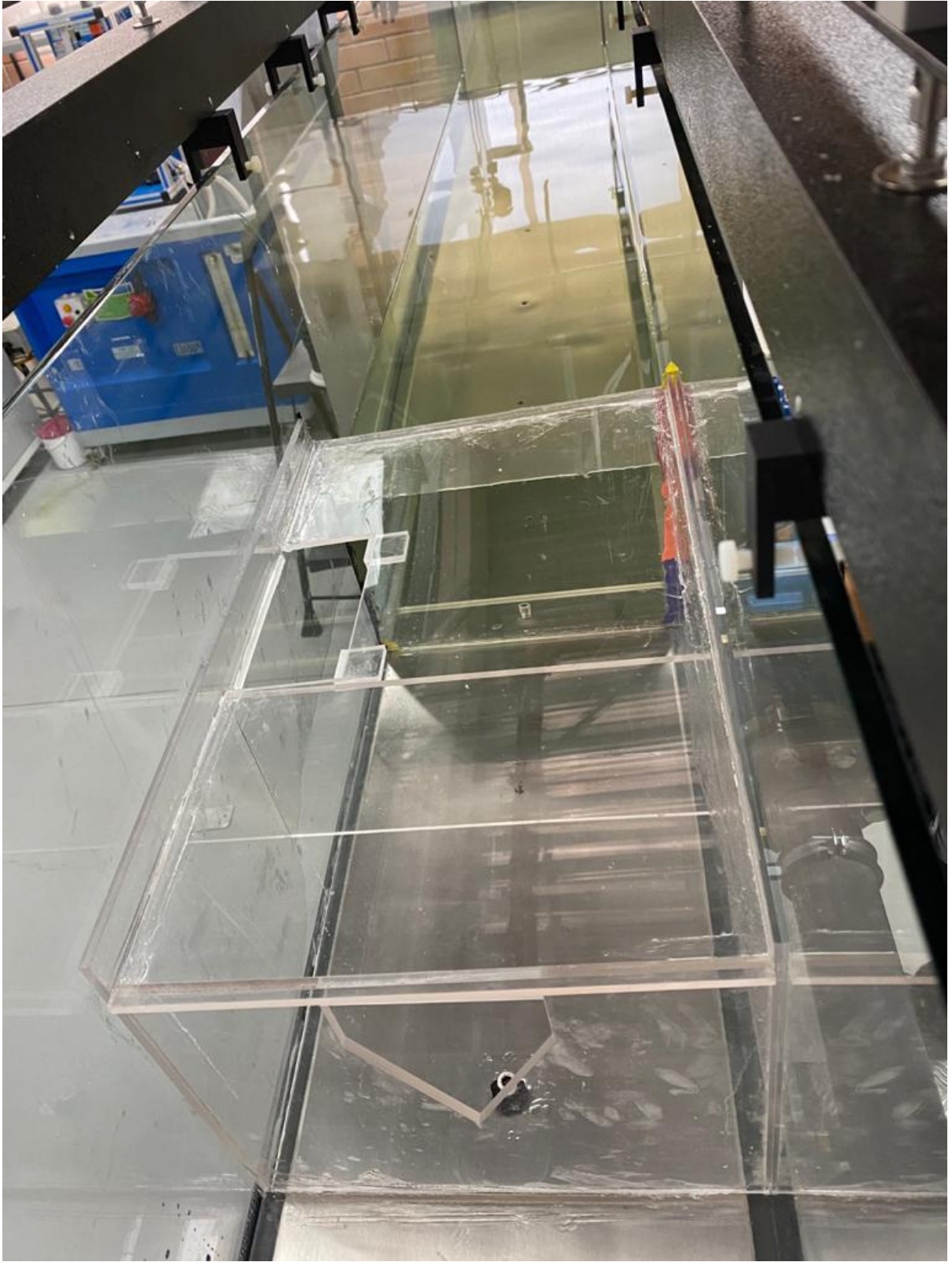
ANEXO N°2
REGISTRO FOTOGRÁFICO ENSAYOS DE LABORATORIO



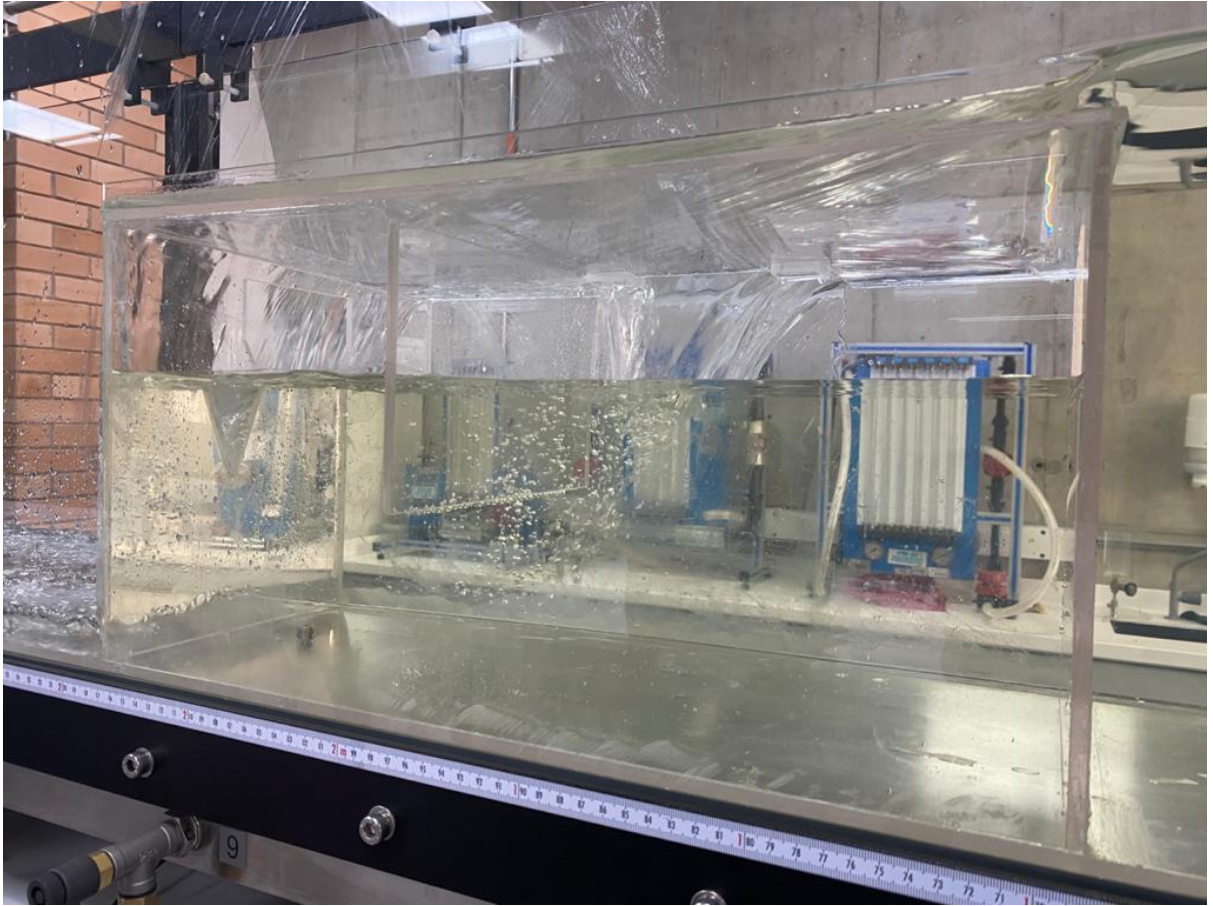


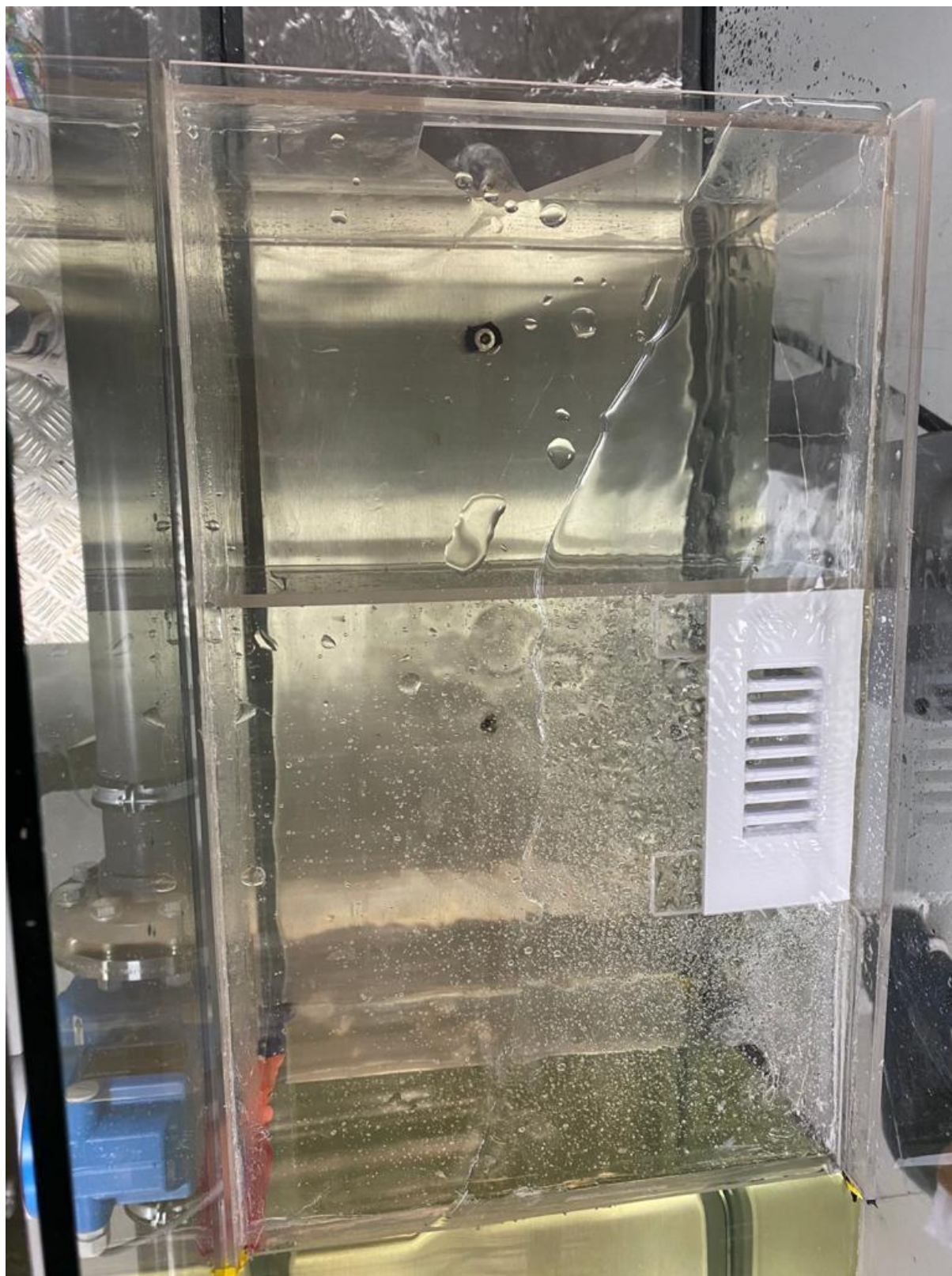


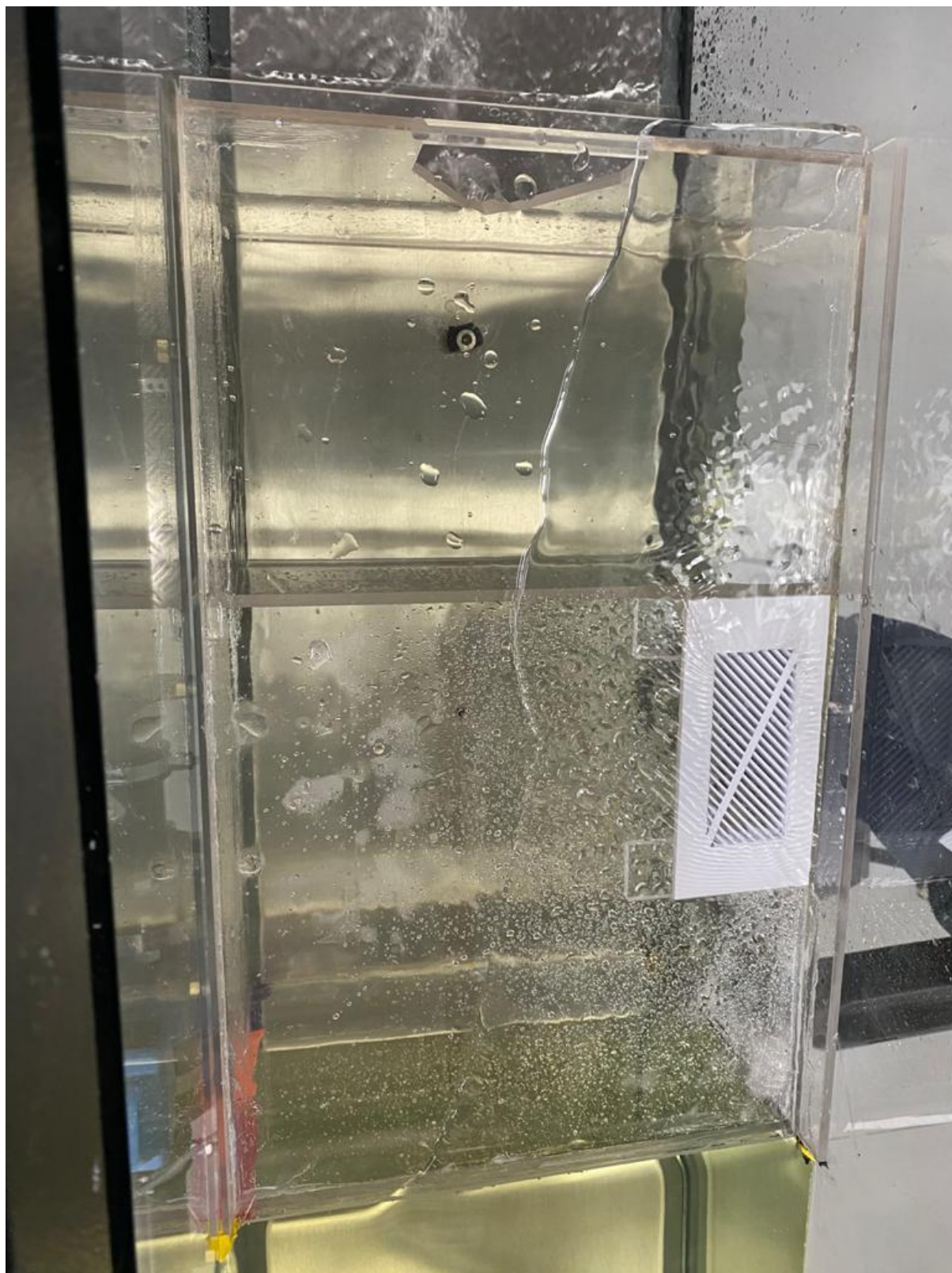




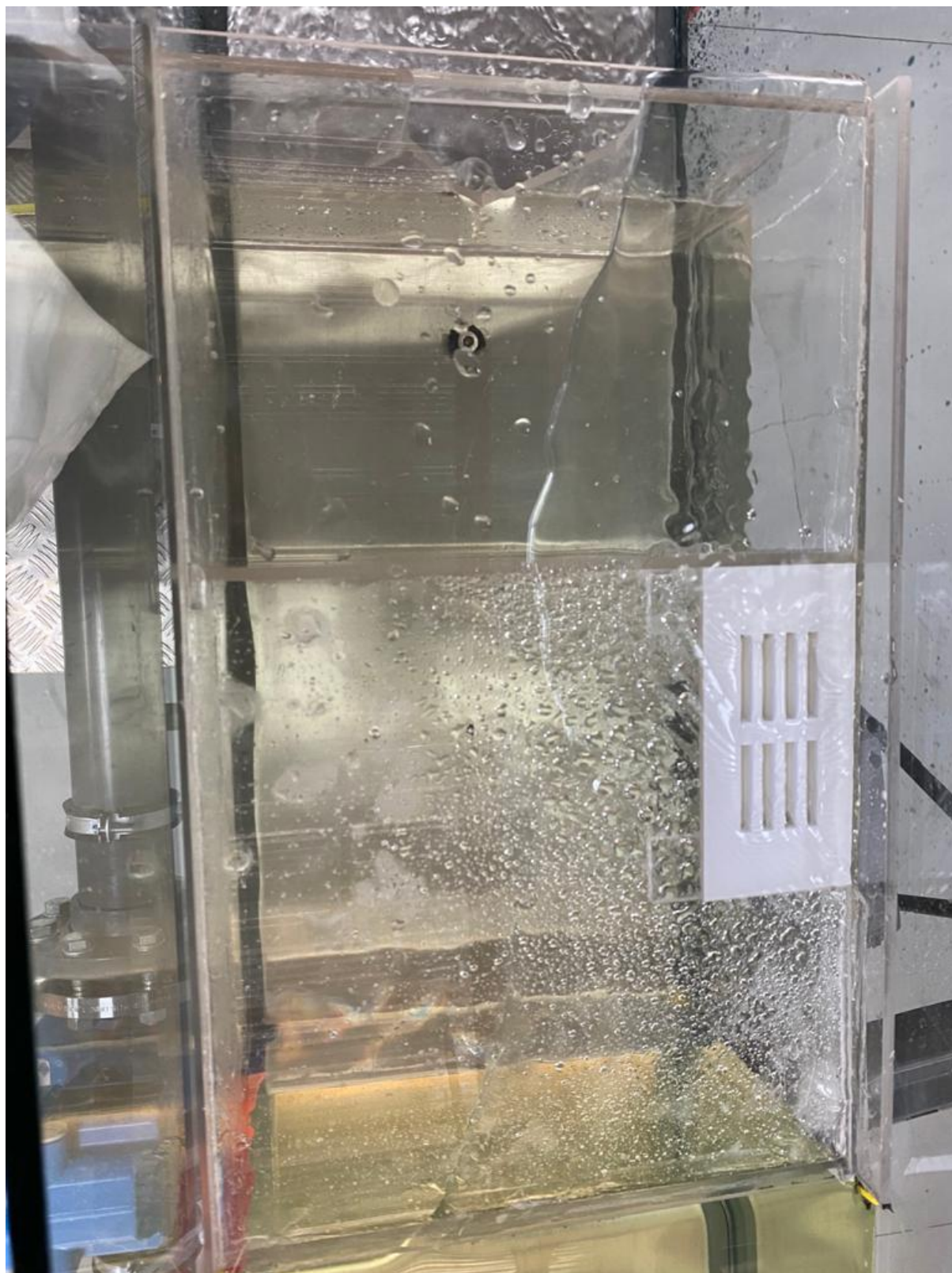


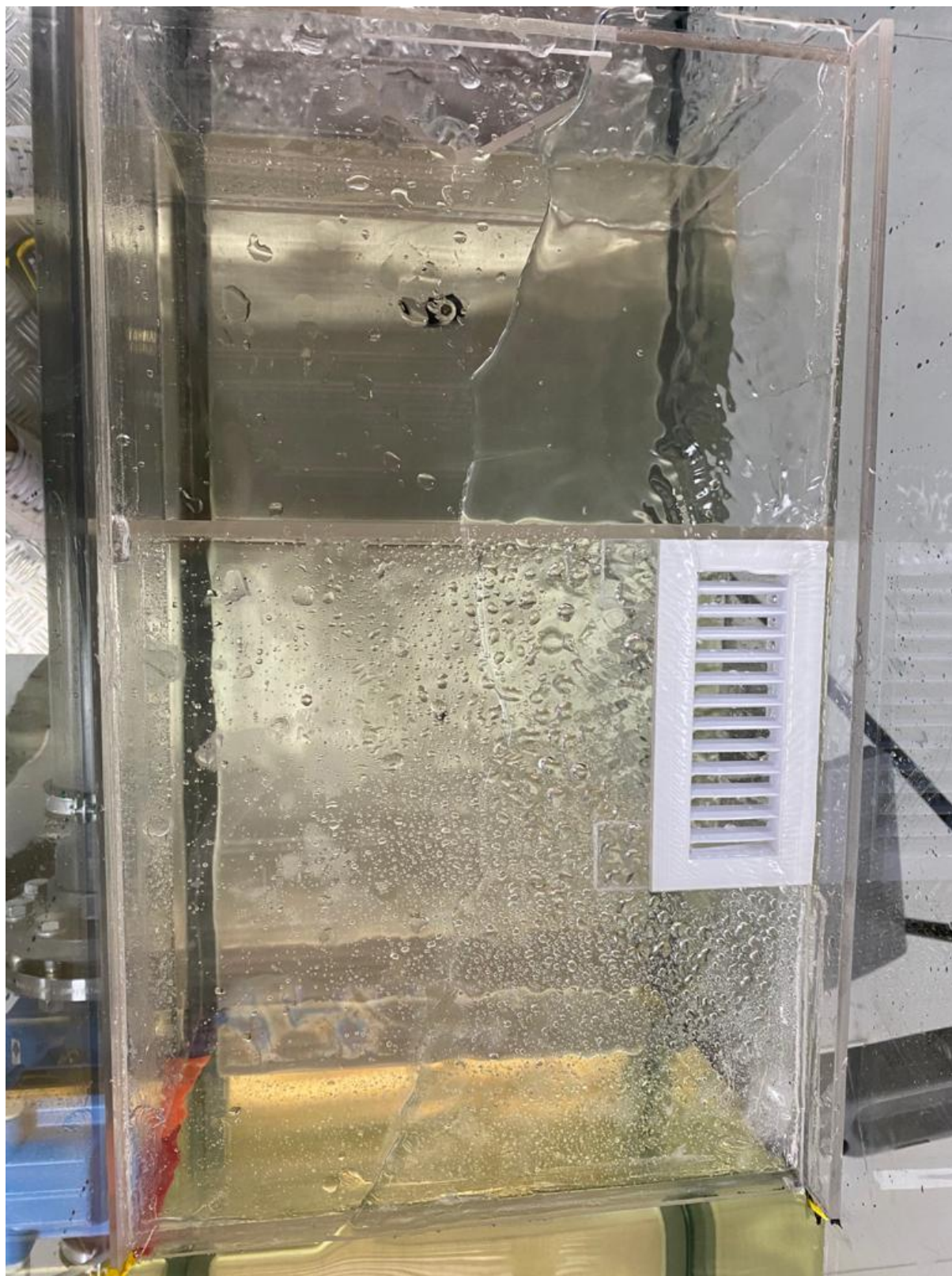












ANEXO N°3
FOTOGRAFÍA REJILLAS IMPRESIÓN EN 3D























ANEXO N°4
TABLA ANCHOS DE VÍA EXISTENTES EN EL BARRIO SANTA INÉS

DIRECCIÓN	ANCHO (M)
Carrera 5	4,91
Carrera 5a	6,2
Carrera 5a	5,12
Carrera 5	6,97
Calle 39	5,79
Calle 38	4,9
Carrera 3a	4,7
Calle 37	4,6
Carrera 3	3,9
Carrera 3b	3,56
Conjunto	3,4
Conjunto_1	4,11
Carrera 3b	3,9
Carrera 5	3,6
Carrera 5	3,2
Carrera 5	3,7
Carrera 4	3,9
Avenida	3,85
Avenida_1	3,4
Carrera 4	3,2
Carrera 4	5
Carrera 4	3,3
Carrera 4	3,3
Carrera 4	5,58
Carrera 4a	5,05
Carrera 4b	4,5
Calle 41a	4,8
Calle 42	5,73
Calle 42	5,72
Calle 43	6
Calle 43	6
Avenida_3	3,5
Avenida_4	3,5
Calle 42a	4,8
Calle 42a	6,2
Avenida	4,2
Avenida_5	7
Carrera 3b	4,8

DIRECCIÓN	ANCHO (M)
Carrera 3b	3,8
Carrera 3a	4,95
Carrera 3a	4,8
Carrera 3a	4,8
Calle 41a	3,9
Carrera 3	6,5
Carrera 3	4,6
Carrera 3	6,3
Calle 42	6
Calle 42	6,4
Calle 42a	6,35
Carrera 2b	5,9
Calle 42	4,42
Calle 42	4,42
Carrera 2a	4,6
Calle 41a	4,62
Calle 41a	3,2
Calle 41a	3,2
Carrera 2	6,3
Carrera 2	3,5
Calle 42	7
Carrera 2bis	5,73
Carrera 2	4,17
Calle 38	3,78
Carrera 1h	3,1
Carrera 1g	3,4
Carrera 1f	3,5
Calle 41a	4,1
Calle 42	4,52
Carrera 1b	4,1
Carrera 1b	4,1
Carrera 1c	5,35
Carrera 1c	4,81
Carrera 1e-1	5,2
Carrera 1e-2	7,9
Carrera 1e-3	7,8
Carrera 1e-4	6,7

ANEXO N°5
TABLA SUBCUENCAS EXISTENTES BARRIO SANTA INÉS

No.	ID SUBCUENCA SWMM	PUNTO MAS ALTO (m.s.n.m)	PUNTO MAS BAJO (m.s.n.m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE m/m	PENDIENTE %
1	3	2687,43	2687,33	58,64	0,0017	0,17%
2	4	2687,42	2687,31	53,57	0,0021	0,21%
3	10	2686,52	2686,14	114,9	0,0033	0,33%
4	13	2686,52	2685,81	201,89	0,0035	0,35%
5	14	2686,14	2685,81	79,59	0,0041	0,41%
6	16	2686,10	2685,81	100,63	0,0029	0,29%
7	17	2686,10	2685,81	96,23	0,0030	0,30%
8	20	2686,80	2686,75	18,67	0,0027	0,27%
9	21	2686,80	2686,75	18,67	0,0027	0,27%
10	25	2686,48	2686,14	105,47	0,0032	0,32%
11	26	2686,48	2686,14	105,47	0,0032	0,32%
12	27	2686,14	2686,13	28,01	0,0004	0,04%
13	28	2686,14	2686,13	28,01	0,0004	0,04%
14	29	2686,14	2685,88	57,77	0,0045	0,45%
15	30	2686,14	2685,88	60,91	0,0043	0,43%
16	36	2686,80	2686,78	20,46	0,0010	0,10%
17	37	2686,80	2686,78	20,46	0,0010	0,10%
18	39	2686,50	2686,16	104,12	0,0033	0,33%
19	40	2686,50	2686,16	107,14	0,0032	0,32%
20	43	2686,16	2685,89	60,14	0,0045	0,45%
21	44	2686,16	2685,89	70,54	0,0038	0,38%
22	45	2685,89	2685,88	27,59	0,0004	0,04%
23	46	2685,89	2685,88	38,57	0,0003	0,03%
24	49	2686,84	2686,39	112,28	0,0040	0,40%
25	50	2686,84	2686,39	108,13	0,0042	0,42%
26	55	2686,39	2686,16	27,38	0,0084	0,84%
27	53	2686,39	2686,10	88,28	0,0033	0,33%
28	54	2686,39	2686,10	92,59	0,0031	0,31%
29	56	2686,62	2686,39	27,9	0,0082	0,82%
30	59	2686,98	2686,94	23,08	0,0017	0,17%
31	60	2686,98	2686,94	23,08	0,0017	0,17%
32	63	2686,87	2686,62	81,86	0,0031	0,31%
33	64	2686,87	2686,62	81,86	0,0031	0,31%
34	67	2686,62	2686,44	80,36	0,0022	0,22%
35	68	2686,62	2686,44	71,10	0,0025	0,25%

No.	ID SUBCUENCA SWMM	PUNTO MAS ALTO (m.s.n.m)	PUNTO MAS BAJO (m.s.n.m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE m/m	PENDIENTE %
36	71	2687,06	2687,03	22,80	0,0013	0,13%
37	72	2687,06	2687,03	22,80	0,0013	0,13%
38	75	2686,87	2686,68	92,11	0,0021	0,21%
39	76	2686,87	2686,68	94,58	0,0020	0,20%
40	79	2686,68	2686,41	87,54	0,0031	0,31%
41	80	2686,68	2686,41	97,92	0,0028	0,28%
42	81	2686,44	2686,41	27,30	0,0011	0,11%
43	82	2686,8	2686,68	28,17	0,0043	0,43%
44	84	2687,11	2686,8	89,63	0,0035	0,35%
45	86	2686,8	2686,72	57,18	0,0014	0,14%
46	87	2687,02	2686,8	28,81	0,0076	0,76%
47	90	2687,35	2687,29	20,83	0,0029	0,29%
48	91	2687,35	2687,29	20,83	0,0029	0,29%
49	93	2687,35	2686,82	67,75	0,0078	0,78%
50	95	2687,35	2687,02	65,77	0,0050	0,50%
51	98	2687,02	2686,83	52,72	0,0036	0,36%
52	99	2687,02	2686,83	52,72	0,0036	0,36%
53	103	2687,36	2687,16	60,44	0,0033	0,33%
54	104	2687,36	2687,16	58,91	0,0034	0,34%
55	107	2687,16	2687	55,67	0,0029	0,29%
56	110	2686,82	2686,72	22,09	0,0045	0,45%
57	111	2686,82	2686,72	22,09	0,0045	0,45%
58	121	2686,92	2686,82	18,74	0,0053	0,53%
59	123	2686,92	2686,82	18,25	0,0055	0,55%
60	124	2686,92	2686,82	15,72	0,0064	0,64%
61	125	2686,92	2686,82	15,60	0,0064	0,64%
62	130	2687,03	2686,92	31,66	0,0035	0,35%
63	131	2687,03	2686,92	33,07	0,0033	0,33%
64	134	2687,03	2686,92	36,40	0,0030	0,30%
65	135	2687,03	2686,92	31,69	0,0035	0,35%
66	138	2686,96	2686,94	29,72	0,0007	0,07%
67	140	2686,94	2686,85	29,47	0,0031	0,31%
68	142	2686,94	2686,78	55,30	0,0029	0,29%
69	144	2686,85	2686,78	35,35	0,0020	0,20%
70	146	2686,91	2686,78	27,02	0,0048	0,48%

No.	ID SUBCUENCA SWMM	PUNTO MAS ALTO (m.s.n.m)	PUNTO MAS BAJO (m.s.n.m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE m/m	PENDIENTE %
71	148	2686,78	2686,70	36,68	0,0022	0,22%
72	150	2686,78	2686,61	60,61	0,0028	0,28%
73	152	2686,70	2686,61	28,29	0,0032	0,32%
74	154	2686,82	2686,7	33,52	0,0036	0,36%
75	156	2686,96	2686,91	58,19	0,0009	0,09%
76	157	2686,96	2686,91	58,19	0,0009	0,09%
77	159	2686,94	2686,91	27,78	0,0011	0,11%
78	163	2686,91	2686,64	63,72	0,0042	0,42%
79	164	2686,91	2686,64	63,72	0,0042	0,42%
80	168	2687,10	2686,84	60,08	0,0043	0,43%
81	169	2687,10	2686,94	60,08	0,0027	0,27%
82	174	2686,94	2686,88	25,9	0,0023	0,23%
83	175	2686,94	2686,88	34,13	0,0018	0,18%
84	179	2686,88	2686,86	7,33	0,0027	0,27%
85	180	2686,86	2686,71	30	0,0050	0,50%
86	183	2686,88	2686,71	33,88	0,0050	0,50%
87	186	2687,16	2687,14	48,20	0,0004	0,04%
88	190	2687,14	2687,07	25,11	0,0028	0,28%
89	191	2687,14	2687,10	28,40	0,0014	0,14%
90	194	2687,14	2687	38,08	0,0037	0,37%
91	196	2687,14	2687	34,54	0,0041	0,41%
92	200	2687,01	2687	37,09	0,0003	0,03%
93	201	2687,01	2687	25,91	0,0004	0,04%
94	202	2687,14	2687,1	48,20	0,0008	0,08%
95	204	2687,28	2687,14	27,90	0,0050	0,50%
96	208	2687,28	2687,01	30,81	0,0088	0,88%
97	209	2687,28	2687,01	32,34	0,0083	0,83%
98	211	2687,28	2687,01	28,75	0,0094	0,94%
99	213	2687,01	2687	5,52	0,0018	0,18%
100	216	2687,28	2687,01	33,39	0,0081	0,81%
101	219	2687,01	2686,84	59,06	0,0029	0,29%
102	220	2687,01	2686,84	55,01	0,0031	0,31%
103	221	2687,28	2687,26	6	0,0033	0,33%
104	226	2686,88	2686,84	27,55	0,0015	0,15%
105	227	2686,85	2686,84	25,47	0,0004	0,04%

No.	ID SUBCUENCA SWMM	PUNTO MAS ALTO (m.s.n.m)	PUNTO MAS BAJO (m.s.n.m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE m/m	PENDIENTE %
106	228	2686,85	2686,84	30,71	0,0003	0,03%
107	229	2686,84	2686,71	37,88	0,0034	0,34%
108	230	2686,84	2686,71	30	0,0043	0,43%
109	233	2686,52	2686,32	13,09	0,0153	1,53%
110	234	2686,40	2686,32	28,97	0,0028	0,28%
111	241	2686,52	2686,32	15,80	0,0127	1,27%
112	244	2686,59	2686,32	48,21	0,0056	0,56%
113	247	2686,39	2686,32	28,69	0,0024	0,24%
114	248	2686,75	2686,39	14,78	0,0244	2,44%
115	250	2686,44	2686,39	23,46	0,0021	0,21%
116	252	2686,75	2686,39	18,32	0,0197	1,97%
117	254	2686,44	2686,39	27,79	0,0018	0,18%
118	255	2686,44	2686,39	49,62	0,0010	0,10%
119	256	2686,54	2686,44	22,87	0,0043	0,44%
120	257	2686,44	2686,32	30,43	0,0039	0,39%
121	258	2686,59	2686,44	22,39	0,0067	0,67%
122	263	2686,59	2686,44	5,96	0,0252	2,52%
123	265	2686,83	2686,59	77,94	0,0031	0,31%
124	267	2686,83	2686,59	77,26	0,0031	0,31%
125	270	2686,59	2686,49	27,70	0,0036	0,36%
126	272	2686,84	2686,49	79,65	0,0044	0,44%
127	273	2686,84	2686,49	79,92	0,0044	0,44%
128	274	2686,91	2686,68	25,40	0,0091	0,91%
129	276	2686,91	2686,68	42,85	0,0054	0,54%
130	277	2686,91	2686,68	41,41	0,0056	0,56%
131	279	2686,55	2686,51	4,90	0,0082	0,82%
132	281	2686,55	2686,51	20,98	0,0019	0,19%
133	283	2686,68	2686,51	32,09	0,0053	0,53%
134	284	2686,53	2686,51	18,21	0,0011	0,11%
135	285	2686,68	2686,53	50,53	0,0030	0,30%
136	286	2686,53	2686,51	5,71	0,0035	0,35%
137	287	2686,53	2686,51	5,84	0,0034	0,34%
138	290	2687,42	2686,60	119,40	0,0069	0,69%
139	291	2687,42	2686,60	119,80	0,0068	0,68%
140	299	2688,43	2686,87	60,96	0,0256	2,56%

No.	ID SUBCUENCA SWMM	PUNTO MAS ALTO (m.s.n.m)	PUNTO MAS BAJO (m.s.n.m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE m/m	PENDIENTE %
141	300	2688,43	2686,87	60,64	0,0257	2,57%
142	303	2687,42	2687,40	5,71	0,0035	0,35%
143	305	2686,87	2686,76	21,09	0,0052	0,52%
144	306	2686,87	2686,76	31,87	0,0035	0,35%
145	307	2686,70	2686,62	64,33	0,0012	0,12%
146	308	2686,70	2686,62	64,72	0,0012	0,12%
147	315	2687,76	2686,76	77,36	0,0129	1,29%
148	316	2687,76	2686,76	77,20	0,0130	1,30%
149	319	2686,70	2686,57	29,03	0,0045	0,45%
150	321	2686,76	2686,57	25,23	0,0075	0,75%
151	322	2686,61	2686,57	44,43	0,0009	0,09%
152	323	2686,61	2686,57	44,70	0,0009	0,09%
153	324	2687,86	2686,98	93,17	0,0094	0,94%
154	329	2687,86	2686,98	93,84	0,0094	0,94%
155	332	2686,98	2686,76	27,84	0,0079	0,79%
156	333	2686,98	2686,81	76,80	0,0022	0,22%
157	334	2686,98	2686,81	76,16	0,0022	0,22%
158	337	2686,81	2686,73	78,65	0,0010	0,10%
159	338	2686,81	2686,73	79,39	0,0010	0,10%
160	342	2686,97	2686,61	68,15	0,0053	0,53%
161	343	2686,97	2686,61	67,75	0,0053	0,53%
162	344	2686,97	2686,95	4,86	0,0041	0,41%
163	347	2686,97	2686,95	4,70	0,0043	0,43%
164	348	2686,90	2686,88	4,43	0,0045	0,45%
165	349	2686,90	2686,88	4,63	0,0043	0,43%
166	352	2686,88	2686,62	70,72	0,0037	0,37%
167	354	2686,62	2686,61	28,26	0,0004	0,04%
168	357	2686,60	2686,44	68,19	0,0023	0,23%
169	358	2686,60	2686,44	67,27	0,0024	0,24%
170	361	2686,62	2686,6	29,69	0,0007	0,07%
171	362	2686,88	2686,86	5,18	0,0039	0,39%
172	363	2686,88	2686,86	5,10	0,0039	0,39%
173	366	2686,86	2686,53	71,05	0,0046	0,46%
174	367	2686,86	2686,53	71,85	0,0046	0,46%
175	368	2686,60	2686,53	30,05	0,0023	0,23%

No.	ID SUBCUENCA SWMM	PUNTO MAS ALTO (m.s.n.m)	PUNTO MAS BAJO (m.s.n.m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE m/m	PENDIENTE %
176	369	2686,53	2686,49	28,91	0,0014	0,14%
177	370	2686,44	2686,39	17,83	0,0028	0,28%
178	371	2687,10	2686,91	16,44	0,0116	1,16%
179	372	2687,10	2686,86	16,31	0,0147	1,47%
180	375	2686,91	2686,75	56,47	0,0028	0,28%
181	376	2686,91	2686,75	56,32	0,0028	0,28%
182	379	2686,86	2686,84	4,71	0,0042	0,42%
183	380	2686,86	2686,84	4,87	0,0041	0,41%
184	383	2686,86	2686,84	25,85	0,0008	0,08%
185	385	2686,64	2686,57	23,12	0,0030	0,30%
186	387	2686,70	2686,66	20,84	0,0019	0,19%
187	389	2686,70	2686,64	27,75	0,0022	0,22%
188	390	2686,70	2686,64	22,41	0,0027	0,27%
189	391	2686,75	2686,70	37,25	0,0013	0,13%
190	392	2687,16	2686,76	76,23	0,0052	0,52%
191	393	2687,16	2686,76	78,89	0,0051	0,51%
192	396	2687,65	2687,16	66,03	0,0074	0,74%
193	397	2687,65	2687,16	66,87	0,0073	0,73%
194	398	2687,78	2687,46	65,03	0,0049	0,49%
195	399	2687,78	2687,46	63,89	0,0050	0,50%
196	406	2687,75	2687,46	43,89	0,0066	0,66%
197	407	2687,75	2687,46	43,90	0,0066	0,66%
198	418	2688,03	2688,01	18,23	0,0011	0,11%
199	419	2688,01	2686,84	146	0,0080	0,80%
200	420	2688,01	2686,84	151,88	0,0077	0,77%
201	421	2687,28	2687,26	5,97	0,0034	0,34%
202	422	2687,28	2687,26	6,04	0,0033	0,33%
203	425	2687,28	2687,13	60,28	0,0025	0,25%
204	426	2687,28	2687,13	63,02	0,0024	0,24%
205	429	2687,41	2687,39	27,37	0,0007	0,07%
206	432	2687,41	2687,39	26,49	0,0008	0,08%
207	433	2687,49	2687,39	28,98	0,0035	0,35%
208	434	2687,49	2687,39	29,35	0,0034	0,34%
209	438	2687,39	2687,26	31,07	0,0042	0,42%
210	439	2687,39	2687,26	31,00	0,0042	0,42%

No.	ID SUBCUENCA SWMM	PUNTO MAS ALTO (m.s.n.m)	PUNTO MAS BAJO (m.s.n.m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE m/m	PENDIENTE %
211	440	2687,33	2687,26	31,30	0,0022	0,22%
212	441	2687,33	2687,26	31,94	0,0022	0,22%
213	444	2687,26	2687,13	33,92	0,0038	0,38%
214	445	2687,26	2687,13	33,33	0,0039	0,39%
215	446	2687,26	2687,18	28,72	0,0028	0,28%
216	447	2687,26	2687,18	31,58	0,0025	0,25%
217	450	2687,35	2687,18	30,45	0,0056	0,56%
218	451	2687,35	2687,18	30,93	0,0055	0,55%
219	456	2687,49	2687,15	29,37	0,0116	1,16%
220	457	2687,49	2687,15	30	0,0113	1,13%
221	460	2687,18	2687,15	34,12	0,0009	0,09%
222	461	2687,18	2687,15	28,65	0,0010	0,10%
223	463	2687,18	2687,15	31,74	0,0009	0,09%
224	464	2687,18	2687,15	26,92	0,0011	0,11%
225	473	2687,13	2687,02	57,84	0,0019	0,19%
226	475	2687,13	2687,02	21,02	0,0052	0,52%
227	477	2687,13	2687,02	38,78	0,0028	0,28%
228	479	2687,02	2686,94	34,94	0,0023	0,23%
229	480	2687,02	2686,94	39,90	0,0020	0,20%
230	486	2687,07	2686,91	57,89	0,0028	0,28%
231	487	2687,07	2686,91	57,16	0,0028	0,28%
232	490	2686,91	2686,87	40,42	0,0010	0,10%
233	491	2686,91	2686,87	40,55	0,0010	0,10%
234	494	2687,02	2686,91	29,14	0,0038	0,38%
235	495	2686,91	2686,88	30,65	0,0010	0,10%
236	496	2686,91	2686,88	33,07	0,0009	0,09%
237	502	2687,28	2686,88	58,75	0,0068	0,68%
238	503	2687,28	2686,88	58,62	0,0068	0,68%
239	504	2686,88	2686,85	28,53	0,0011	0,11%
240	505	2686,88	2686,85	32,22	0,0009	0,09%
241	507	2687,01	2686,85	58,68	0,0027	0,27%
242	508	2687,01	2686,85	58,71	0,0027	0,27%
243	512	2687,03	2686,94	25,29	0,0036	0,36%
244	516	2687,03	2686,94	32,21	0,0028	0,28%
245	517	2687,03	2687,01	3,74	0,0053	0,53%

No.	ID SUBCUENCA SWMM	PUNTO MAS ALTO (m.s.n.m)	PUNTO MAS BAJO (m.s.n.m)	LONGITUD (m)	PENDIENTE m/m	PENDIENTE %
246	518	2687,03	2687,01	3,55	0,0056	0,56%
247	519	2687,05	2687,03	29	0,0007	0,07%
248	520	2687,05	2687,03	30,36	0,0007	0,07%
249	521	2687	2686,83	33,13	0,0051	0,51%
250	523	2687	2686,83	37,14	0,0046	0,46%
251	524	2686,83	2686,72	33,16	0,0033	0,33%
252	526	2686,85	2686,84	116,16	0,0001	0,01%
253	527	2686,84	2686,44	116,16	0,0034	0,34%
254	528	2686,84	2686,73	93,24	0,0012	0,12%
255	530	2686,84	2686,73	102,07	0,0011	0,11%
256	531	2686,73	2686,61	134,76	0,0009	0,09%
257	533	2686,73	2686,61	134,76	0,0009	0,09%
258	536	2686,61	2686,59	7,38	0,0027	0,27%
259	538	2686,64	2686,61	26,95	0,0011	0,11%
260	539	2686,71	2686,64	31,00	0,0023	0,23%
261	540	2686,71	2686,64	26,70	0,0026	0,26%
262	541	2686,71	2686,64	31,22	0,0022	0,22%
263	543	2686,74	2686,71	27,62	0,0011	0,11%
264	544	2686,74	2686,71	31,93	0,0009	0,09%
265	546	2686,86	2686,83	99,92	0,0003	0,03%
266	547	2686,86	2686,7	101,01	0,0016	0,16%
267	550	2686,94	2686,87	26,74	0,0026	0,26%
268	551	2686,94	2686,87	26,59	0,0026	0,26%
269	552	2686,94	2686,93	3,62	0,0028	0,28%
270	553	2687,18	2686,94	32,39	0,0074	0,74%
271	554	2687,69	2686,94	67,22	0,0112	1,12%
272	555	2687,64	2687,18	32,78	0,0140	1,40%

ANEXO N°6
RESULTADO MODELO MATEMÁTICO EN SOFTWARE SWMM

NOTE: The summary statistics displayed in this report are based on results found at every computational time step, not just on results from each reporting time step.

Analysis Options

Flow Units LPS
 Process Models:
 Rainfall/Runoff YES
 RDII NO
 Snowmelt NO
 Groundwater NO
 Flow Routing YES
 Ponding Allowed NO
 Water Quality NO
 Infiltration Method HORTON
 Flow Routing Method KINWAVE
 Starting Date 03/18/2021 00:00:00
 Ending Date 03/18/2021 12:00:00
 Antecedent Dry Days 0.0
 Report Time Step 00:05:00
 Wet Time Step 00:05:00
 Dry Time Step 01:00:00
 Routing Time Step 30.00 sec

	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Total Precipitation	0.144	28.440
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	0.144	28.552
Final Storage	0.000	0.020
Continuity Error (%)	-0.464	

	Volume hectare-m	Volume 10 ⁶ ltr
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	0.144	1.442
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	0.078	0.776
Flooding Loss	0.067	0.671
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.000	0.000
Continuity Error (%)	-0.379	

Highest Flow Instability Indexes

All links are stable.

Routing Time Step Summary

Minimum Time Step	:	30.00 sec
Average Time Step	:	30.00 sec
Maximum Time Step	:	30.00 sec
Percent in Steady State	:	0.00
Average Iterations per Step	:	1.04
Percent Not Converging	:	0.00
