

Maestría en Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN DE LA UNIDAD DE
GESTIÓN DE ALCANTARILLADO D2-SA-SALITRE RÍO NUEVO-251,
UGA 251 DE LA ZONA 2 DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y
ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB-ESP**

Elaborado por:

Carlos Ernesto Morales Vizcaíno



Facultad de Ingeniería Civil

**Maestría en Ingeniería Civil con Énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio
Ambiente**

Bogotá D.C, Junio de 2022

EVALUACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIÓN DE LA UNIDAD DE
GESTIÓN DE ALCANTARILLADO D2-SA-SALITRE RÍO NUEVO-251,
UGA 251 DE LA ZONA 2 DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y
ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB-ESP

Trabajo de grado para optar por el título de Maestría en Ingeniería Civil con
Énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente

Directora de trabajo dirigido:

Ing. Yuly Andrea Sánchez Londoño, Esp., MSc. IC, candidata a PhD

Facultad de Ingeniería Civil

**Maestría en Ingeniería Civil con Énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio
Ambiente**

Bogotá D.C, Junio de 2022

La tesis de maestría titulada “Evaluación de Riesgos por inundación de la Unidad de Gestión de Alcantarillado D2-SA-SALITRE RIO NUEVO 251, UGA 251 de la Zona 2 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB- ESP”, presentada por Carlos Ernesto Morales Vizcaíno, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos hidráulicos y Medio ambiente.



**FIRMA DIRECTOR (A) DEL
PROYECTO:**

FIRMA JURADO 1:

FIRMA JURADO

RESUMEN

Tesis documental de estudio para la evaluación de riesgos por inundación de la Unidad de Gestión de Alcantarillado de la UGA 251, donde se presenta el estado del arte referente entorno a las amenazas, vulnerabilidades, tipos de riesgos por inundación. Se presenta el caso de estudio para el sistema de la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 de la Zona 2 de la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAAB-ESP).

AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta gran agradecimiento a la ingeniera Yuly Sánchez, por guiar y ser fuente apoyo incondicional para el desarrollo del presente trabajo de grado, además de agradecer a mis padres Luis Carlos y Martha Patricia por su apoyo económico, afectivo y moral y a mi hermana María Victoria, para cumplir un objetivo más en el transcurso de mi carrera profesional.

Adicionalmente, agradezco a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá por el suministro de la información de los metadatos de la zona de estudio y la prestación del servicio de las licencias de los programas de ingeniería ArcMap, Hec HMS y Sewer GEMS V8i.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3	REGULACION APLICABLE.....	5
4	MARCO TEÓRICO.....	7
4.1	¿QUE ES EL RIESGO.....	7
4.1.1	Riesgo sobre el proceso de prestación de los servicios públicos domiciliarios:	8
4.1.2	Riesgos generados por efecto de la prestación de los servicios públicos domiciliarios en la sociedad: 8	
4.2	¿COMO IDENTIFICAR EL TIPO DE DAÑO O PELIGRO?.....	9
4.3	¿QUE ES DAÑO POTENCIAL?	10
4.4	¿QUE ES LA VULNERABILIDAD?	11
4.5	¿COMO CARACTERIZAR LA VULNERABILIDAD?.....	11
4.6	¿COMO EL RIESGO SE ASOCIA A UN DESBORDAMIENTO?.....	12
4.7	¿COMO DETERMINAR LAS CAUSAS DE LOS FALLOS DEL FUNCIONAMIENTO?....	12
5	SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	13
5.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	13
5.1.1	Tuberías.....	15
5.1.2	Pozos	17
6	ANÁLISIS HIDROLÓGICO:.....	19
6.1	MODELACIÓN HIDROLÓGICA.....	19
6.1.1	Método Soil Conservation Service (SCS).....	20
6.2	PROPIEDADES DE LA SUB-CUENCA	23
6.2.1	Delimitación de áreas de drenaje	23
6.2.2	Porcentaje de área impermeable y Número de Curva (CN).....	24
6.2.3	Tiempo de concentración y tiempo de rezago.....	25
6.3	TORMENTAS DE DISEÑO	26
6.4	PROCESO DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA	29
	Restricciones:	30
6.4.1	Crear un nuevo proyecto:	30
6.4.2	Crear componente:	31

6.4.3	Exportar las capas de los metadatos utilizados:	32
6.4.4	Definir las características de la Cuenca o el elemento hidráulica en intervención	33
6.4.5	Agregar los datos de precipitación	34
6.4.6	Creación del componente meteorológico	35
6.4.7	Creación de archivo de control	36
6.4.8	Correr el programa	37
6.4.9	Resultados Modelación Hidrológica	38
6.5	CAUDAL DE DISEÑO	41
6.6	OBSERVACIONES:	41
7	DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO	41
7.1.1	Reporte de inconsistencias	42
7.1.2	Modelación Hidráulica	42
7.1.3	Software empleado	44
7.1.4	Asignación de caudales	45
7.1.5	Parámetros de evaluación	47
7.1.6	Resultados escenario pluvial	51
8	APLICACIÓN ARITMÉTICA DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL RIESGO DE INUNDACION	55
8.1	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE DIAGNOSTICO HIDRAÚLICO	55
8.1.1	Probabilidad de peligro para esfuerzo cortante (Velocidad mínima)	55
8.1.2	Probabilidad de peligro para esfuerzo cortante para el 10% de capacidad de llenado (Velocidad mínima)	56
8.1.3	Probabilidad de peligro para la relación máxima de llenado y/D	57
8.2	INTENSIDAD DE PELIGRO PARA LA SIMPLIFICACIÓN DE LA UGA 251 DE ALCANTARILLADO PLUVIAL	58
8.3	VULNERABILIDAD DE LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA UGA 251	59
8.4	ELEMENTOS DE RIESGO, LA CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA ASOCIADA A LA VULNERABILIDAD	60
8.5	DIAGNÓSTICO DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR EFECTO DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS PARA LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA UGA 251 SIMPLIFICADA	61
8.6	APLICACIÓN GRÁFICA DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR RIESGO POR INUNDACIÓN	63
8.6.1	Simplificación del área, red de alcantarillado y sumidero de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP	66
8.6.2	Experimentación del Método gráfico de diagnóstico de riesgo por inundación	67

9	ALTERNATIVAS PARA REDUCIR O MITIGAR LOS RIESGOS POR INUNDACIÓN DE RED PLUVIAL DE ALCANTARILLADO DE LA UGA 251 DE LA ZONA 2 DE BOGOTÁ.....	71
9.1	Alternativas por el método aritmética de evaluación de riesgo por inundación para ls red pluvial del alcantarillado de la UGA 251 simplificada.....	71
9.1.1	Alternativa 1.....	73
9.1.2	Alternativa 2.....	73
9.1.3	Alternativa 3.....	74
9.2	Alternativas por el método gráfico de evaluación de riesgo por inundación para la red pluvial de alcantarillado de la UGA 251 simplificada.....	74
9.2.1	Alternativa 1.....	75
9.2.2	Alternativa 2.....	76
9.2.3	Alternativa 3.....	76
10	CONCLUSIONES	77
10.1	Conclusión por el método aritmético de evaluación de riesgo por inundación para las redes de alcantarillado pluvial de la UGA 251 simplificada.....	77
10.2	Conclusión por el método gráfico de evaluación de riesgo por inundación para la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 simplificada.....	79
10.3	Conclusión cooperativa entre los métodos de evaluación de riesgo por inundación de la red de alcantarillado pluvial para la UGA 251 simplificada.....	80
11	ANEXOS	81
12	BIBLIOGRAFÍA	83

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Árbol del problema por riesgos de inundación.....	5
Ilustración 2. Localización de la UGA 251 de la Zona 2 de Bogotá.....	14
Ilustración 3. Sistema de alcantarillado pluvial de la UGA 251	15
Ilustración 4. Gráfico de Porcentajes de Distribución de redes por material UGA 251 Simplificada.....	16
Ilustración 5. Porcentaje de Distribución de red pluvial por diámetro de la UGA 251 Simplificada.....	17
Ilustración 6. Gráfico de porcentaje de estado de pozos de la red pluvial UGA 251 Simplificada ...	18
Ilustración 7. Porcentaje de material por los pozos de la red pluvial de la UGA 251 Simplificada ..	19
Ilustración 8. Método de abstracciones del SCS	20
Ilustración 9. Esquema del Hidrograma unitario del SCS.....	23
Ilustración 10. Áreas de drenaje Simplificada de la UGA 251 de la Zona 2 EAAB-ESP	24
Ilustración 11. Distribución temporal de Tormentas.....	28
Ilustración 12. Hietograma de diseño Tr 10 años UGA 251 Simplificada	29
Ilustración 13. Condiciones de frontera del modelo hidrológico del software Hec HMS 4.6.....	30
Ilustración 14. Crear un nuevo proyecto en Hec HMS.....	31
Ilustración 15. Herramienta para crear componente	31
Ilustración 16. Capas de los metadatos de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP	32
Ilustración 17. Características de edición para el Método SCS.....	33
Ilustración 18. Edición de Serie de Tiempo para las Precipitaciones.....	34
Ilustración 19. Procedimiento para la creación del componente meteorológico y sus especificaciones	36
Ilustración 20. Procedimiento para crear un archivo de control.....	37
Ilustración 21. Corrida del programa con los parámetros anteriormente ejecutados	37
Ilustración 22. Tabla de los resultados globales de la UGA 251 Simplificada.....	39
Ilustración 23. Hidrograma Unitario para el sumidero PSR130469	39
Ilustración 24. Hidrograma Unitario para el sumidero PSR132235	40
Ilustración 25. Hidrograma Unitario para el sumidero PSR128350	40
Ilustración 26. Condiciones de frontera del modelo hidráulico del software SewerGEMS	46
Ilustración 27. Esfuerzo Cortante escenario pluvial actual	51
Ilustración 28. Esfuerzo Cortante escenario pluvial actual con capacidad de llenado 10 % a tubo lleno	52
Ilustración 29. Relación de llenado y/D Escenario pluvial actual.....	53
Ilustración 30. Velocidad máxima escenario pluvial actual	54
Ilustración 31. Diámetro mínimo escenario pluvial actual.....	54
Ilustración 32. Resultados Esfuerzo cortante (Velocidad mínima)	56
Ilustración 33. Resultados de esfuerzo cortante para 10% de capacidad de llenado (Velocidad mínima)	57
Ilustración 34. Resultados de la relación máxima de llenado (y/D).....	58
Ilustración 35. Barrios y Elementos de riesgo Red Local Pluvial UGA 251 Simplificada	61
Ilustración 36. UGA 251 y sus barrios aledaños	64
Ilustración 37. Red de Alcantarillado Pluvial de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP	65
Ilustración 38. Red pluvial de la UGA 251 Simplificado	67
Ilustración 39. DEM de Densidad de Kernel para clasificación de riesgos por inundación	68
Ilustración 40. Método Gráfico para clasificar riesgos por inundación.....	69

Ilustración 41. % de áreas afectadas a partir de la calificación de riesgo por el método gráfico.....	70
Ilustración 42. Distribución de archivos y anexos	82

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	8
Ecuación 1.....	21
Ecuación 2.....	21
Ecuación 3.....	21
Ecuación 4.....	22
Ecuación 5.....	22
Ecuación 6.....	23
Ecuación 7.....	25
Ecuación 8.....	25
Ecuación 9.....	25
Ecuación 10.....	26
Ecuación 11.....	26
Ecuación 12.....	26
Ecuación 13.....	26
Ecuación 14.....	28

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de intensidad en función de altura de agua	10
Tabla 2. Elementos de riesgo asociado a un puntaje de vulnerabilidad	12
Tabla 3. Distribución de redes por material de la UGA 251 Simplificada	16
Tabla 4. Distribución de red pluvial por diámetro de la UGA 251 Simplificada	17
Tabla 5. Estado de pozos red pluvial de la UGA 21 Simplificado	18
Tabla 6. Distribución de material por pozos de la red pluvial UGA 251 Simplificada.....	18
Tabla 7. Ecuaciones de velocidad de entrada	26
Tabla 8. Coordenadas, Coeficientes e Intensidades para Curvas IDF	27
Tabla 9. Tramos de la red pluvial que presentan contrapendiente	42
Tabla 10. Valores de coeficiente de rugosidad Manning n para conductos cerrados	47
Tabla 11. Velocidad máxima permitida en conductos cerrados del sistema de alcantarillado	48
Tabla 12. Relación máxima de tubo y/D para sistemas pluviales	49
Tabla 13. Clasificación de intensidad en función de altura de agua.....	58
Tabla 14. Elementos de riesgo asociado a puntaje de vulnerabilidad	60
Tabla 15. Clasificación de Riesgos por inundación.....	62
Tabla 16. Resultados de diagnóstico de riesgos por inundación para la UGA 251 Simplificada.....	63
Tabla 17. Calificación riesgo por inundación por el método gráfico	69
Tabla 18. Tramos de la red pluvial de la UGA 251 simplificada que no cumplieron el parámetro de Esfuerzo Cortante y Esfuerzo cortante (10 % de capacidad de llenado $\geq 3 \text{ N/m}^2$	71
Tabla 19. Tramos de red pluvial de la UGA 251 simplificada que no cumplieron el parámetro de capacidad de llenado $> 80\%$.....	72

GLOSARIO

Alcantarillado Pluvial: Es el sistema compuesto por las instalaciones e infraestructura a la evacuación, recolección, conducción de aguas lluvias, drenaje de la escorrentía superficial, con el fin de controlar las crecientes y mitigar el riesgo por inundación en temporada de invierno de acuerdo con las condiciones topográficas, hidrológicas y socioeconómicas. (EAAB-ESP, 2018)

Amenaza: Peligro latente, que se manifiesta de fenómenos físicos de origen natural, socio natural o antropogénico, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción de bienes, servicios e infraestructura. (FGR, 2018).

DEM: Modelo digital de terreno.

Diagnóstico: Procedimiento ordenado, sistemático, para conocer o establecer de manera concisa una circunstancia, mediante observaciones y datos concretos. El diagnóstico conlleva siempre a una valoración en relación con objetivos. El término incluye en su raíz el vocablo griego 'gnosis', que significa conocimiento. (DEPOIS, 1993)

Evaluación: Es la acción de juzgar o medir un procedimiento, es decir, de indicar que tan positivamente o negativamente, se aproximó al objetivo de un plan o un proyecto trazado (RAE, 2019).

Inundación: Acumulación temporal de agua fuera de los cauces y áreas de reserva hídrica de las redes de drenaje. Se presentan debido a que los causes de escorrentía, sobrepasan la posibilidad de retención e infiltración del suelo y/o la capacidad de transporte de los canales (FOPAE, 2011).

Riesgo: Término que corresponde a los daños o pérdidas potenciales, que surgen, a causa de los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-naturales, tecnológicos, biosanitarios, humanos no intencionales, en un período específico y que se indican, por la vulnerabilidad de los elementos expuestos, por este motivo, el riesgo de desastre se deriva del producto de la amenaza y la vulnerabilidad (Congreso de Colombia, 2012).

Unidad de Gestión de Alcantarillado (UGA): Red hídrica menor de un territorio proveniente de subcuencas que comparten una estructura de drenaje, depende del tipo de alcantarillado puede ser pluvial (Hay 463 en Bogotá) o sanitarias (Hay 457 en Bogotá). (EAAB-ESP, 2016).

Vulnerabilidad: Se considera como la susceptibilidad o predisposición que generan diversos componentes de estructuras de acueducto, alcantarillado y aseo, frente a las amenazas que las perjudican y su capacidad de sobreponerse al impacto de un evento alarmante (Congreso de Colombia, 2012).

1 INTRODUCCIÓN

El presente proyecto académico se ha desarrollado, teniendo en cuenta que la lluvia es un factor amenazante para la población de vital importancia, que causa inundaciones, afectando bienes económicos y viviendas, haciendo difícil el drenaje de las aguas lluvias y residuales mediante los sistemas de alcantarillado. Una de las zonas inspeccionadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP) por tener alta vulnerabilidad por riesgo de inundación es la Zona 2.

La red de alcantarillado pluvial de la Unidad de Gestión del Riesgo (UGA) 251 de la Zona 2, está compuesta por un área de 101,17 hectáreas, la cual hace parte de la Cuenca el Salitre y a su vez de la subcuenca Río Nuevo, el servicio hídrico de aguas lluvias abastece a 4 barrios: Las Ferias, Metrópolis, Bellavista Occidental y José Joaquín Vargas. Esta red, tiene 14,102 kilómetros de red local distribuidos en 264 tramos y 1,908 kilómetros de red troncal, además de contar con 290 pozos y 442 sumideros respectivamente.

Para la evaluación de los riesgos por inundación, en primer lugar se debe realizar un análisis hidrológico de la zona de estudio; a través de la aplicación de un modelo lluvia escorrentía, utilizando la norma NS-085 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá para verificar el comportamiento de la red y así estimar el caudal de diseño óptimo para que el servicio de alcantarillado pluvial, cumpla las expectativas para que la población ubicada en esta Unidad de Gestión de Alcantarillado no sea afectada por el fenómeno de inundación.

En segundo lugar, se debe hacer un análisis hidráulico de la zona de estudio mediante una modelación, con el fin de diagnosticar la capacidad y los componentes del sistema de la red de alcantarillado pluvial y dimensionar alternativas de diseño conceptual evaluando su comportamiento a corto, mediano y largo plazo.

En tercer lugar, verificar el caudal de diseño hallado en la etapa hidrológica del proyecto, siendo el dato más importante para realizar la modelación hidráulica de la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 y posteriormente con el reporte de los parámetros de la evaluación de diagnóstico hidráulico de la red. Finalmente, con los datos encontrados en el reporte de la modelación, se llega a la etapa más importante del proyecto de grado, que es el diagnóstico de riesgos por inundación de la Unidad de Gestión de Alcantarillado UGA 251 de la Zona 2 de Bogotá.

En las etapas de análisis hidrológico y modelación hidráulica, se basaron en las normas NS-085, NS-047 y la Resolución 330 de 2017, debido a que son las normas que definen las directrices para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario de la capital de Colombia, tanto para proyectos tipo expansión como para proyectos que requieren reemplazo o la sustitución de sistemas existentes por redensificación, cambio de uso del suelo, capacidad hidráulica y estructural de la red. (NS-085, 2013).

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La lluvia es un factor amenazante de gran importancia en la generación de inundaciones. En Colombia, está el antecedente de la temporada invernal del año 2008, donde más de 1 millón de colombianos (aproximadamente el 6% de los suscriptores de alcantarillado en el país) vieron afectadas sus viviendas y tuvieron dificultad con el drenaje de las aguas residuales y pluviales

mediante los sistemas de alcantarillado, producto de las inundaciones registradas en las áreas urbanas. Causando además pérdidas relacionadas a eventos climáticos, durante los años 2007-2008 en el país, alcanzando un valor de \$14.8 mil millones (SSPD, 2009). Lo anterior muestra que este riesgo natural impacta todo el sistema de alcantarillado de redes pluviales y sanitarias urbanas.

La ciudad de Bogotá actualmente presenta localidades con puntos de riesgos de inundación. Por ello, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP) ha identificado los problemas más frecuentes que ocurren dentro de las redes de dichas localidades identificando que los más comunes son: las obstrucciones del sistema, la pérdida de capacidad de las redes, las roturas y las conexiones erradas con los tres sistemas de alcantarillado (IDIGER, 2019).

Una de las zonas identificadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá por tener una alta vulnerabilidad por riesgo de inundación es la Zona 2, localizada en el centro-occidente de la capital del país y principalmente la Unidad de Gestión de Alcantarillado 251 (UGA 251).

Después de realizar un diagnóstico y una evaluación hidráulica al sistema de alcantarillado pluvial de sus redes existentes, se puede realizar un análisis y determinar los posibles riesgos por inundación que padecen los habitantes del sector en los períodos invernales, por posible colapso del sistema de drenaje.

Dependiendo de las causas que generan las inundaciones, éstas se pueden clasificar de la siguiente manera (FOPAE, 2011):

Inundación por desbordamiento: Es la consecuencia del exceso de lluvias, generado por un aumento brusco del volumen de agua que supera su capacidad de transporte de cauce durante la creciente.

Inundación por encharcamiento: Generada por la acumulación de agua lluvia en un lugar determinado o área geográfica, que contiene dificultades de drenaje ya sea por colmatación o fallas operativas del sistema de alcantarillado. No necesariamente coincide con el desbordamiento de un cuerpo de agua, que ocurre por la concentración de un elevado volumen de lluvia, en un tiempo muy breve o por una lluvia moderada durante un largo tiempo.

Inundación por reflujo: Se presenta cuando la elevación del nivel de agua en la entrega de un cuerpo de hídrico produce el remanso o reflujo de aguas, limitando el drenaje (retorno de aguas de alcantarillas o desagües).

Inundación por rompimiento de jarillones o presas: Ocurre cuando se presenta la falla de alguna de estas estructuras y el agua contenida por ellas, pasa a ocupar sus zonas de influencia.

Inundación por marejadas: Es la que se presenta en las zonas costeras, por el ascenso del nivel del mar el cual puede ser por marejadas, las cuales se originan por efectos de atracción lunar y vientos fuertes de origen hidrometereológico.

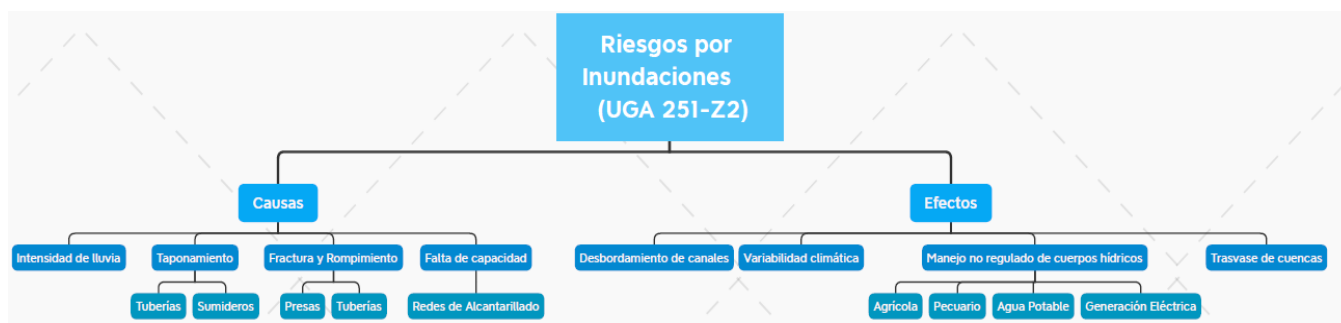
Se refiere a creciente que suceden de manera repentina debido al alta pendiente del río o de la quebrada y su cuenca. En ocasiones se produce el arrastre de una gran cantidad de material, como detritos (lodos, piedras y árboles).

Inundación lenta: Se produce cuando hay un aumento gradual de nivel del río hasta superar su capacidad máxima. El río se sale de su cauce inundando las áreas planas cercanas al mismo.

Inundación fluvial: Se produce cuando el nivel de un río, un lago o un arroyo supera su capacidad y se desborda hacia las orillas y las costas o tierras vecinas circundantes. (Zurich Group, 2020).

Según el tipo de inundación identificado se pueden determinar las causas y efectos que presenta este fenómeno como se muestra la **Ilustración 1** del árbol del problema.

Ilustración 1. Árbol del problema por riesgos de inundación



Fuente: IDIGER, 2016

Se debe tener en cuenta que las inundaciones, no deben ser vistas sólo como eventos negativos, debido a que estas también se asocian con eventos relacionados con la renovación de la humedad del suelo, transporte de nutrientes a zonas aluviales, recarga de acuífero, migración de varias especies, actividades de socavación y depositación de los ríos, como producto del equilibrio que los cauces realizan de los sedimentos transportados (FOPAE, 2011).

3 REGULACION APLICABLE

Para realizar el análisis hidrológico, la modelación hidráulica y la verificación del diseño de la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251, se tomaron como referencias los lineamientos de los siguientes documentos normativos:

Norma Técnica de Servicio 085 de la EAAB-ESP (NS-085 Versión 3.1): Esta norma define las directrices para el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario de la ciudad, tanto para proyectos tipo expansión como para proyectos que requieren el reemplazo o la sustitución de sistemas existentes por redensificación o cambio en el uso del suelo (EAAB-ESP, 2009)

Norma Técnica de Servicio 047 de la EAAB-ESP (NS-047 Versión 4.2): Esta norma establece los requisitos y esquemas típicos para la construcción de sumideros y la metodología de ubicación de los mismos para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (EAAB-ESP, 2006).

Reglamento técnico de agua y saneamiento RAS 2021. Resolución 799 de 2021: La Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. La cual modifica la Resolución 330 de 2017. (Resolución 799, 2021).

Herramienta metodológica para la formulación de programas de gestión del riesgo de desastres del Ministerio de Vivienda de 2014: Tiene como objetivo aportar una herramienta a las entidades prestadoras de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, con el fin de orientar la elaboración e implementación de los programas de gestión del riesgo de desastres asociados a las zonas de estudios (Gobierno de Colombia, 2014).

Metodología para evaluar los riesgos de Gobierno de Colombia de 2018: Tiene como objetivo ofrecer una metodología para realizar la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, en el proceso de formulación de proyectos de inversión pública, en relación con los siguientes eventos amenazantes: inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales, erosión costera, entre otros. Además es una herramienta que busca facilitar el cumplimiento de los requerimientos normativos relacionados con la gestión del riesgo de desastres y la gestión del cambio climático en la formulación de proyectos de inversión pública. (Gobierno de Colombia, 2018).

4 MARCO TEÓRICO

4.1 ¿QUE ES EL RIESGO

El riesgo puede manifestarse por el grado de daños causados por un fenómeno natural (Varnes.1984). En primera instancia se caracteriza por un fenómeno capaz de afectar físicamente estructuras o materiales, que llega a causar el peligro al que se le puede atribuir una probabilidad de ocurrencia y una intensidad. En el caso de la zona simplificada en estudio, el riesgo corresponde a las posibles inundaciones y desbordamientos que puede ocurrir en la red de alcantarillado pluvial. Dependiendo del contexto local o zonal del área afectada: la población, inmuebles o malla vial, entre otros, contribuirán al aumento o disminución del riesgo. Se debe considerar la vulnerabilidad en el diagnóstico del riesgo, es decir, la propensión de sufrir daños físicos, materiales o humanos.

Para poder diagnosticar el riesgo se requiere tener en cuenta los factores de peligro, amenaza y vulnerabilidad, la metodología tiene diversos componentes de riesgo (Barroca, 2006), (Gilard, 1998), (Glade, 2003). Se mantendrá la definición propuesta por Tira (1997) del acoplamiento de la investigación sobre riesgos asociados a la geología y a la inundación en Italia (Delmonaco, 2000). Este enfoque permite determinar de manera cualitativa a una sola variable de riesgo R y se disocia claramente a las características de peligro, amenaza y vulnerabilidad:

La gestión del riesgo asume como un proceso social, acorde a las disposiciones de la ley marco de la gestión de desastres del país (Congreso de Colombia, 2012), compuesta a su vez, por en 3 pilares: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres.

Entorno a la perspectiva sectorial de la prestación de los servicios públicos domiciliarios y con el fin de lograr un enfoque integral, es indispensable tomar en cuenta, la evaluación de dos enfoques de riesgo:

$$R = P * I * V * E$$

Ecuación 1

R = Riesgo, grado de daño causado, P= Probabilidad de ocurrencia de peligro, I= Intensidad de amenaza, Vulnerabilidad de los problemas y E= Elementos asociados a la vulnerabilidad (Wu et al, 1996)

4.1.1 Riesgo sobre el proceso de prestación de los servicios públicos domiciliarios:

Los sistemas de prestación de los servicios públicos en sus diversos componentes, se ubican en usual interacción con el medio en el cual se emplazan, de manera que las características de ese entorno pueden representar un factor de amenaza, además las características de este sistema, pueden supeditarse o exponerse a impactos negativos o niveles de pérdidas.

4.1.2 Riesgos generados por efecto de la prestación de los servicios públicos domiciliarios en la sociedad:

Se llegan a desarrollar factores de riesgo mediante falencias en el diseño, instalación y funcionamiento de los sistemas de prestación de los servicios públicos, como desestabilización de terrenos, contaminación de fuentes hídricas y suelo, así como enfermedades de transmisión hídrica. Además, se determinan los riesgos generados por la deficiencia en la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en una situación de emergencia. (Ministerio de Vivienda, 2014).

4.2 ¿COMO IDENTIFICAR EL TIPO DE DAÑO O PELIGRO?

Existen 2 tipos de desbordamientos que causan daños por el riesgo de inundación:

- **Desbordamiento por intensidad de lluvias:** Corresponde a la carga de escorrentía urbana intensa y localizada de la red de alcantarillado, la cual no es suficiente para absorber la cantidad de lluvia escurrida (Certu, 2003). Teniendo en cuenta factores como intensidad y ocurrencia previamente con un modelo hidrológico.
- **Desbordamiento por mal funcionamiento operativo de la red de alcantarillado:** Es causado por un funcionamiento negativo de la red por obstrucción, colmatación, falla estructural, falla mecánica, entre otros. La lluvia que cae normalmente, no debería llevar a cabo una inundación, el modelo hidráulico previamente realizado, diagnostica parámetros tales como velocidades (máximas, mínimas), dimensionamiento de la red, esfuerzo cortante requerido con la capacidad de llenado al 10% o en su totalidad, relación máxima de llenado de la tubería y así poder evaluar alternativas para poder solucionar los problemas causados y evitar las inundaciones.

La intensidad (I) de peligro depende de varios factores. Una de ellas, es el hecho que la magnitud característica de mayor consideración es la altura de la lámina de agua (Degiorgis,2006). Otras variables como la duración del evento, la velocidad del agua, la cantidad de material transportado, la presencia de materiales tóxicos, también pueden tener un alto impacto de riesgo. Agregando que, el hecho que sean difíciles de estimar estas variables, como fuertemente correlacionado con la altura de la lámina de agua (Messner, 2006), entonces se ignora en tal análisis. No obstante, algunos autores proponen metodologías que integran estos factores como variables secundarias en la determinación del riesgo (Penning-Roswell et al, 2005). Se debe considerar la altura de lámina de agua, como el único parámetro determinante para definir la intensidad de peligro, a cada inundación se le asigna una calificación de intensidad, de acuerdo a la profundidad de inundación.

Según estudios de consultores y expertos, se ha definido el umbral de altura de agua de la siguiente manera en la **Tabla 1**:

Tabla 1. Clasificación de intensidad en función de altura de agua

Nivel de Altura de agua	Nota de calificación	Criterio
5 cm <	1	Intensidad Baja
5 cm < h < 30 cm	5	Intensidad Media
> 30 cm	10	Intensidad Alta

Fuente: Granger, 2009

4.3 ¿QUE ES DAÑO POTENCIAL?

Se refiere a aquello que afecta las áreas afectadas por las inundaciones, lo que perjudica la economía local o nacional, además el medio ambiente o natural, las personas afectas por sus bienes, tránsito o lugar de trabajo. El estudio de las cuestiones, consiste en identificarlas, describirlas y priorizarlas. Según el estudio de Renard en 2009, sobre la vulnerabilidad de las apuestas de la ciudad francesa de Lyon, muestran estadísticamente la importancia de parámetros entorno a daño físico, las cuestiones humanas representan un 77%, en comparación a las ambientales con un 18% y las cuestiones materiales con un 5 %, por tanto, la caracterización de los problemas, deben centrarse en determinar la exposición de las personas, en caso de desbordamientos del sistema de alcantarillado.

La presencia de personas al inicio de daño potencial, depende de varios factores: residencia, la velocidad de llegada de peligro, presencia de alerta. De varios autores (Barroca et al, 2006; Blaikie et al, 1994; Renard, 2009), también señalan que las características de grupos de personas tales como: edad, condición social, salud, son condiciones que afectan su capacidad de anticipar y resistir a altos impactos de peligro.

4.4 ¿QUE ES LA VULNERABILIDAD?

Se considera como la susceptibilidad o predisposición que generan diversos componentes de estructuras de acueducto, alcantarillado y aseo, frente a las amenazas que las perjudican y su capacidad de sobreponerse al impacto de un evento alarmante (Congreso de Colombia, 2012).

Previo inicio de los análisis de vulnerabilidad, se deben evaluar los niveles de exposición de la infraestructura de los servicios ante las diferentes amenazas, y de posibles impactos que esta pueda generar sobre los componentes físicos del servicio.

4.5 ¿COMO CARACTERIZAR LA VULNERABILIDAD?

Según Thouret y D'Ercole (1996), la vulnerabilidad puede ser vista como la propensión de una persona, vivienda, propiedad o territorio a sufrir daño en este caso por inundación. Por lo general se define en relación con un problema y permite priorizar los mismos de acuerdo con la gravedad de sufrir daños. En esto interviene la noción de vulnerabilidad (Barroca et al, 2006; Colombo et al, 2002; Degiorgis, 2006; Messner et al 2006; Renard, 2009). Se puede describir analizando la sensibilidad intrínseca de los problemas (material, ambiente y humano), también la preparación, gestión y adaptación de la respuesta en situaciones críticas. La vulnerabilidad está directamente relacionada con la estimación de las consecuencias y gravedad de los impactos de un peligro. Así se conocen diversos factores (Granger, 2009) para construir una priorización local de la vulnerabilidad del territorio, como se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Elementos de riesgo asociado a un puntaje de vulnerabilidad

Elementos de Riesgo	Puntaje de Vulnerabilidad
Hospitales	13
Edificios públicos	13
Áreas Comerciales	12
Áreas Industriales	12
Zonas Residenciales	10
Autopistas	5
Carreteras primarias	5
Carreteras secundarias	4
Talleres	3
Bodegas	3
Parqueaderos	2
Zonas Peatonales	1
Parques	1

Fuente: Granger, 2009

4.6 ¿COMO EL RIESGO SE ASOCIA A UN DESBORDAMIENTO?

Para cada riesgo por inundación, analizado y diagnosticado, las puntuaciones de probabilidad de ocurrencia (P), intensidad (I), la vulnerabilidad (V) y los elementos de riesgo asociados a la vulnerabilidad (E). Para evaluar el riesgo se debe calcular el producto de las variables anteriormente mencionadas (PIVE). Para visualizar las áreas de riesgo, el evaluador debe representar la densidad de toda la aglomeración, mediante los valores de riesgo, en mallas administrativas (comunas, lirios), geométrico (cuadrados, rombos) o matemático (función de densidad de Kernel).

4.7 ¿COMO DETERMINAR LAS CAUSAS DE LOS FALLOS DEL FUNCIONAMIENTO?

Ya medido y representado el riesgo, el encargado de diagnosticar la falla tiene un bosquejo o un gráfico de calidad del servicio prestado. Para poder mejorar la calidad del servicio también se deben conocer las fuentes de los impactos que producen el riesgo de manera cuantitativas, las

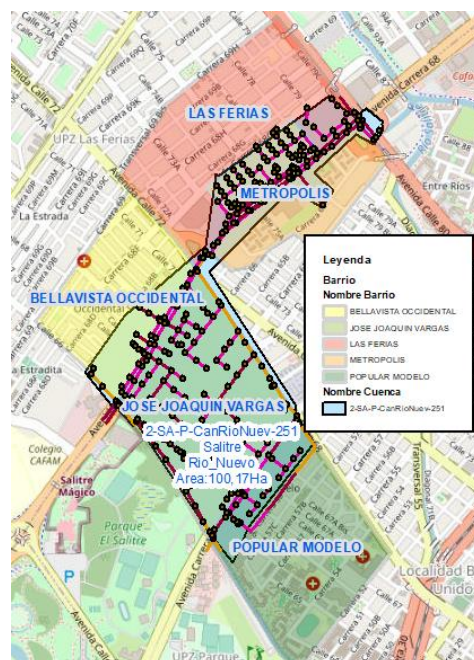
contribuciones de esas fuentes. Además, encontrar algunos vínculos entre el riesgo causado por la inundación. Hay dos maneras de diagnosticar o determinar las causas del fallo de la red, una de ellas es mediante el desarrollo de árboles causales y alimentarlos mediante acciones, para implementar la reducción del riesgo o la mitigación del mismo (Granger, 2009). La otra manera, es por medio de las tablas de causalidad, que permiten calificar el riesgo mediante los parámetros causales del mismo, como lo son: la probabilidad de ocurrencia, la intensidad, la vulnerabilidad y los elementos de riesgo asociados a la vulnerabilidad.

5 SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

La red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB- ESP, tiene un área de 100,17 Ha y hace parte de la Cuenca El Salitre y también de la subcuenca Río Nuevo, prestando el servicio a los siguientes barrios: Las Ferias, Metrópolis, Bellavista Occidental y José Joaquín Vargas, como se muestra en la **Ilustración 2**. Es importante resaltar que la ciudad de Bogotá D.C. drena de oriente a occidente, porque al oriente de la ciudad se encuentra la cadena montañosa y de ahí desciende hacia el límite occidental de la misma, hacia el río Bogotá, el cual cuenta con tres fuentes hídricas principales: río Tunjuelo, río Juan Amarillo y río Salitre (Las tres cuencas principales de la Sabana de Bogotá).

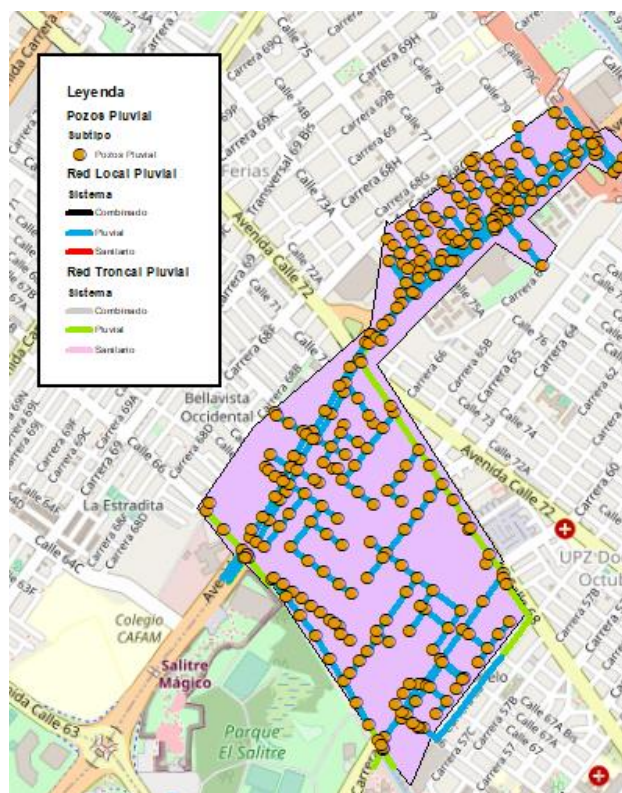
Ilustración 2. Localización de la UGA 251 de la Zona 2 de Bogotá



Fuente: ArcMap 10.2.2

Posteriormente, se muestra la estadística de los elementos suministrados por las entidades distritales, hay que tener en cuenta, que las actividades catastrales y de topografía pueden levantar un número mayor de elementos, que permiten garantizar la correcta delimitación e información de diagnóstico y verificación de la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 de la Zona 2, como se observa en la **Ilustración 3**.

Ilustración 3. Sistema de alcantarillado pluvial de la UGA 251



Para facilitar el procedimiento como se mencionará en el **numeral 6.2.1**, en el análisis hidrológico, se delimitó la cuenca y se simplificó el área de la UGA 251 y la red de alcantarillado pluvial de manera más precisa para poder cumplir con el cronograma estipulado en el proyecto de grado.

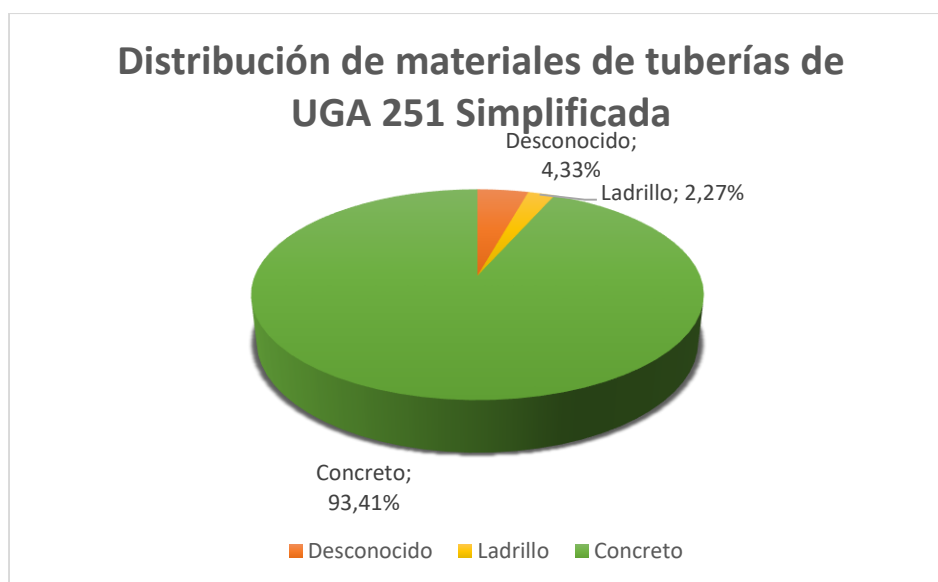
5.1.1 Tuberías

La red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 simplificada está constituida por 2,1668 km lineales que se componen de materiales como: concreto, ladrillo y un pequeño porcentaje de material desconocido, la **Tabla 3** muestra la composición de materiales distribuidos en la red y la **Ilustración 4** el porcentaje de las mismas.

Tabla 3. Distribución de redes por material de la UGA 251 Simplificada

Material	Longitud (m)	Longitud (km)	%
Desconocido	93,7177	0,09372	4,33%
Ladrillo	49,1584	0,04916	2,27%
Concreto	2023,9132	2,02391	93,41%
Total	2166,7893	2,16679	100,00%

Fuente: Microsoft Excel 2019

Ilustración 4. Gráfico de Porcentajes de Distribución de redes por material UGA 251 Simplificada

Fuente: Microsoft Excel 2019

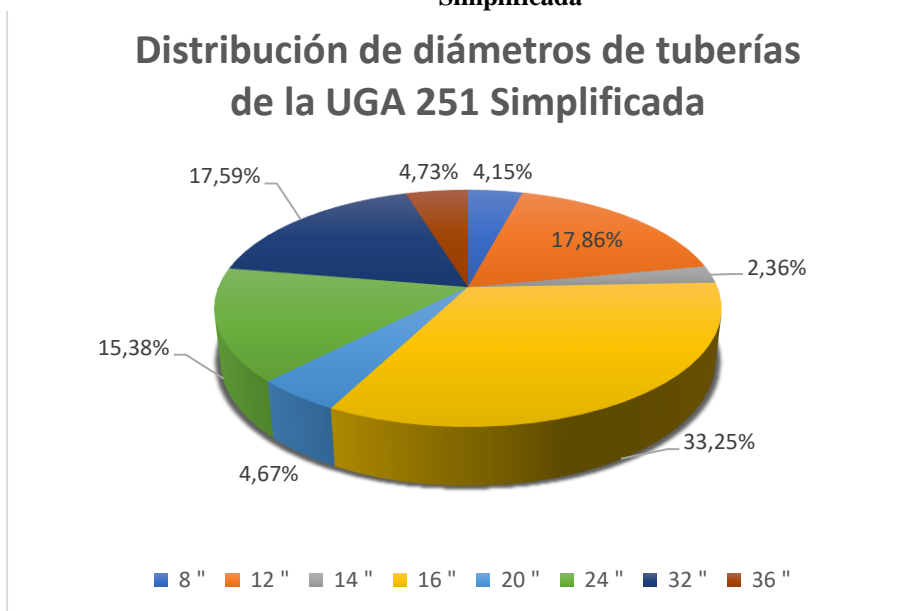
La red pluvial contiene diversos diámetros de tubería empezando con un diámetro de 8 pulgadas por norma y software utilizado es de 300 mm, así la conversión corresponda 203,2 mm, además de encontrar tamaños de 12, 14, 16, 20, 24, 32, 36 pulgadas respectivamente, la **Tabla 4** e **Ilustración 5** muestran las longitudes y porcentajes de red para cada uno de los diámetros mencionados anteriormente.

Tabla 4. Distribución de red pluvial por diámetro de la UGA 251 Simplificada

Diámetro (pulg)	Longitud (m)	Longitud (km)	%
8 "	89,9	0,0899	4,15%
12 "	387,0793	0,3870793	17,86%
14 "	51,154	0,051154	2,36%
16 "	720,5402	0,7205402	33,25%
20 "	101,1049	0,1011049	4,67%
24 "	333,2983	0,3332983	15,38%
32 "	381,2374	0,3812374	17,59%
36 "	102,4752	0,1024752	4,73%
Total	2166,7893	2,1668	100,00%

Fuente: Microsoft Excel 2019

Ilustración 5. Porcentaje de Distribución de red pluvial por diámetro de la UGA 251 Simplificada



Fuente: Microsoft Excel 2019

5.1.2 Pozos

Los pozos de la red pluvial simplificada cuentan con 52 estructuras de alcantarillado, entre las cuales se cuentan pozos y cámaras de inspección, de los cuales el 82,69% tienen buen estado físico

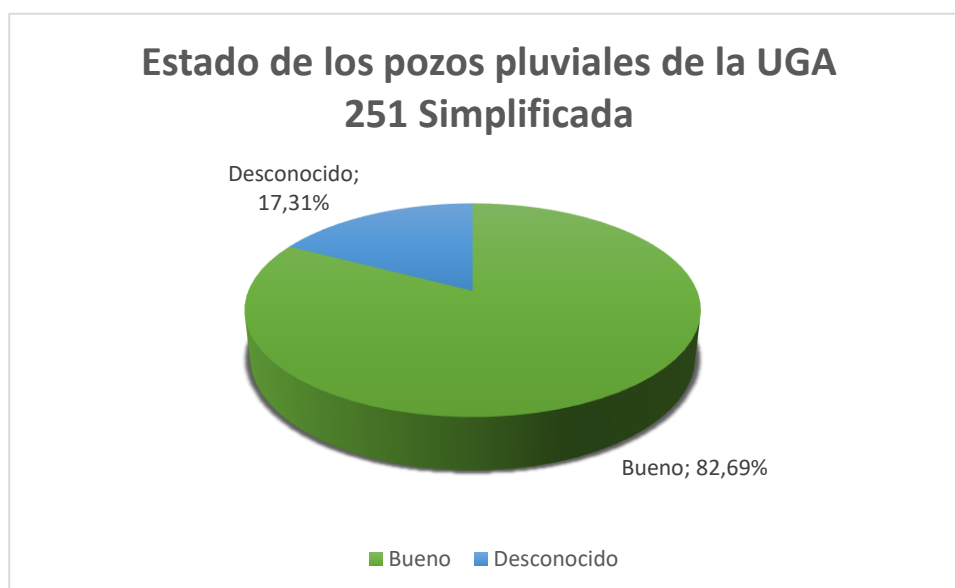
y cuyo material es ladrillo en su totalidad, como se reflejan en la **Tabla 5 y 6 e Ilustración 5 y 6**, respectivamente.

Tabla 5. Estado de pozos red pluvial de la UGA 21 Simplificado

Estado físico	Cantidad	%
Bueno	43	82,69%
Desconocido	9	17,31%
Total	52	100,00%

Fuente: Microsoft Excel 2019

Ilustración 6. Gráfico de porcentaje de estado de pozos de la red pluvial UGA 251



Fuente: Microsoft Excel 201

Tabla 6. Distribución de material por pozos de la red pluvial UGA 251 Simplificada

Material	Cantidad	%
Ladrillo	52	100,00%
Total	52	100,00%

Fuente: Microsoft Excel 2019

Ilustración 7. Porcentaje de material por los pozos de la red pluvial de la UGA 251 Simplificada



Fuente: Microsoft Excel 2019

6 ANÁLISIS HIDROLÓGICO:

Para el análisis hidrológico en la zona de estudio, se tomará en cuenta como referencial la norma NS 085 de la EAAB-ESP, numeral 4.2.1, de esta forma, los caudales de diagnóstico se basarán en la aplicación del modelo lluvia- escorrentía desarrollado por **Soil Conservation Service (SCS)**, el cual se basa en la estimación del hidrograma unitario al cual se aplica una precipitación efectiva a partir de la lluvia del diseño.

6.1 MODELACIÓN HIDROLÓGICA

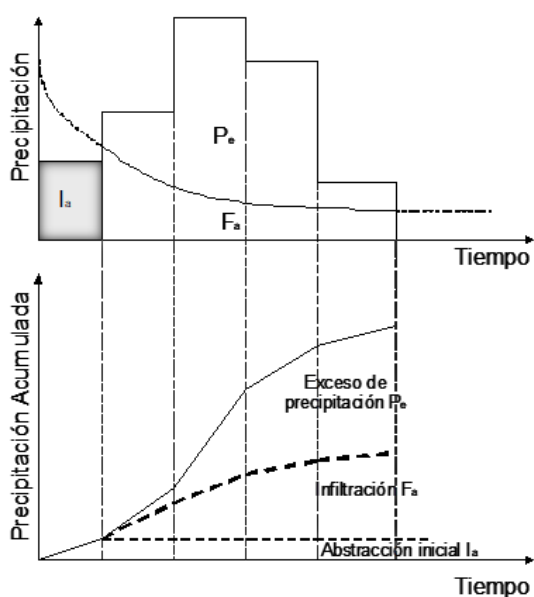
El modelo HEC-HMS es un modelo lluvia -escorrentía que calcula el hidrograma producido por la cuenca El Salitre, a partir de los datos físicos de la misma y la precipitación considerada, utilizando diversos métodos para el cálculo de infiltración y la transformación de la precipitación en escorrentía.

6.1.1 Método Soil Conservation Service (SCS)

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (**Soil Conservation Service- SCS**), desarrolló un método para el cálculo de las abstracciones iniciales de una tormenta, las cuales incluyen la interceptación, la detención superficial y la infiltración cuantificada mediante un parámetro conocido como el número de curva de escorrentía.

Si se conoce el volumen total de lluvia precipitada en una tormenta (P) y la distribución temporal de un aguacero (hietograma de lluvia, ver **Ilustración 8**, en esta parte del volumen en el inicio de la lluvia, es retenido o interceptado en la vegetación o en depresiones topográficas, de manera que en un aguacero existente una pérdida de volumen inicial o abstracción inicial (I_a). De igual forma, parte de dicho volumen se infiltra en el suelo (F_a), es decir solo parte de la lluvia total es la que contribuye a la escorrentía directa (Precipitación efectiva, P_e).

Ilustración 8. Método de abstracciones del SCS



Fuente: Ven Te Chow, 1994

El método del SCS parte de la relación entre las siguientes cantidades:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde S es la retención potencial máxima, o el almacenamiento. Siguiendo con la deducción de la precipitación efectiva, por el principio de continuidad se tiene que,

Combinando las dos ecuaciones anteriores se obtiene,

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo esta última la ecuación con la que se calcula la precipitación de exceso, donde las abstracciones iniciales pueden ser expresadas en términos del almacenamiento, a partir de la expresión $I_a = C_a S$, donde C_a es un coeficiente que varía entre 0.15 y 0.20 para cuencas colombianas.

El almacenamiento en la cuenca se puede expresar en términos de un parámetro adimensional que tiene en cuenta las características geomorfológicas del suelo, su uso y cobertura vegetal. Este parámetro es conocido, de acuerdo con la metodología propuesta por el SCS, como el Número de

$$P = P_e + I_a + F_a \quad \text{Ecuación 2}$$

Curva (CN).

El Número de Curva depende de la clasificación hidrológica del suelo, realizada a partir de la geomorfología de la zona de estudio, el uso del suelo, la condición del suelo, es decir, si es pobre, aceptable o buena, y la condición de humedad antecedente. Este parámetro varía entre 0 y 100,

siendo un suelo con capacidad de almacenamiento infinito aquel que presenta un CN igual a 0, y un suelo sin ninguna retención o infiltración aquel que presenta un CN igual a 100.

Transformación lluvia escorrentía – Hidrograma unitario del SCS

A partir de varias series de hidrogramas reales correspondientes a cuencas de diversos tamaños, ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos, el SCS desarrolló un hidrograma unitario sintético adimensional el cual es función del área, la pendiente de la cuenca y que es válido para una lluvia de una duración determinada. En este hidrograma, el caudal máximo se expresa en términos del área de drenaje (A) en kilómetros cuadrados, y el tiempo al pico (T_p), a partir de la siguiente ecuación:

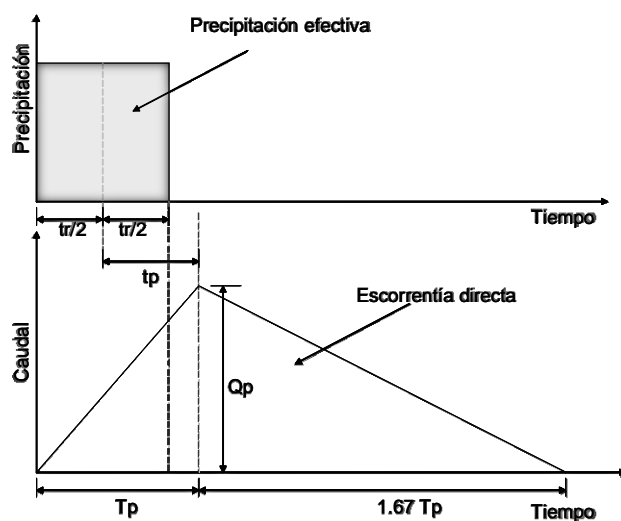
$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

$$T_p = \frac{tr}{2} + tp \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde tr es el tiempo de duración de la lluvia y tp el tiempo de rezago o de retardo de la cuenca que se define como el tiempo comprendido entre el centroide del hidrograma de precipitación de exceso y el pico del caudal en el hidrograma. Cuando se conoce el tiempo de concentración (T_c), es posible determinar el tiempo de retardo asumiendo que $tr = 0.6T_c$.

Ilustración 9. Esquema del Hidrograma unitario del SCS



Fuente: Ven Te Chow, 1994

El tiempo de retardo o rezago (T_{lag}) puede ser calculado a través de la siguiente ecuación:

$$T_{lag} = L^{0.8} \frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde T_{lag} es el tiempo de retardo en horas, L es la longitud hidráulica en pies, CN es el número de Curva, y Y es la pendiente en porcentaje.

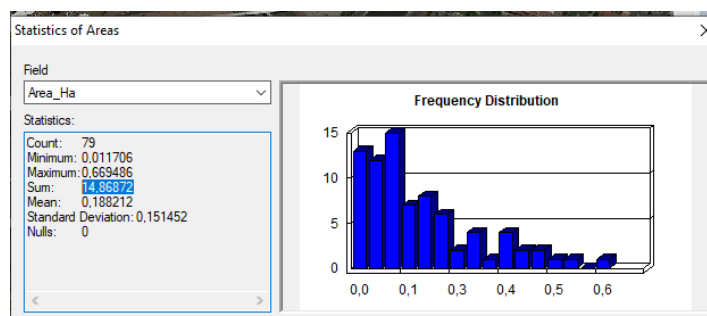
6.2 PROPIEDADES DE LA SUB-CUENCA

Para realizar la modelación hidrológica fue necesario introducir en el software Hec-HMS, varias características y parámetros de las áreas de la cuenca el Salitre, objeto de la modelación, los cuales se describen a continuación.

6.2.1 Delimitación de áreas de drenaje

Para la delimitación de áreas aferentes se utilizó, la información de catastro de las redes de alcantarillado pluvial de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP, se definieron 79 áreas aferentes para el mismo número de sumideros, las cuales drenan un área de 14.8687 Ha.

Ilustración 10. Áreas de drenaje Simplificada de la UGA 251 de la Zona 2 EAAB-ESP



Fuente: ArcMap 10.2.2 y Metadatos suministrados por IDIGER

6.2.2 Porcentaje de área impermeable y Número de Curva (CN)

Para la determinación del porcentaje de área impermeable se realizó una clasificación Ráster, mediante el programa ArcGIS, con una imagen satelital adjunta de la ciudad de Bogotá del año 2016, obtenida mediante Web Map Service de la Unidad Administrativa Especial de Catastro Digital (IDECA).

El número de curva (CN) es una medida del potencial de producción de escorrentía del suelo en cuestión. Suelos con alto potencial de generación de escorrentía tienen valores de CN más altos. La definición de este factor está en función del tipo de suelo, la impermeabilidad de la zona y del tipo de cobertura el terreno, y en principio no varían de tormenta a tormenta. Estas características determinan la fracción de lluvia que efectivamente se convierte en escorrentía. Este parámetro se calculó de manera ponderada según las áreas de cada uso. Se adoptó un CN de 80 para las superficies permeables, mientras que para las superficies impermeables se adoptó un CN de 98 que corresponde a parqueaderos, techos y zonas pavimentadas; en ambos casos se consideró un

suelo del grupo hidrológico D, que corresponde a suelos que presentan tasas bajas de infiltración. Los valores adoptados se encuentran de acuerdo con lo establecido en la Tabla 4-3 de la norma de diseño de alcantarillados NS-085.

Los porcentajes estimados de área permeable e impermeable, así como el número de curva para las áreas de drenaje definidas se mostrarán en el Anexo de hidrología de la carpeta de Microsoft Excel.

6.2.3 Tiempo de concentración y tiempo de rezago

El tiempo de concentración, es aquel que le toma a una gota de escorrentía pluvial y recorre desde el punto hidráulicamente más lejano de la cuenca hasta el punto de análisis, definido como el tiempo de entrada, el cual debe ser mínimo de 5 minutos, más el tiempo de tránsito, así mismo, el tiempo de concentración inicial debe ser como mínimo de 15 minutos

$$t_{concentración}(min) = t_{entrada} + t_{tránsito} \quad \text{Ecuación 7}$$

El tiempo de rezago corresponde al 60 % del tiempo de concentración (Ecuación 8).

$$t_{rezago}(min) = 0.6 t_c \quad \text{Ecuación 8}$$

El tiempo de entrada se estimó utilizando la Ecuación 9, con las relaciones de velocidad definidas en el manual del Soil Conservation Service dependiendo del tipo de superficie, las cuales se muestran en la **Tabla 1**.

$$t = \frac{1}{60} \sum \frac{L}{V} \quad \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

t = Tiempo de viaje (minutos).

L = Longitud de la trayectoria del flujo (m).

V = Promedio de velocidad del flujo de agua (m/s).

Tabla 7. Ecuaciones de velocidad de entrada

Flujo	Velocidad de flujo (m/s)	
En áreas pavimentadas	$V = 6.1960 S^{0.5}$	Ecuación 10
En áreas no pavimentadas	$V = 4.9178 S^{0.5}$	Ecuación 11

* En la Ecuación 10 y en la Ecuación 11 la pendiente está dada en m/m.

Fuente: NS- 085 de la EAAB-ESP

El tiempo de tránsito se estimó, utilizando la Ecuación 9 a partir de la velocidad en los conductos, considerando una profundidad del agua igual al 80 % de la profundidad máxima en el caso de conductos cerrados y en condiciones de máxima capacidad, excluyendo las consideraciones de borde libre para el caso de canales o cauces naturales. La velocidad de flujo, se calculó utilizando la ecuación de Manning (Ecuación 12).

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

Ecuación 12

Los tiempos de concentración y de rezago para las distintas áreas se presentan en el Anexo de Hec-HMS.

6.3 TORMENTAS DE DISEÑO

Se determinó la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), en el centroide de cada uno de los barrios. Mediante las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), es posible estimar la intensidad de tormentas de distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno. La curva IDF se encuentra descrita por la siguiente expresión.

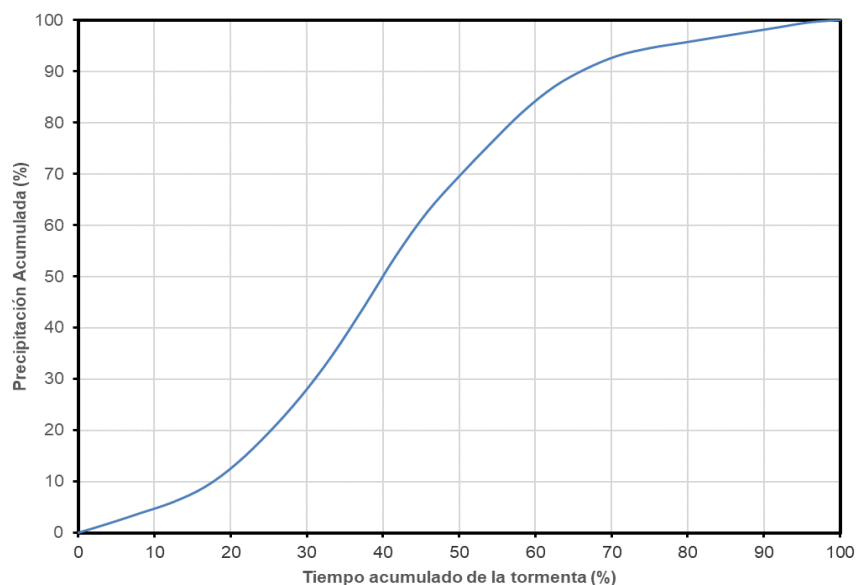
$$\text{Intensidad} = C_1(\text{Duración}(\text{minutos}) + X_0)^{C_2} \quad \text{Ecuación 13}$$

Con el valor de la intensidad extraído de las curvas IDF para el período de retorno de 5 años, se calcula el volumen de lluvia total a distribuir como:

$$P(\text{mm}) = I\left(\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right) * \text{Duración (6 horas)} \quad \text{Ecuación 14}$$

La distribución del volumen de lluvia total se realizó a partir de la distribución temporal mostrada en la **Ilustración 11**, la cual es sugerida en la norma de diseño de alcantarillado (NS-085) de la EAAB. Esta distribución temporal fue obtenida del análisis de eventos históricos de precipitación registrados en la ciudad de Bogotá.

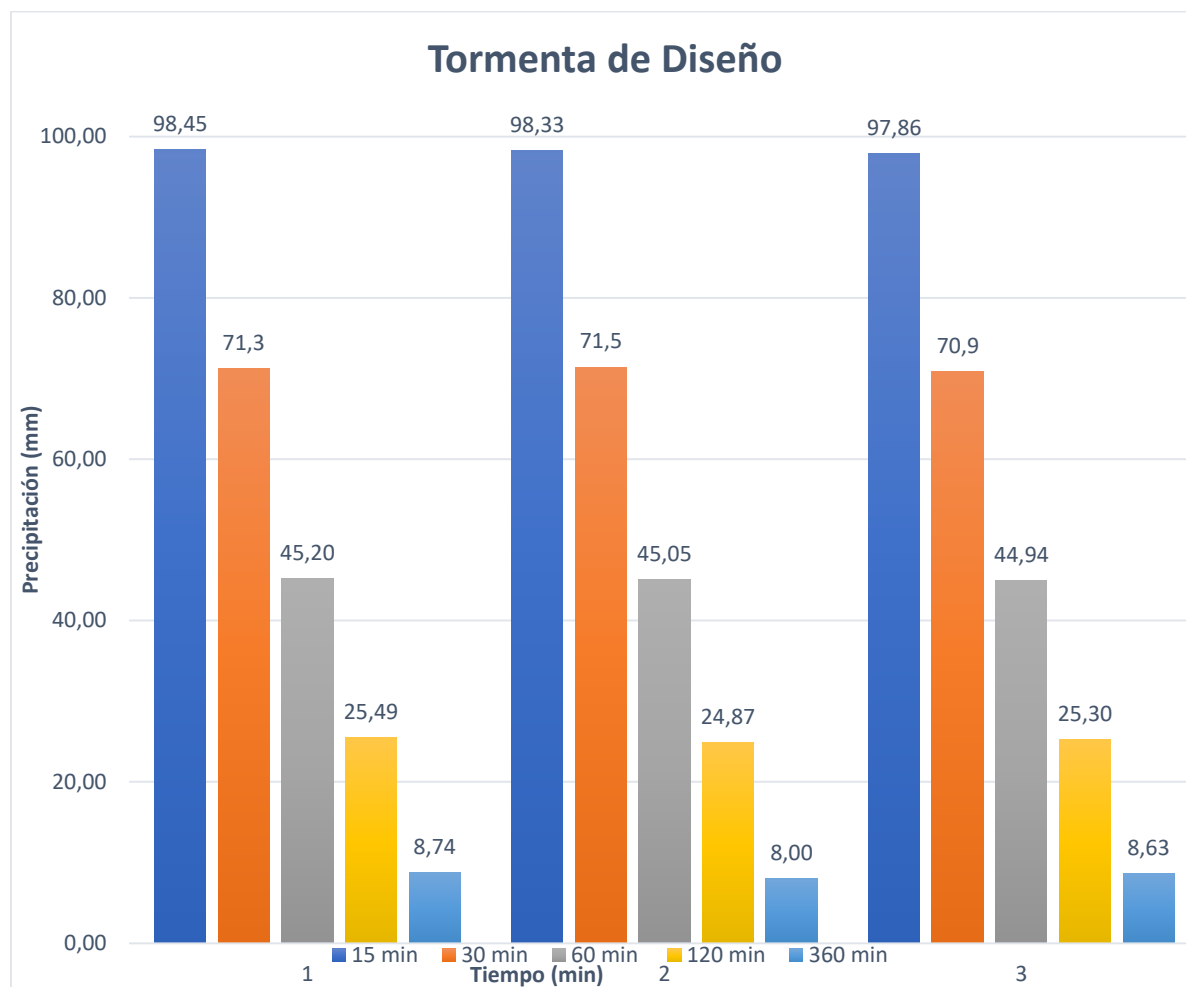
Ilustración 11. Distribución temporal de Tormentas



Fuente: NS-085, V 3-1 EAAB-ESP

En la siguiente ilustración se presentan los valores de la distribución temporal de las tormentas de diseño, correspondientes al período de retorno de 10 años, para las 79 áreas de drenaje de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP.

Ilustración 12. Hietograma de diseño Tr 10 años UGA 251 Simplificada



Fuente: Microsoft Excel 2019 y Hec HMS

6.4 PROCESO DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Para desarrollar el diagnóstico hidrológico del área de la UGA 251 de la red de alcantarillado pluvial, se realizó una modelación hidrológica mediante el software Hec-HMS con las siguientes condiciones:

Condiciones de frontera del modelo: A continuación, mediante la Ilustración, se reflejará las condiciones del volumen de control, es decir, la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 simplificada con las condiciones de entrada y salida, que el software Hec-HMS desarrollará

Ilustración 13. Condiciones de frontera del modelo hidrológico del software Hec HMS 4.6



Fuente: Microsoft Power Point 2019

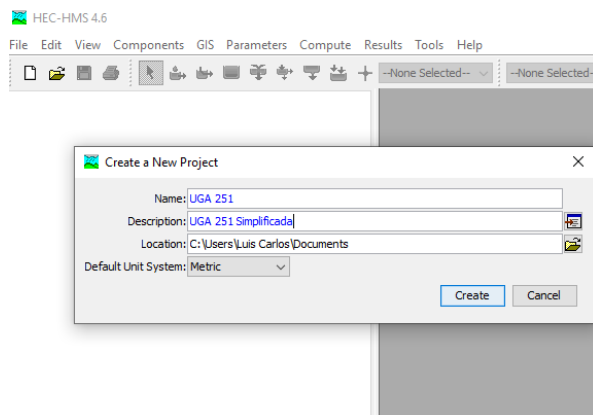
Restricciones:

La información de los elementos hidráulicos en el caso de los sumideros no tuvo en cuenta el estado en el que se encontraba el sumidero (sumideros taponados, rellenos de residuos orgánicos o con dificultades operativas), por motivo de la pandemia, fue imposible realizar una visita de campo por las restricciones de la entidad, es importante aclarar que el mantenimiento ineficiente de este tipo de estructuras también es causante de inundaciones en la zona de estudio

6.4.1 Crear un nuevo proyecto:

Antes de iniciar cualquier tipo de modelación uno deber darle un nombre al mismo y una ruta de localización, en caso que se requieran exportar varios metadatos o elemento además de definir su sistema de unidades para el caso del proyecto, como se ve en la Ilustración 13.

Ilustración 14. Crear un nuevo proyecto en Hec HMS



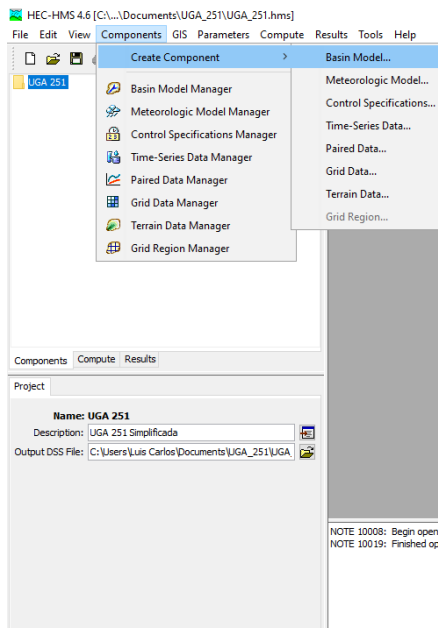
Fuente: Hec HMS 4.6

6.4.2 Crear componente:

Se debe crear el componente donde se va desarrollar la modelación en este caso, la cuenca El Salitre simplificada por la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP, como lo muestra la

Ilustración 15.

Ilustración 15. Herramienta para crear componente



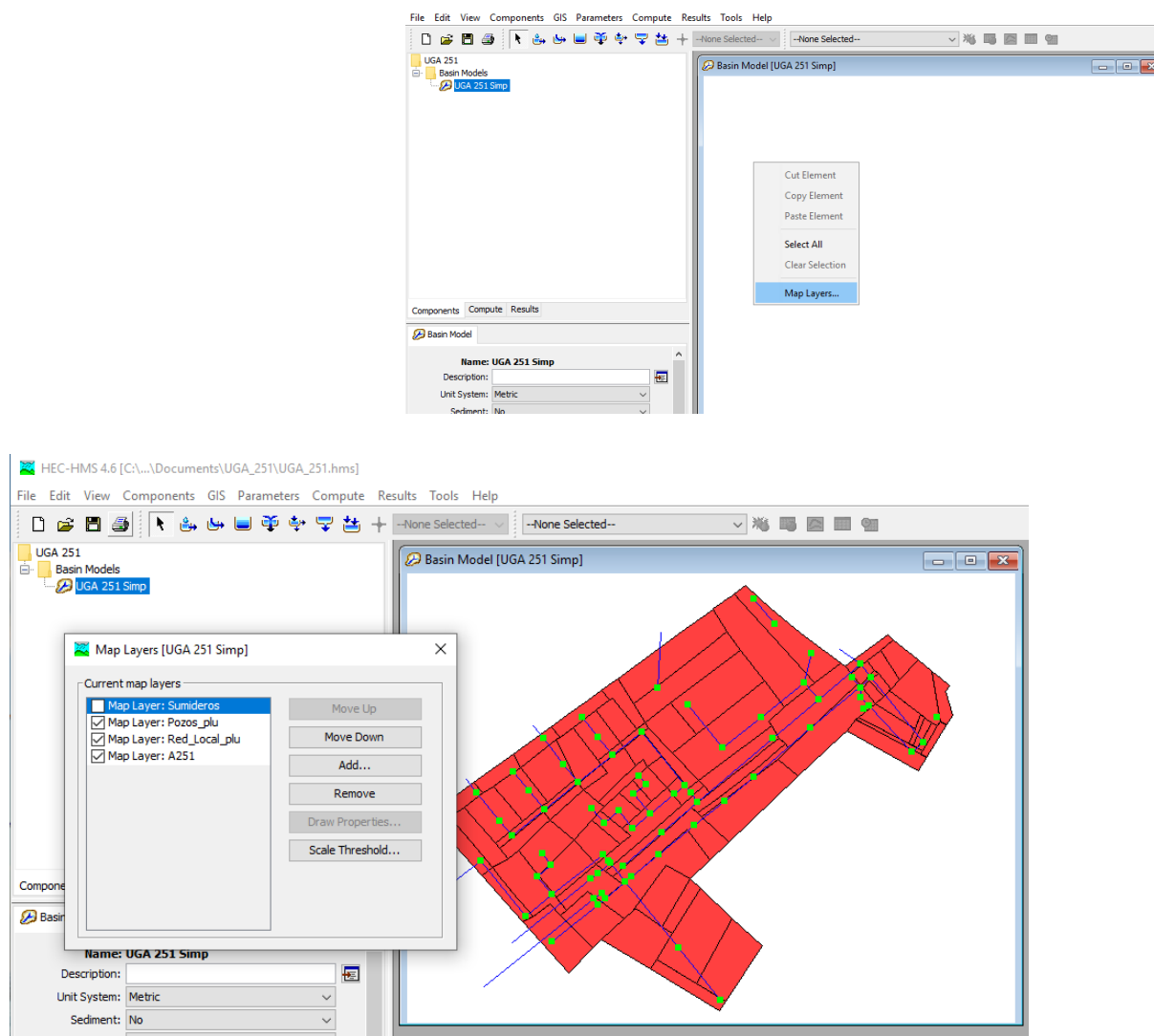
Fuente: Hec HMS 4.6

6.4.3 Exportar las capas de los metadatos utilizados:

El paso a seguir es exportar los metadatos suministrados por la EAAB-ESP, para poder realizar la modelación hidrológica, tales como (**Ilustración 16**):

- Áreas de drenaje
- Red pluvial local
- Pozos

Ilustración 16. Capas de los metadatos de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP

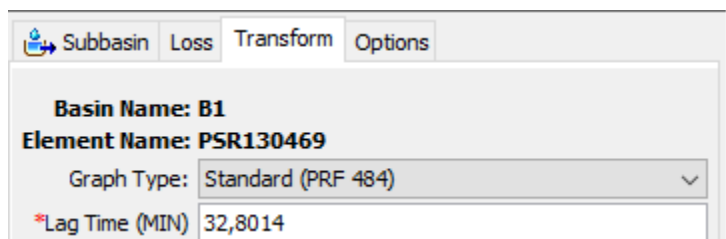
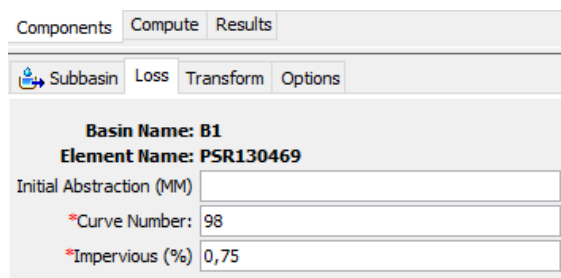
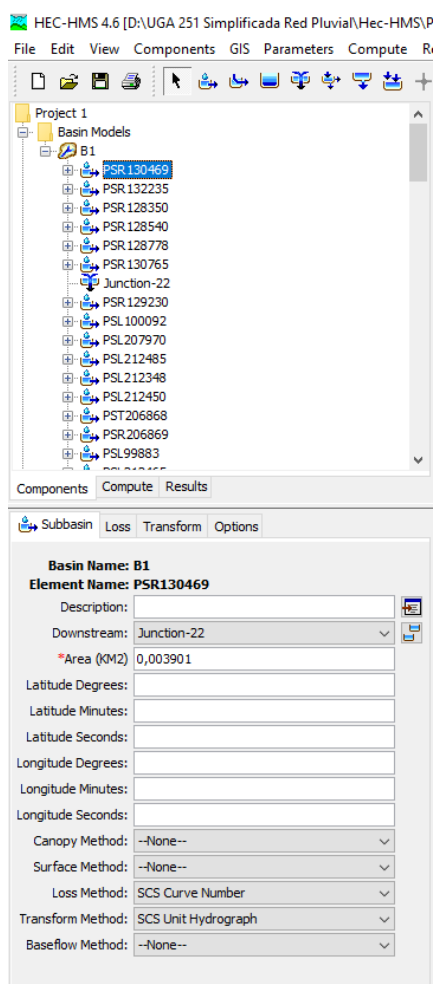


Fuente: Hec HMS 4.6

6.4.4 Definir las características de la Cuenca o el elemento hidráulica en intervención

Ya que el método escogido es el del suelo, se deberán adaptar las características y los parámetros correspondiente tales como: número de curva, porcentaje de impermeabilidad, tiempo de rezago, tal como se muestra en la **Ilustración 17**, para cada uno de los 79 sumideros de las áreas de drenaje.

Ilustración 17. Características de edición para el Método SCS



Fuente: Hec HMS 4.6

6.4.5 Agregar los datos de precipitación

Otros de los parámetros de vital importancia en este método del Soil Conservation Service son los de precipitación encontrados mediante las curvas IDF y que se editarán como siguiente paso a seguir en el proceso de modelación como los muestra la **Ilustración 18**.

Ilustración 18. Edición de Serie de Tiempo para las Precipitaciones

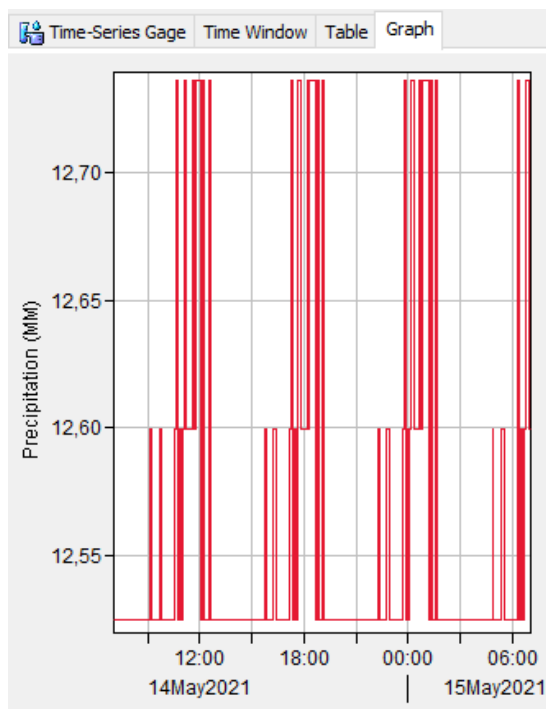
The image displays the HEC-HMS 4.6 software interface during the configuration of precipitation gages. It is divided into several key sections:

- Time-Series Data Manager:** A dialog box where the 'Data Type' is set to 'Precipitation Gages'. It includes a 'New...' button to add new data series.
- Create A New Time-Series Data:** A sub-dialog for naming and describing a new gage. The 'Name' field contains 'Gage 1', and the 'Data Type' is 'Precipitation Gages'.
- Project Tree:** Shows the project structure under 'Project 1', including 'Basin Models', 'Meteorologic Models', 'Control Specifications', and 'Time-Series Data'. Under 'Time-Series Data', 'Precipitation Gages' are listed, with 'Gage 2 (5 min)' and its time window '14may.2021, 07:00 - 15may.2021, 07:00' highlighted.
- Time-Series Gage Configuration:** A detailed window for 'Gage 2 (5 min)' with the following settings:

Gage Name: Gage 2 (5 min)	
*Start Date (ddMMYYYY)	14may.2021
*Start Time (HH:mm)	07:00
*End Date (ddMMYYYY)	15may.2021
*End Time (HH:mm)	07:00

 Additional fields include:
 - Description: (empty)
 - Data Source: Manual Entry
 - Units: Incremental Millimeters
 - Time Interval: 5 Minutes
 - Latitude Degrees, Minutes, Seconds: (empty)
 - Longitude Degrees, Minutes, Seconds: (empty)

Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
14may.2021, 07:00	
14may.2021, 07:05	12,52471
14may.2021, 07:10	12,52471
14may.2021, 07:15	12,52471
14may.2021, 07:20	12,52471
14may.2021, 07:25	12,52471
14may.2021, 07:30	12,52471
14may.2021, 07:35	12,52471
14may.2021, 07:40	12,52471
14may.2021, 07:45	12,52471
14may.2021, 07:50	12,52471
14may.2021, 07:55	12,52471
14may.2021, 08:00	12,52471
14may.2021, 08:05	12,52471
14may.2021, 08:10	12,52471
14may.2021, 08:15	12,52471
14may.2021, 08:20	12,52471
14may.2021, 08:25	12,52471
14may.2021, 08:30	12,52471

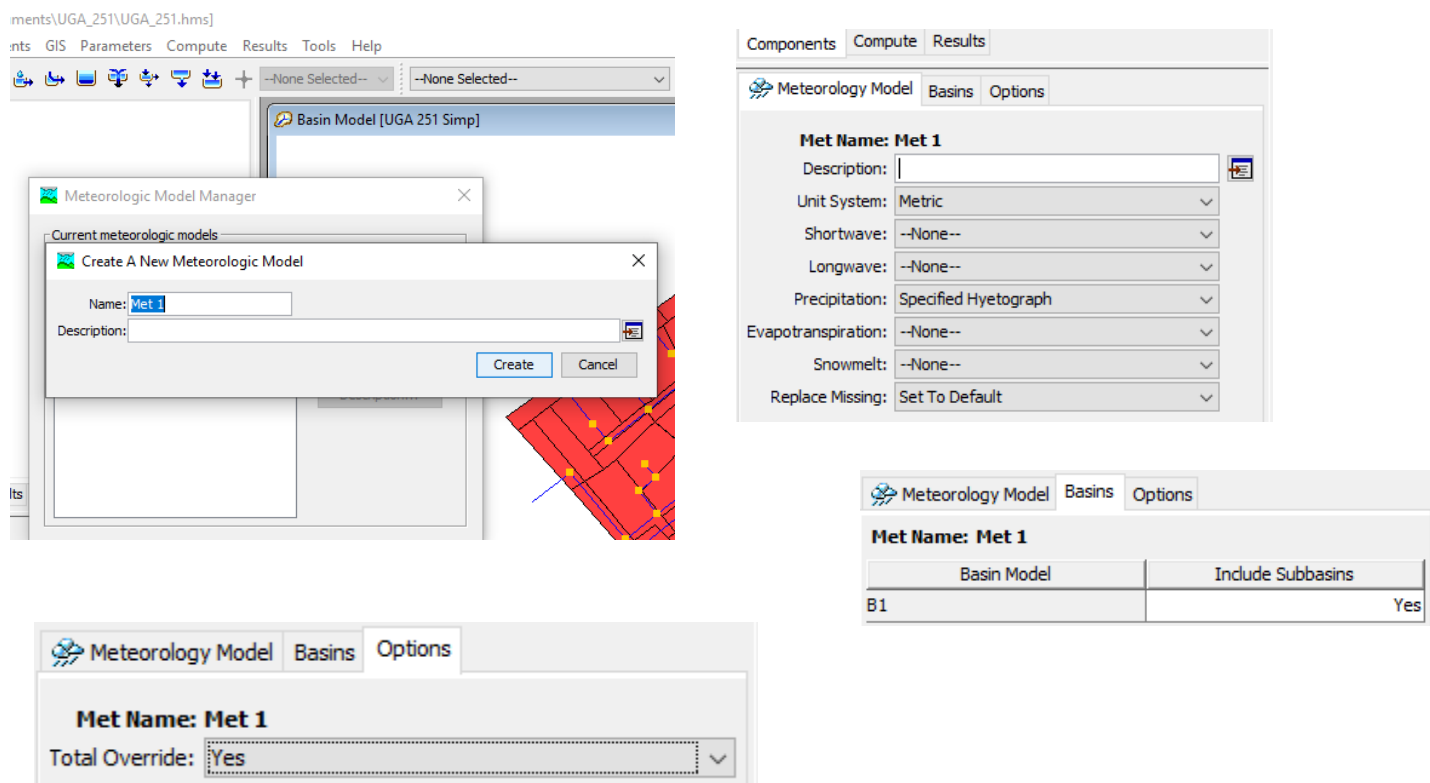


Fuente: Hec HMS 4.6

6.4.6 Creación del componente meteorológico

Con esta herramienta se va poder seleccionar para que cuenca o elemento hidráulico en este caso los sumideros se va aplicar las precipitaciones antes editadas (donde se aplicará el modelo meteorológico) como lo muestra la Ilustración 19.

Ilustración 19. Procedimiento para la creación del componente meteorológico y sus especificaciones

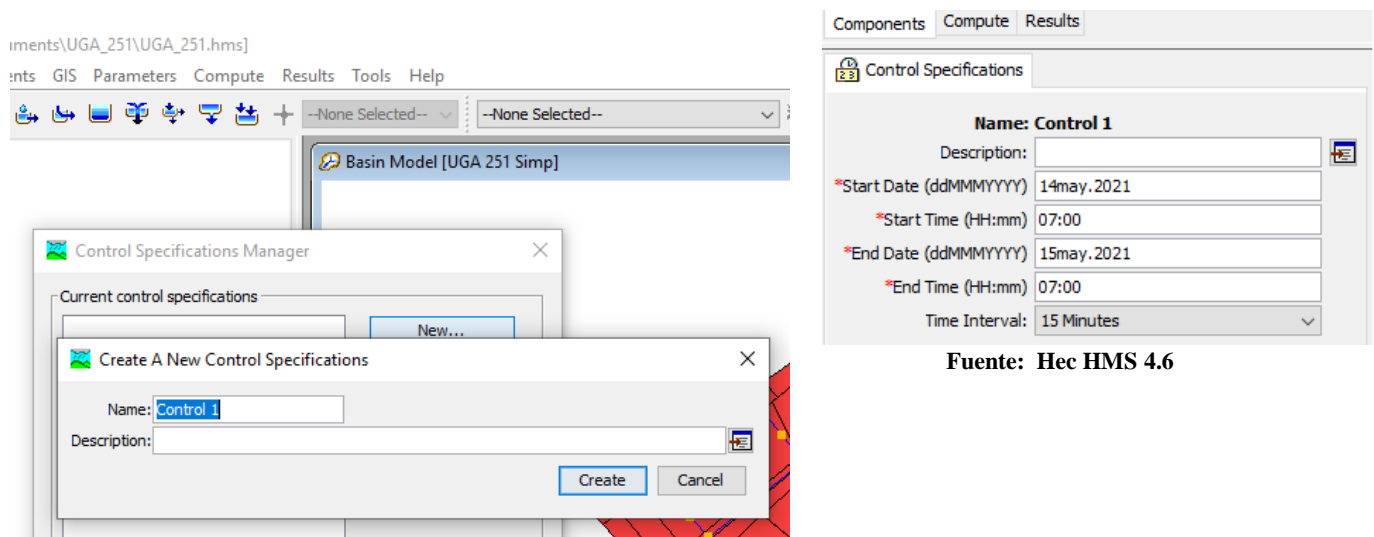


Fuente: Hec HMS 4.6

6.4.7 Creación de archivo de control

Herramienta que permitirá definir la duración de la modelación, mediante parámetros de entrada y salida y un intervalo de duración (**Ilustración 20**).

Ilustración 20. Procedimiento para crear un archivo de control

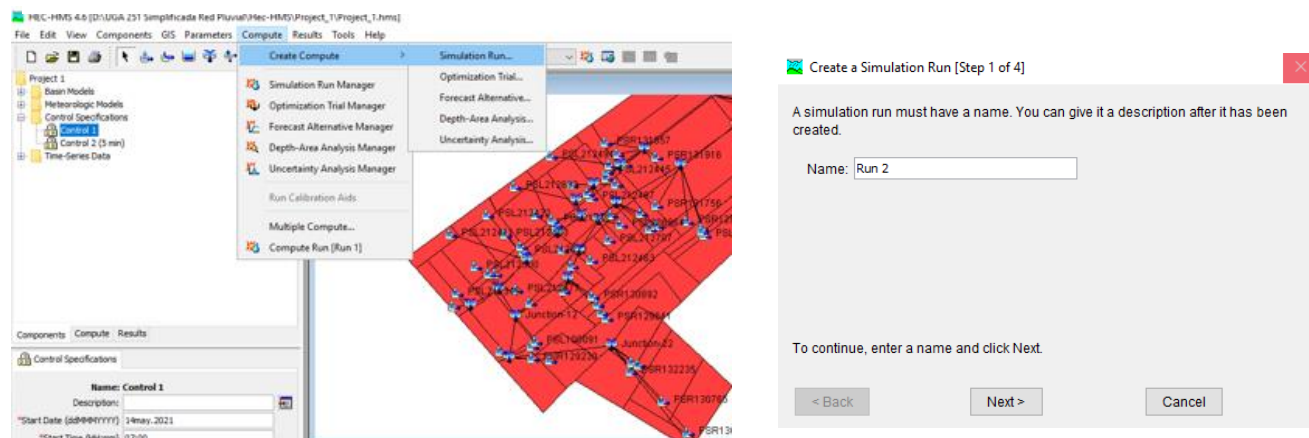


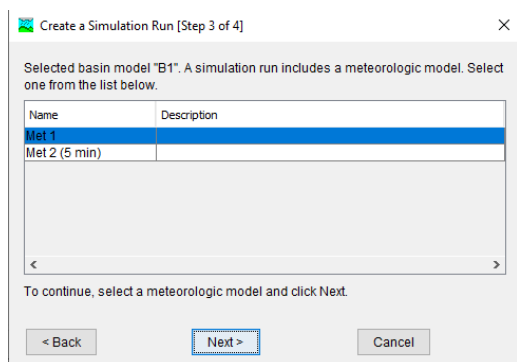
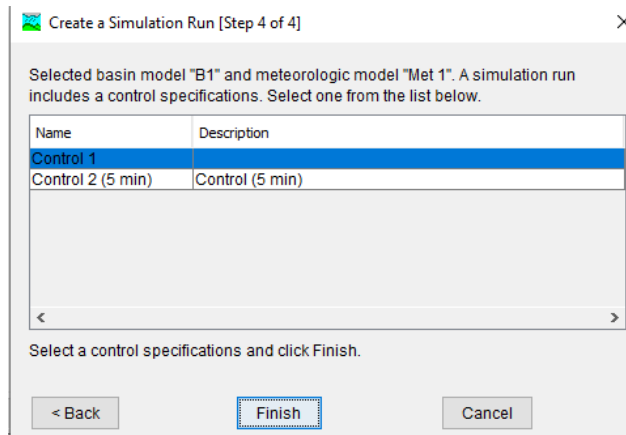
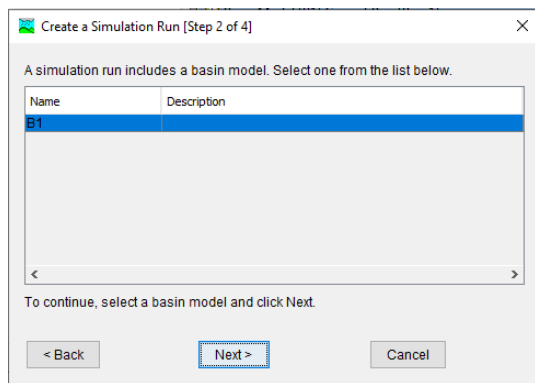
Fuente: Hec HMS 4.6

6.4.8 Correr el programa

Habiendo definido las características y parámetros del método MSC, agregando los datos de precipitación de lluvia, creando el componente meteorológico para la modelación y finalizando el archivo de control para definir la duración de este proceso, se correrá el programa de modelación para encontrar el caudal de verificación de diseño, como lo muestra la **Ilustración 21**:

Ilustración 21. Corrida del programa con los parámetros anteriormente ejecutados





Fuente: Hec HMS 4.6

6.4.9 Resultados Modelación Hidrológica

A continuación, la tabla de resultados globales para los sumideros de las áreas de drenaje de la UGA 251 de la EAAB-ESP. (**Ilustración 22**)

Ilustración 22. Tabla de los resultados globales de la UGA 251 Simplificada

Global Summary Results for Run "Run 1"

Project: Project 1 Simulation Run: Run 1

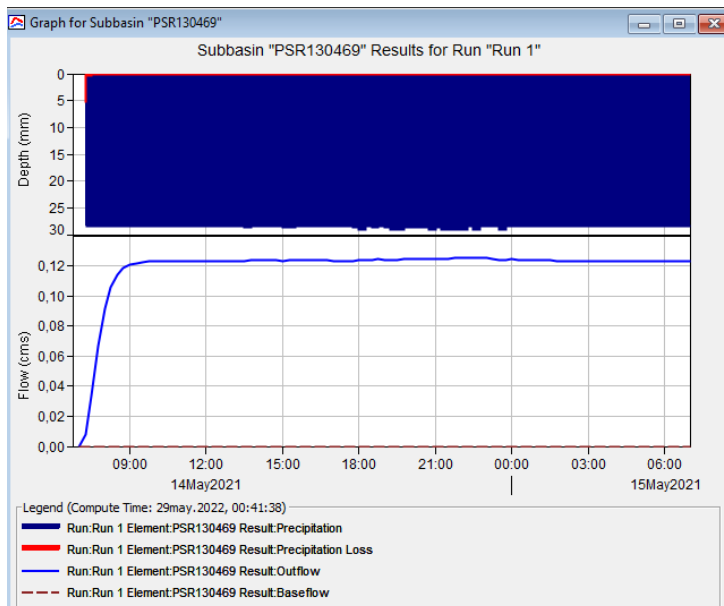
Start of Run: 14may.2021, 07:00 Basin Model: B1
 End of Run: 15may.2021, 07:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 29may.2022, 00:41:38 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
PSR129503	0,0006970	0,0	14may.2021, 22:15	2649,49
Junction-16	0,1079880	3,5	14may.2021, 22:15	2646,10
PSR131756	0,0066900	0,2	14may.2021, 22:15	2649,50
PSL212608	0,0045500	0,1	14may.2021, 22:15	2649,50
PSR129017	0,0021500	0,1	14may.2021, 22:15	2649,49
PLS206955	0,0015220	0,0	14may.2021, 22:15	2649,49
PLS206965	0,0009800	0,0	14may.2021, 22:15	2649,49
Junction-17	0,1238800	4,0	14may.2021, 22:15	2646,54
PSR132598	0,0044820	0,1	14may.2021, 22:15	2649,50
PSL100072	0,0043500	0,1	14may.2021, 22:15	2649,50
PSL100103	0,0018480	0,1	14may.2021, 22:15	2649,49
PSR130635	0,0013800	0,0	14may.2021, 22:15	2649,49
Junction-21	0,0032280	0,1	14may.2021, 22:15	2649,49
PSR128424	0,0010990	0,0	14may.2021, 22:15	2649,49
PSL212771	0,0003250	0,0	14may.2021, 22:15	2649,49
Junction-18	0,1373640	4,4	14may.2021, 22:15	2646,83
PSL99626	0,0025720	0,1	14may.2021, 23:00	2492,32
PSL100071	0,0011350	0,0	14may.2021, 22:15	2649,49
PSL99625	0,0008430	0,0	14may.2021, 22:15	2649,49
PSL100100	0,0004220	0,0	14may.2021, 23:00	2492,19
PSL100102	0,0004200	0,0	14may.2021, 23:00	2492,22
PSL100101	0,0003250	0,0	14may.2021, 23:00	2492,19
PSL99627	0,0002590	0,0	14may.2021, 23:00	2492,30
PSR128342	0,0002140	0,0	14may.2021, 23:00	2492,26
Junction-20	0,1435540	4,6	14may.2021, 22:15	2642,33
Sink-1	0,1435540	4,6	14may.2021, 22:15	2642,33

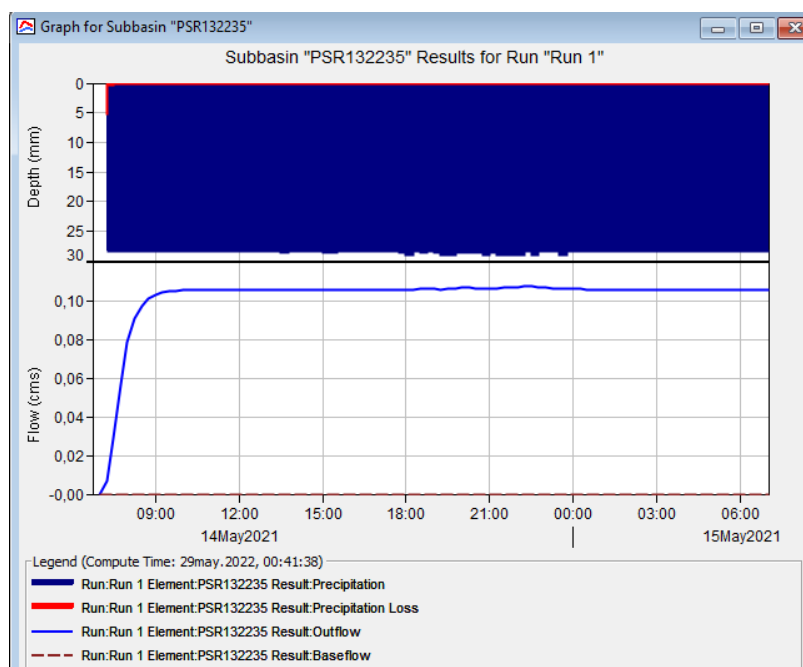
Fuente: Hec HMS 4.6

Ilustración 23. Hidrograma Unitario para el sumidero PSR130469



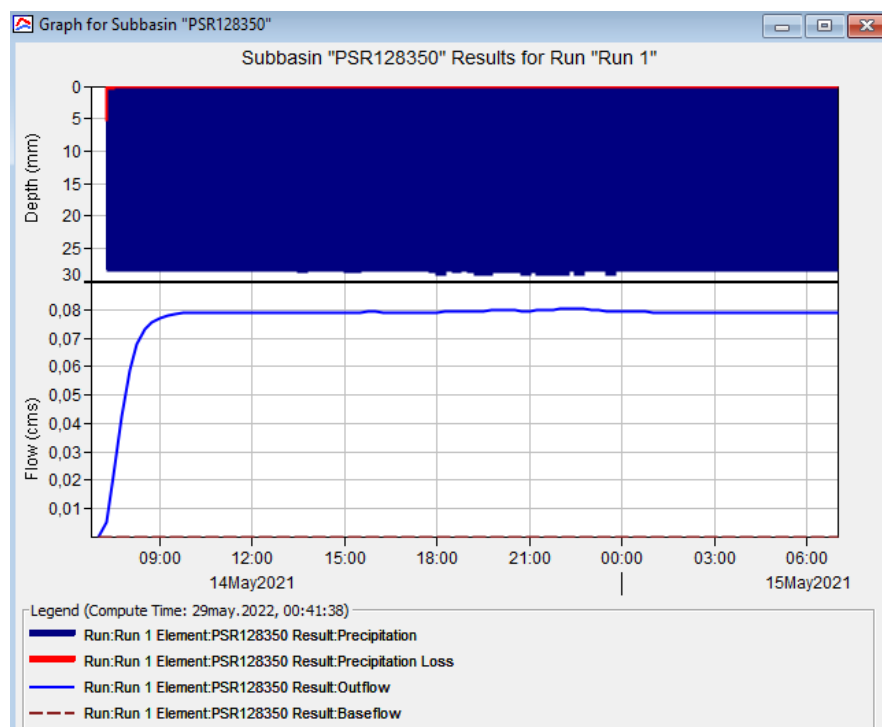
Fuente: Hec HMS 4.6

Ilustración 24. Hidrograma Unitario para el sumidero PSR132235



Fuente: Hec HMS 4.6

Ilustración 25. Hidrograma Unitario para el sumidero PSR128350



Fuente: Hec HMS 4.6

6.5 CAUDAL DE DISEÑO

Mediante la aplicación del modelo lluvia- escorrentía desarrollado por el **Soil Conservation Service (SCS)**, se estimaron caudales máximos de diseño, que representan las hidrógrafas de respuesta a las áreas de drenaje del proyecto.

De acuerdo con la información relacionada, se realizó el montaje del modelo hidrológico en el programa HEC-HMS, según lo exigido en la normatividad vigente. Realizada la modelación hidrológica se obtuvo un caudal de diseño de **5.1 m³/s**.

6.6 OBSERVACIONES:

7 DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO

La red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP, pasó de tener 100,17 Ha a 14,869 Ha de área, como hace referencia el **numeral 6.2.1** de la delimitación de áreas de drenaje en el proceso de análisis hidrológico, esta simplificación de la red pluvial, se distribuyen en 2,167 km lineales, que se dividen en: 0,0937 km de material desconocido (4,33 % de la red), 0,0492 km de ladrillo (2.27% de la red).

El análisis hidráulico se realizó mediante un modelo computacional, conformado topológicamente por información topográfica y de catastro, suministrada por la EAAB-ESP, entre los años 2017 y 2018 e información hidrológica de la zona, para estimar el caudal pluvial del modelo y establecer los siguientes escenarios de modelación:

- **Hidrológico:** Con la información suministrada por la EAAB-ESP, se construyó un modelo lluvia-escorrentía, para una tormenta de 6 horas, mediante el software HEC-HMS, siguiendo los lineamientos de la norma **NS-085 V.3.1**.

- **Pluvial Actual:** Construido con los resultados del modelo lluvia-escorrentía, para una tormenta de 6 horas de duración, se construyó el modelo hidráulico de aportes pluviales, para la topología de la red pluvial simplificada existente, teniendo en cuenta los aportes que entran al sistema por medio de los sumideros simplificados identificados en el catastro.

7.1.1 Reporte de inconsistencias

El procedimiento para completar la información del modelo, consistió en ponderar cotas conocidas aguas arriba, con las cotas conocidas aguas abajo y establecer una pendiente consistente con los datos de topografía en el tramo.

Aún con las dos entradas de datos reportadas, los sistemas presentan una serie de inconsistencias topológicas que deben ser revisadas a fondo por el personal encargado de la evaluación del sistema, buscando reducir al máximo los problemas hidráulicos, asociados a las malas prácticas en los diseños, planeación y construcción de redes municipales. A continuación, se muestran las inconsistencias de los tramos en contrapendiente (**Tabla 7**).

Tabla 9. Tramos de la red pluvial que presentan contrapendiente

ID SIG Tramo	Pozo Inicial	Pozo Final	Cota Rasante F	Cota Batea	Longitud (m)	S (%)
PLT82507	PMI60607	PMP60762	2.540,47	2.540,51	7,5	-0,533%
PLT82509	PMP63417	PMP63416	2.544,67	2.544,72	10,7	-0,467%
PLT82508	PMP60762	PMP63417	2.544,57	2.544,64	14,4	-0,486%
PLT79485	PMP62227	PMP62546	2.540,96	2.541,05	18,5	-0,486%

Fuente: Microsoft Excel 2019

7.1.2 Modelación Hidráulica

El modelo hidráulico es una representación matemática de la realidad. En él que se encuentran representadas a través de ecuaciones, leyes que gobiernan los fenómenos físicos mediante grupos

de variables, objetos reales, como: tuberías, pozos y descargas. No obstante, usualmente los valores de caudal que se presentan en la realidad, difieren en cierta medida de los valores arrojados por el modelo hidráulico. Esto se debe a que el modelo es una simplificación de la realidad y que en esta última actúan gran cantidad de variables, cuyo valor se hace difícil de determinar, y que no son tenidas en cuenta en el modelo hidráulico.

La modelación hidráulica se realiza con el fin, de evaluar la capacidad hidráulica de los componentes del sistema y dimensionar las alternativas de diseño conceptual o detallado, evaluando su comportamiento a corto y largo plazo.

7.1.2.1 Horizontes de modelación

Para evaluar el alcantarillado existente del barrio la UGA 251, se planteó como horizontes de modelación la situación actual, pasada y futura, buscando establecer las necesidades hidráulicas del sistema, para realizar las intervenciones que permitan optimizar las redes de acuerdo a las necesidades de la UGA; para esto se tuvo en cuenta las condiciones actuales debido a procesos de redensificación, propios del crecimiento de la ciudad. De este modo se establecieron los escenarios de modelación, correspondientes a:

- Hidrológico
- Pluvial Actual

Para dar solución a los problemas asociados a la topología existente, se plantearon diferentes alternativas que permiten garantizar, en la mayor medida posible, el adecuado funcionamiento de las redes, teniendo especial énfasis, en la eliminación de conexiones erradas de los sistemas de drenaje de la red pluvial de la UGA 251 simplificada.

7.1.2.2 Limitaciones generales del modelo hidráulico

Los modelos hidráulicos presentan limitaciones de dos tipos: limitaciones asociadas a la conceptualización del modelo y limitaciones asociadas a la calidad de la información de entrada.

Las limitaciones asociadas a la conceptualización del modelo, son aquellas relacionadas con los procesos físicos que no pueden representarse en el modelo. En la modelación de redes pluviales, las limitaciones de este tipo son las siguientes:

- En las simulaciones no se tiene en cuenta el estado de la red, en lo que se refiere a sedimentación, colmatación, basuras, obstáculos, entre otros.
- La forma en la que se está representando el problema de las conexiones erradas en la red, es la aplicación de un factor generalizado de generación de caudales por este concepto (0.2 L/s.Ha – 2.0 L/s.Ha), no se están teniendo en cuenta aportes suplementarios que puedan estar existiendo en la red.

7.1.3 Software empleado

Para realizar el análisis hidráulico de la red, se utilizó el software SewerGEMS V8i, de la casa Bentley. Este software permite simular el flujo en régimen no permanente y condición de flujo gradualmente variado, por lo que permite analizar su comportamiento de manera más detallada, que los métodos que utilizan los conceptos de flujo uniforme.

El procedimiento consistió en realizar primero un análisis de la situación actual de funcionamiento de la red, teniendo en cuenta la demanda actual, y luego se evaluaron los componentes del modelo con la proyección de la demanda producida por los proyectos urbanísticos y/o de redensificación.

7.1.4 Asignación de caudales

La estimación de caudal pluvial se realizó con la información del análisis hidrológico en el **numeral 6.4**, se construyó un modelo lluvia – escorrentía, para una tormenta de 6 horas, por medio del software HEC-HMS. Se siguieron los lineamientos de la norma NS-085 V.3.1. Los valores adoptados están justificados para las condiciones iniciales y finales del período de diseño, para cada uno de los tramos de la red.

7.1.4.1 Caudal pluvial

La estimación de las contribución pluviales para la simplificación de la red pluvial de la UGA 251, se determinaron teniendo en cuenta principalmente las áreas propias y tributarias que contribuyen a la zona de interés; para esto se tuvo en cuenta el sentido de drenaje, la pendiente media de la cuenca, el tiempo de concentración, el tipo de suelo y la curva IDF respectiva a cada área, parámetros que finalmente determinan la cantidad de lluvia, que terminará siendo transportada por las red de alcantarillado de la UGA 251 simplificado.

El tipo de suelo y la curva IDF respectiva a cada área, parámetros que finalmente determinan la cantidad de lluvia, que terminará siendo transportada por la red de alcantarillado de la UGA 251 simplificada.

Las redes pluviales evaluadas y diseñadas tendrán como criterio, que los sistemas locales tienen la capacidad de drenaje y se respetará la topología de conexión, para la infraestructura existente a la fecha. La evaluación y necesidades de optimización de los sistemas pluviales troncales, deberán ser evaluadas por parte de la dirección de Red Local.

Es de aclarar que cada una de las áreas aportantes al sistema fue discriminada y nombrada según el pozo, al cual se fuera a realizar la descarga del aporte pluvial; el objetivo principal de éstas, es

poder estimar un caudal de entrada en las diferentes estructuras de captación. Finalmente, se realizó el análisis tubo a tubo, en el cual se interpreta lo generado, recolectado y transportado por cada área y tramo de tubería.

Para el caso del análisis de la infiltración del agua en el suelo, se adoptó el método del **Soil Conservation Service (SCS)**, según lo establecido en la norma NS-0.85 V.3.1 de la EAAB ESP; dicho método es función del tipo de suelo en condiciones normales de lluvia, condiciones secas o húmedas. Todos los criterios hidrológicos adoptados para el presente estudio fueron mostrados en el numeral 6.

Condiciones de frontera del modelo: A continuación, mediante la Ilustración, se reflejará las condiciones del volumen de control, es decir, la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 simplificada con las condiciones de entrada y salida, que el software SewerGEMS desarrollará

Ilustración 26. Condiciones de frontera del modelo hidráulico del software SewerGEMS



Fuente: Microsoft Power Point 2019

7.1.5 Parámetros de evaluación

La evaluación de la red de alcantarillado, está orientada en identificar los elementos de la misma, los cuales presentan deficiencia o riesgo para la adecuada operación del sistema. El diagnóstico hidráulico, fue realizado teniendo en cuenta el diámetro interno real de la tubería. Como referencias para la definición de los criterios de diagnóstico se tomaron los siguientes documentos:

- **Norma Técnica de Servicio 085 (NS-085 Versión 3.1)**
- **Resolución 330 de 2017 y Resolución 799 de 2021.**

Para el diagnóstico y planteamiento de alternativas del sistema de alcantarillado pluvial, se usó la ecuación de Manning, teniendo en cuenta lo descrito en la NS 085 que establece los siguientes parámetros y condiciones de diseño.

Tabla 10. Valores de coeficiente de rugosidad Manning n para conductos cerrados

Característica interna del Material*	n
Interior Liso	0.010
Interior Semi-rugoso	0.013
Interior Rugoso	0.015

Fuente: Norma Técnica NS 085 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP

La EAAB-ESP determina el coeficiente de rugosidad, de acuerdo a las propiedades físicas del material. Se estipula para tuberías de PVC, PEAD o recubrimientos epóxicos o similares un interior liso; para las tuberías de concreto prefabricado un interior semi-rugoso, para los conductos de concreto fundido en sitio, ladrillo o similares un interior rugoso.

7.1.5.1 Velocidades mínimas

De acuerdo con lo establecido en la norma NS- 085 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB ESP, la velocidad mínima requerida en los sistemas de alcantarillado, es aquella que evita la colmatación de los colectores y permite tener condiciones de auto limpieza, razón por la cual se utiliza el criterio de esfuerzo tractivo, para evaluar las condiciones hidráulicas y/u operativas del sistema.

Para sistemas de alcantarillado pluvial, la velocidad mínima requerida, es aquella que garantiza un valor del esfuerzo cortante medio mayor o igual a 3.0 N/m^2 para el caudal de diseño, y mayor o igual a 1.5 N/m^2 para el 10 % de la capacidad a tubo lleno..

7.1.5.2 Velocidades máximas

La velocidad máxima en las redes de alcantarillado, se encuentra en función de sensibilidad a la abrasión del material del que se componen las mismas. En la **Tabla 11**, están consignados los valores máximos permisibles para diferentes materiales.

Tabla 11. Velocidad máxima permitida en conductos cerrados del sistema de alcantarillado

Material	Velocidad máxima permisible (m/s)*
Conductos cerrados	
Concreto fundido in situ (box culvert)	5.0
Concreto prefabricado (tuberías)	6.0
PVC - PEAD*	9.0
Fibra de vidrio GRP.	4.0

Fuente: Norma Técnica NS 085 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP

La EAAB-ESP sostiene que, si la velocidad supera un valor de 6 m/s, se hace necesaria la utilización de pozos debidamente anclados y diseñados de manera tal que, soporten los esfuerzos

generados debido a estas velocidades en el sistema. A su vez, se debe garantizar la estabilidad de la tubería en pendientes altas, asegurando que su cimentación sea adecuada.

7.1.5.3 Dimensionamiento de la sección

Como requerimiento de diseño y además con el fin de permitir la adecuada aireación de las aguas pluviales y residuales, se hace necesario establecer la profundidad de flujo máxima en cada una de las tuberías. La relación máxima profundidad versus diámetro (y/D), se debe calcular con el caudal máximo de diseño. En la tabla que se presenta a continuación, se relaciona la profundidad de flujo y el diámetro para diferentes rangos.

Tabla 12. Relación máxima de tubo y/D para sistemas pluviales

Diámetro real interno (mm)	Relación máxima y/D (%)
Menor que 50.0	70
Entre 500 y 1000	80
Mayor que 1000	85

Fuente: Norma Técnica NS 085 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP

Los valores mostrados con anterioridad que asocian a la profundidad de flujo, con respecto al diámetro de la tubería, pueden ser utilizados en el caso de sistemas nuevos, rehabilitaciones y optimización de sistemas existentes. A su vez, cabe resaltar que los cálculos y las comprobaciones de relaciones hidráulicas, deben hacerse con el diámetro real interno de la tubería y que, en ningún caso, deben realizarse conexiones de manera directa, entre las tuberías domiciliarias.

En el caso del box culverts, la lámina de agua no puede superar el 90% de la altura interna del mismo.

7.1.5.4 Diámetros mínimos

En el sistema pluvial, primordialmente en los primeros tramos, la sección circular es la más usual para los colectores. El diámetro nominal mínimo permitido en estas redes de recolección y evacuación de aguas lluvias es 300 mm.

7.1.5.5 Distancias mínimas respecto a otras redes

Según la norma técnica NS-085, la distancia mínima libre medida en la dirección horizontal entre los colectores, que hacen parte de la red del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales y las tuberías de otras redes de servicios públicos es de 1.0 m. En cuanto a la distancia mínima libre entre dichas redes, medida en la dirección vertical, es de 0.3 m.

7.1.5.6 Profundidad mínima de instalación a la cota clave

Para el sistema pluvial, como norma general, la EAAB ESP recomienda por medio de la norma técnica NS-035, una profundidad mínima de recubrimiento de 1,00 m. Esta profundidad se encuentra medida, a partir de la clave del colector, con respecto al nivel de la rasante final de la vía.

7.1.5.7 Profundidad máxima de instalación a la cota clave

La máxima profundidad de instalación de los colectores, tanto de aguas lluvias como de recolección y evacuación de aguas residuales, con relación a la rasante definitiva, es del orden de 5 m. Esta profundidad puede ser mayor siempre y cuando haya garantía de los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y de los requerimientos estructurales de los materiales y colectores durante y después de la construcción.

7.1.5.8 Cambios bruscos de pendiente

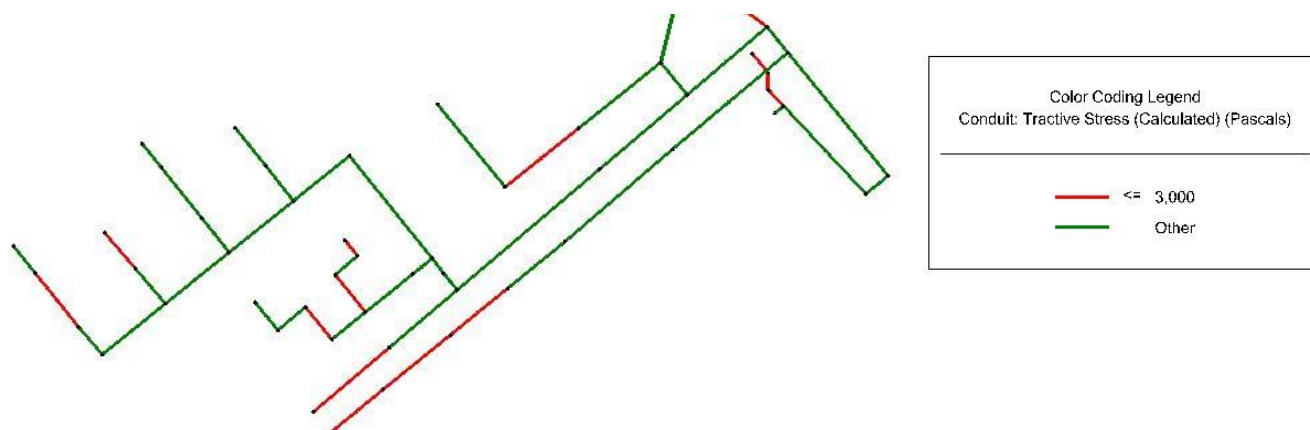
La NSR 085 afirma, que en lo posible deben evitarse los cambios bruscos de pendiente en los colectores. Sin embargo, para el cruce de pasos especiales, cuando se requiere disminuir la pendiente y aumentar el diámetro de la tubería en el cruce, la pendiente del colector debe continuar, en condiciones similares a la pendiente antes del paso especial, es decir, luego del cruce se pueden utilizar los diámetros calculados en función de la pendiente.

7.1.6 Resultados escenario pluvial

7.1.6.1 Esfuerzo cortante (Velocidad mínima)

En este escenario se encontró que el 70.59% de los colectores modelados cumplen con el valor de cortante adecuado. En la siguiente **Ilustración 13** se muestran los tramos con deficiencias de cortante identificados con la leyenda de color rojo, aquellos tramos presentan valores inferiores a 3 N/m^2 . Por su parte, los conductos que satisfacen los valores normativos se encuentran en color verde.

Ilustración 27. Esfuerzo Cortante escenario pluvial actual

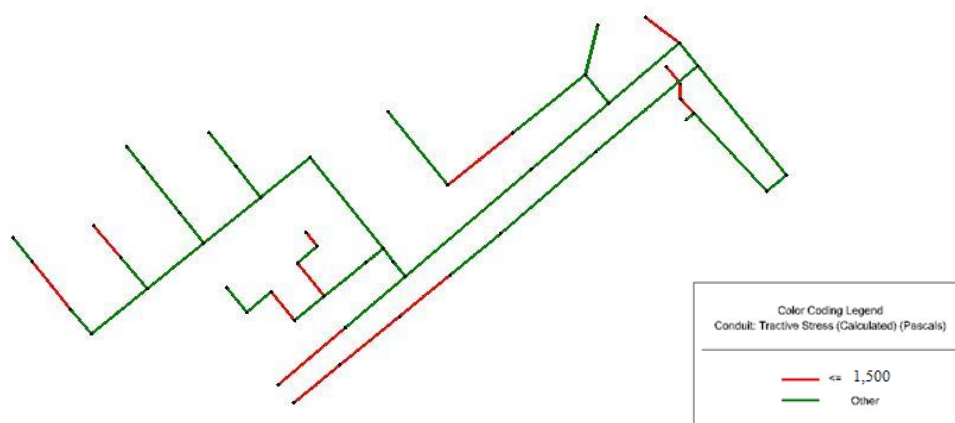


Fuente: Bentley SewerGEMS

7.1.6.2 Esfuerzo cortante para el 10% de la capacidad de llenado (Velocidad mínima)

Al igual que el escenario del esfuerzo cortante, se siguen presentando el 70.59 % de los colectores modelados cumplen con el valor de cortante adecuado. En la siguiente **Ilustración 14**, se muestran los tramos con deficiencias de cortante, identificados con la leyenda de color rojo, aquellos tramos presentan valores inferiores a 1.5 N/m^2 . Por su parte, los conductos que satisfacen los valores normativos se encuentran en color verde.

Ilustración 28. Esfuerzo Cortante escenario pluvial actual con capacidad de llenado 10 % a tubo lleno



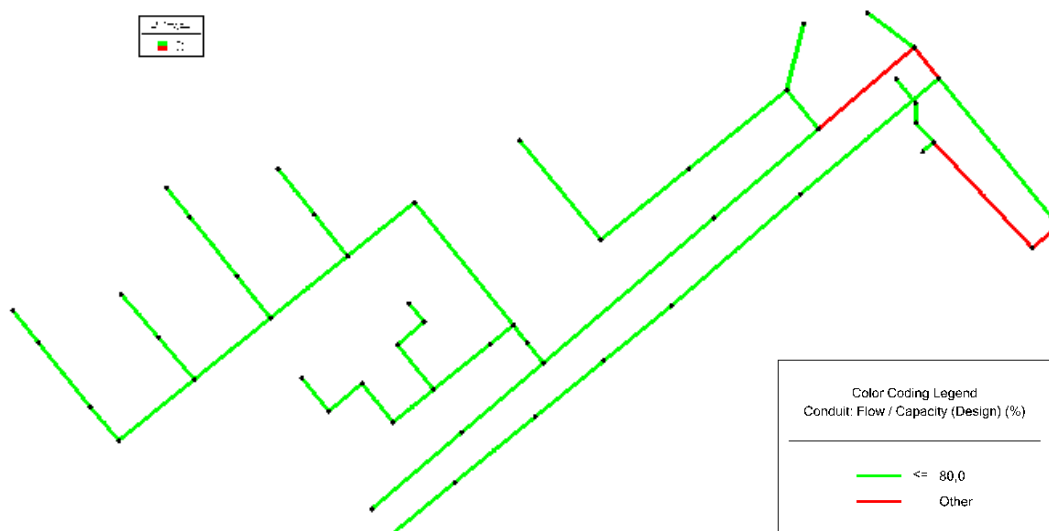
Fuente: Bentley SewerGEMS

7.1.6.3 Relación máxima de llenado y/D

En este escenario se encontró que el 92.16% de los colectores modelados cumplen con la relación máxima de llenado, según los parámetros establecidos en la norma NS-085 V.3.1. En la **Ilustración 15** se muestran los tramos que superan las relaciones de llenado, identificados en el cuadro de leyenda como cero; dichos tramos presentan valores mayores a 70% para el caso de colectores de diámetro nominal menor a 500mm, 80% para colectores de diámetro nominal entre

500mm y 1000mm, mayor a 85% para colectores de diámetro nominal mayor que 1000mm y mayor a 90% para secciones tipo Box.

Ilustración 29. Relación de llenado y/D Escenario pluvial actual

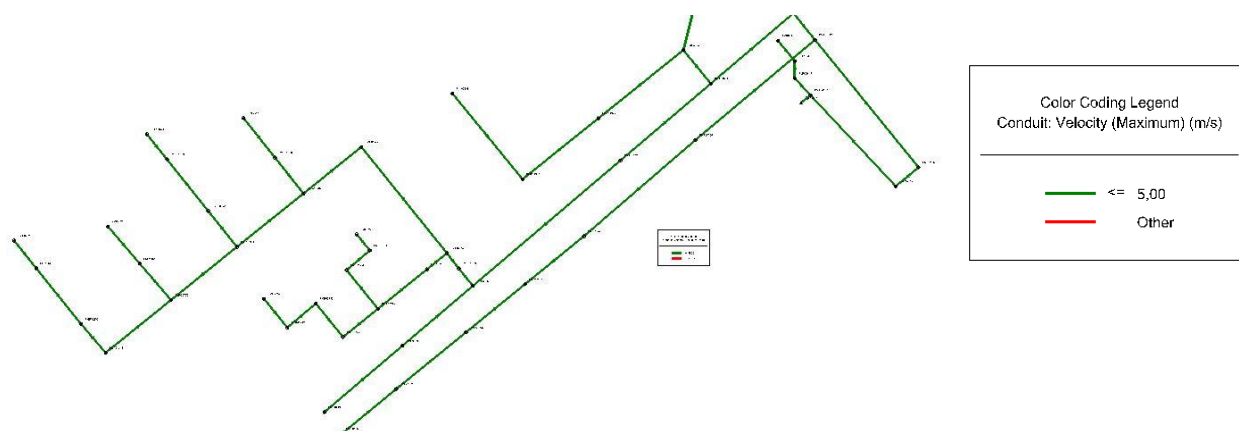


Fuente: Bentley SewerGEMS

7.1.6.4 Velocidad máxima

Para el escenario en cuestión se encontró que todos los colectores cumplen los requerimientos de velocidad máxima como se puede verificar en la siguiente **Ilustración 16**.

Ilustración 30. Velocidad máxima escenario pluvial actual

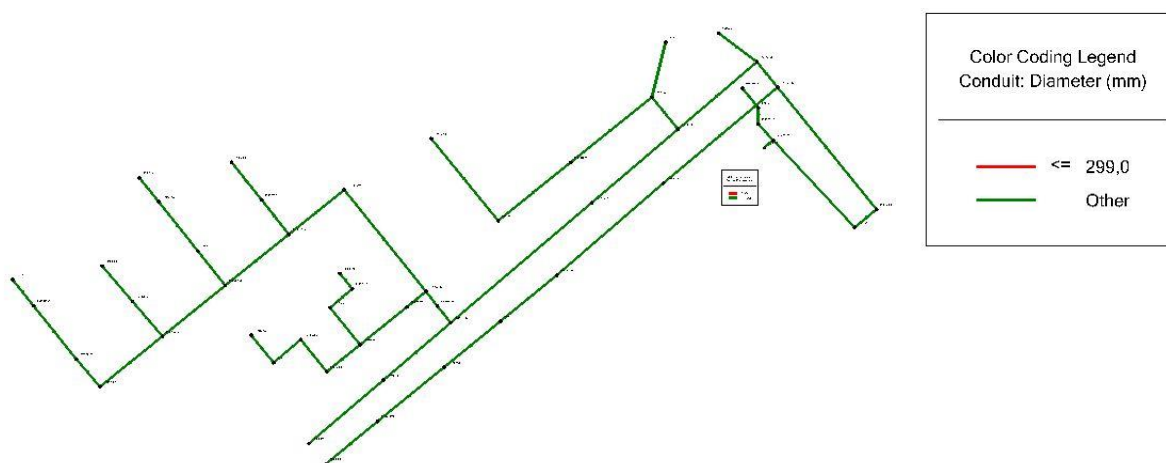


Fuente: Bentley SewerGEMS

7.1.6.5 Diámetro mínimo

Se toma en consideración la normativa aplicable al sistema pluvial, así, el diámetro nominal mínimo permitido es 300mm. Para este escenario, se encontró que los colectores cumplen los requerimientos de diámetro mínimo como se verifica en la **Ilustración 17**

Ilustración 31. Diámetro mínimo escenario pluvial actual



Fuente: Bentley SewerGEMS

8 APLICACIÓN ARITMÉTICA DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL RIESGO DE INUNDACION

La metodología de evaluación de riesgo de inundación, se basa en una aplicada para los territorios franceses urbanos de Lyon y Mulhouse (Granger, 2009). El estudio presentado diagnostica el posible riesgo de inundación, debido al mal funcionamiento de la red pluvial de alcantarillado de la UGA 251, de la Zona 2 simplificada.

8.1 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE DIAGNOSTICO HIDRAÚLICO

A partir de los resultados del análisis hidráulico del área simplificada de la UGA 251, de la red de alcantarillado pluvial de la Zona 2 de Bogotá, que se compone de 2,167 km de red local teniendo como principal material el concreto, con un valor de 2,024 km de red, mostró los siguientes resultados para hallar la probabilidad de ocurrencia de peligro.

8.1.1 Probabilidad de peligro para esfuerzo cortante (Velocidad mínima)

Como lo muestra la **Ilustración 18**, de la red local pluvial de alcantarillado, 15 de los 51 tramos de red no cumplen con el valor del parámetro de esfuerzo cortante, es decir, sus valores son inferiores a los 3.0 N/m²

La probabilidad de ocurrencia de peligro de la red (**P**) es del **29,41%**.

Ilustración 32. Resultados Esfuerzo cortante (Velocidad mínima)



Fuente: ArcMap 10.2.2

8.1.2 Probabilidad de peligro para esfuerzo cortante para el 10% de capacidad de llenado (Velocidad mínima)

Como lo muestra la **Ilustración 19**, de la red local pluvial de alcantarillado, 15 de los 51 tramos de red, no cumplen con el valor del parámetro de esfuerzo cortante, es decir, sus valores son inferiores a los 3.0 N/m^2 . La probabilidad de ocurrencia de peligro de la red (**P**) es del **29,41%**, al igual que la condición anterior.

Ilustración 33. Resultados de esfuerzo cortante para 10% de capacidad de



Fuente: ArcMap 10.2.2

8.1.3 Probabilidad de peligro para la relación máxima de llenado y/D

Como lo muestra la **Ilustración 20**, de la red local pluvial de alcantarillado, 4 de los 51 tramos de red no cumplen con el valor del parámetro de relaciones de llenado para el caso de colectores de 70% para 500mm, para el caso de colectores de diámetro nominal menor a 500mm y 1000mm, mayor a 85%, para colectores de diámetro nominal mayor que 1000mm y mayor a 90% para secciones tipo Box, la probabilidad de ocurrencia de peligro de la red (**P**) es del **7,84%**.

Ilustración 34. Resultados de la relación máxima de llenado (y/D)



Fuente: ArcMap 10.2.2

8.2 INTENSIDAD DE PELIGRO PARA LA SIMPLIFICACIÓN DE LA UGA 251 DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

Como se menciona en el **numeral 4.2**, la intensidad de peligro (I) depende de varios factores, el de mayor relevancia es la magnitud de altura de lámina de agua (Degiorgis, 2006). La intensidad que se usará para el diagnóstico de riesgo, de la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 de la Zona 2, será la misma que se usó para el análisis hidrológico, tiempo de retorno de 25 años, con una duración de 60 minutos o 1 hora, mostró una intensidad de **52,62 mm**.

Tabla 13. Clasificación de intensidad en función de altura de agua

Nivel de Altura de agua	Nota de calificación	Criterio
5 cm <	1	Intensidad Baja
5 cm < h < 30 cm	5	Intensidad Media
> 30 cm	10	Intensidad Alta

Fuente: Granger, 2009

Según la intensidad hallada (**5,26 cm**), la intensidad sería clasificada como media con un factor de calificación de **5**.

8.3 VULNERABILIDAD DE LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA UGA 251

La vulnerabilidad se define como la predisposición que se genera por diferentes componentes de estructuras como acueducto, alcantarillado y aseo, en torno a las amenazas que las perjudican, además de su capacidad de sobreponerse al impacto de un evento alarmante (Congreso de Colombia, 2012), en este caso el fenómeno natural de inundación.

Las condiciones de vulnerabilidad, requieren de un proceso de reconocimiento y diagnóstico que debe realizarse por las personas prestadoras de los servicios públicos y allegados. El manejo para tal fin, consiste en definir los componentes susceptibles de daño o interrupción en los sistemas, los factores, contextos, que pueden evitar o atascar de manera clave la recuperación, rehabilitación y reconstrucción con los recursos disponibles.

El análisis de vulnerabilidad requiere ser planteado, para cada una de las amenazas encontradas, que pueden alterar el sistema de prestación, ya que los componentes de infraestructura, no presentan igual voluntad a todos los tipos de amenaza.

Como siempre existirá esa susceptibilidad o predisposición de daños por la operación del sistema de red, en este caso la red de alcantarillado pluvial, el factor de vulnerabilidad se determina con un valor de **1**, independientemente si los elementos de riesgo afectan seres vivos o bienes materiales.

8.4 ELEMENTOS DE RIESGO, LA CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA ASOCIADA A LA VULNERABILIDAD

Los elementos de riesgo son aquellos sistemas o unidades, los cuales son altamente afectados por inundaciones en diversas áreas como: economía local o nacional, medio ambiente, viviendas, lugares de trabajo, centros educativos, entre otros. La identificación y cuantificación en riesgo, es particularmente difícil, debido a los diversos tipos de impacto: funcionales, económicos, ambientales, entre otros, por tal motivo, es de vital importancia considerar el impacto general de inundaciones, en cada tipo de uso de suelo.

Tabla 14. Elementos de riesgo asociado a puntaje de vulnerabilidad

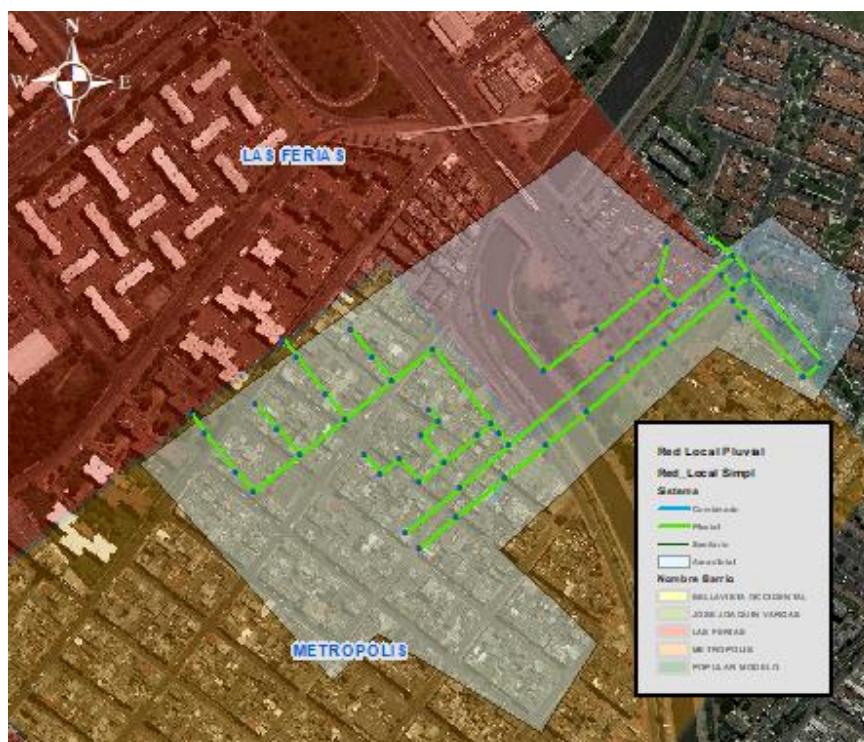
Elementos de Riesgo	Puntaje de Vulnerabilidad
Hospitales	13
Edificios públicos	13
Áreas Comerciales	12
Áreas Industriales	12
Zonas Residenciales	10
Autopistas	5
Carreteras primarias	5
Carreteras secundarias	4
Talleres	3
Bodegas	3
Parqueaderos	2
Zonas Peatonales	1
Parques	1

Fuente: Granger, 2009

Según la **Ilustración 21**, los elementos de riesgo, que presentarían mayor alteración o riesgo asociado a la vulnerabilidad, serían las zonas residenciales y edificios públicos, como hay que escoger un factor y el de mayor puntaje, es el de edificios públicos; el criterio se debe asociar a

exceso, donde el riesgo es de mayor impacto, por tanto, su puntaje de 1 a 13 sería **13**, como lo indica la **Tabla 14**.

Ilustración 35. Barrios y Elementos de riesgo Red Local Pluvial UGA 251



Fuente: ArcMap 10.2.2

8.5 DIAGNÓSTICO DEL RIESGO DE INUNDACIÓN POR EFECTO DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS PARA LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL DE LA UGA 251 SIMPLIFICADA

Se llegan a desarrollar factores de riesgo mediante falencias en el diseño, instalación y funcionamiento de los sistemas de prestación de los servicios públicos, como desestabilización de terrenos, contaminación de fuentes hídricas y suelo, así como enfermedades de transmisión hídrica. Además, se determinan los riesgos generados por la deficiencia en la prestación de los servicios

de acueducto, alcantarillado y aseo en una situación de emergencia, ya sea que hayan sido perjudicados o no, estas fallas pueden generar más crítica la situación de desastre (Ministerio de Vivienda. 2014).

Para poder diagnosticar el riesgo de inundación, se deben tener en cuenta los factores anteriormente hallados tales como: probabilidad de ocurrencia de peligro (P), la intensidad de amenaza, la vulnerabilidad del problema (V) y los elementos asociados a la vulnerabilidad (E) (Wu et al 1996), el riesgo se clasifica como lo indica la Tabla 16 (Granger, 2009).

$$R = P * I * V * E$$

Tabla 15. Clasificación de Riesgos por inundación

% de Clasificación de riesgo	Clasificación de Nivel de Riesgo
0 % - 20 %	Riesgo Muy Bajo
20.1 % - 40 %	Riesgo Bajo
40.1 % - 60 %	Riesgo Medio
60.1 % - 80 %	Riesgo Alto
80.1 % - 100 %	Riesgo Muy Alto

Fuente: Granger, 2009

La siguiente **Tabla 16** mostrará los resultados de clasificación de riesgo, a partir de los parámetros de probabilidad, intensidad, vulnerabilidad y elementos vulnerables hallados en los numerales anteriores.

Tabla 16. Resultados de diagnóstico de riesgos por inundación para la UGA 251 Simplificada

Parámetros de riesgo	Parámetros de evaluación		
	Esfuerzo cortante	Esfuerzo cortante para 10% de llenado	Relación máxima de llenado (y/D)
Probabilidad de ocurrencia de peligro	0,2941	0,2941	0,0784
Intensidad de amenaza	5	5	5
Vulnerabilidad del problema	1	1	1
Elementos asociados a vulnerabilidad	13	13	13
Riesgo, grado de daño causado (%)	19,1176	19,1176	5,0980
Riesgo, grado de daño causado (criterio)	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo

Fuente: Propia

8.6 APLICACIÓN GRÁFICA DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR RIESGO POR INUNDACIÓN

El sistema de alcantarillado se compone hoy en día por tres sistemas: sanitario, pluvial y combinado. En el sector del centro sistema, es tipo combinado y en las áreas bajas hacia el occidente el sistema es separado. Entre el sistema combinado y el separado, la conexión se hace mediante estructuras de alivio o separación, finalmente, las aguas se dirigen a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), para posteriormente ser vertidas al río Bogotá. (EAAB-ESP, 2021).

La cuenca del río Bogotá, como macro sistema de la región, cuenta con el aporte hídrico de 15 subcuencas, el río se divide en 3 sectores: alto, medio y bajo. La zona de mayor significación para el distrito capital es la zona media, debido a que a lo largo de esta zona pasa por el límite occidente de la ciudad. El río Bogotá en su zona media incluye 3 principales vertientes: ríos Salitre (también llamado Juan Amarillo), Fucha y Tunjuelo, los cuales cuentan a su vez con numerosas subcuencas

de corrientes menores, conformadas por un conjunto de subdivisiones de menor área que comparten una estructura de drenaje llamadas Unidades de Gestión de Alcantarillado (UGAS). Debido a que las aguas del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial son recolectadas por diferentes sistemas, existen entonces 463 UGAS pluviales y 457 UGAS sanitarias, las cuales aportan sus aguas a 16 subcuencas pluviales y 49 subcuencas del sistema sanitario, respectivamente. (EAAB-ESP, 2021).

La UGA 251 tiene un área de 100,17 Ha o 1 Km², está distribuida por 5 barrios: al noroccidente con Las Ferias, al nororiente con Metrópolis, al suroccidente con Bellavista Occidental y al suroriente con el Popular Modelo, como lo muestra la siguiente **Ilustración 22**, es de tipo de red pluvial, pertenece a la cuenca el Salitre, la subcuenca es del Río Nuevo.

Ilustración 36. UGA 251 y sus barrios aledaños

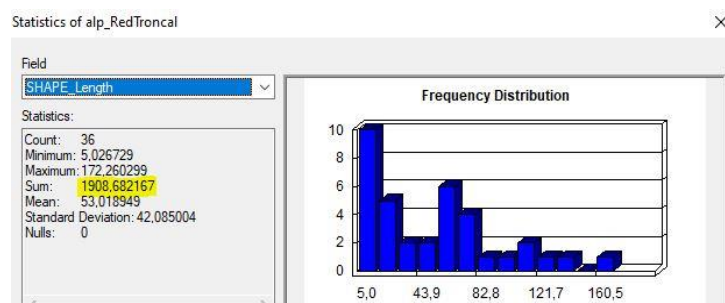
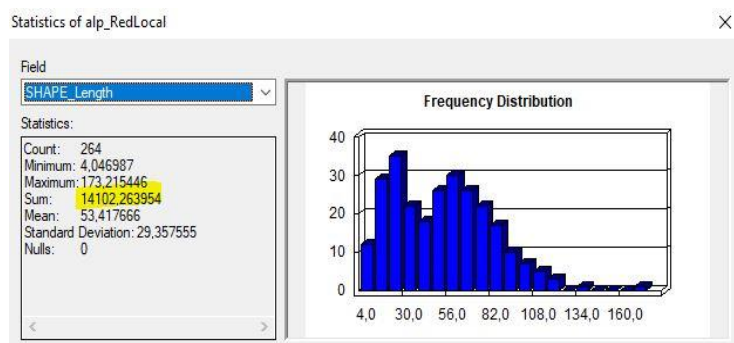
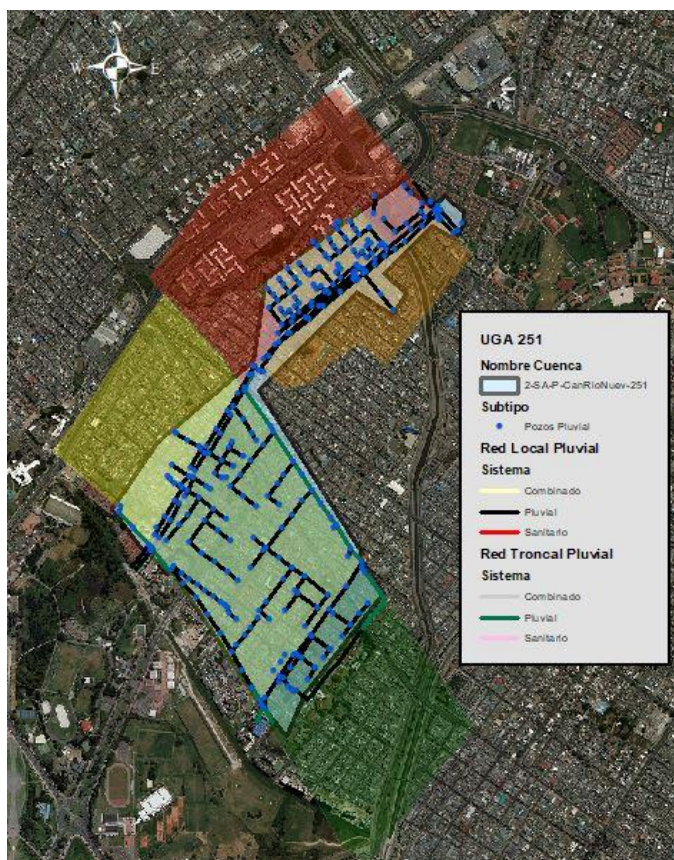


Fuente: ArcMap 10.2.2

La red de alcantarillado pluvial de la UGA 251, de la Zona 2 de la EAAB-ESP, se distribuye una red troncal de 1,908 km lineales y una red local de 14,102 km lineales, como lo muestra la

Ilustración 23.

Ilustración 37. Red de Alcantarillado Pluvial de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP



Fuente: ArcMap 10.2.2

8.6.1 Simplificación del área, red de alcantarillado y sumidero de la UGA 251 de la Zona 2 de la EAAB-ESP

La UGA 251 tiene un área de 100,77 Ha o 1,007 Km², se compone de una red pluvial que se divide en 14,102 km de red local, compuestos de 264 tramos y 1,908 km de red troncal compuesto de 36 tramos, 290 pozos y 442 sumideros, para el ejercicio de trabajo, se tomó la determinación de simplificar el área de la UGA, de la red pluvial y los elementos hidráulicos, ya que para realizar un diagnóstico hidráulico y de riesgos por inundación se requiere más del tiempo estipulado, además la idea es adaptar estas teorías a mediano plazo, así sea por tramos o un alto porcentaje de la red inspeccionada o trabajada de la UGA.

La UGA simplificada tiene un área de 14,89 Ha o 0,148 Km², se compone de una red pluvial que se divide en 2,167 km de red local, compuestos de 51 tramos, 52 pozos y 79 sumideros, como lo muestra la siguiente **Ilustración 24**.

Ilustración 38. Red pluvial de la UGA 251 Simplificado



Fuente: ArcMap 10.2.2

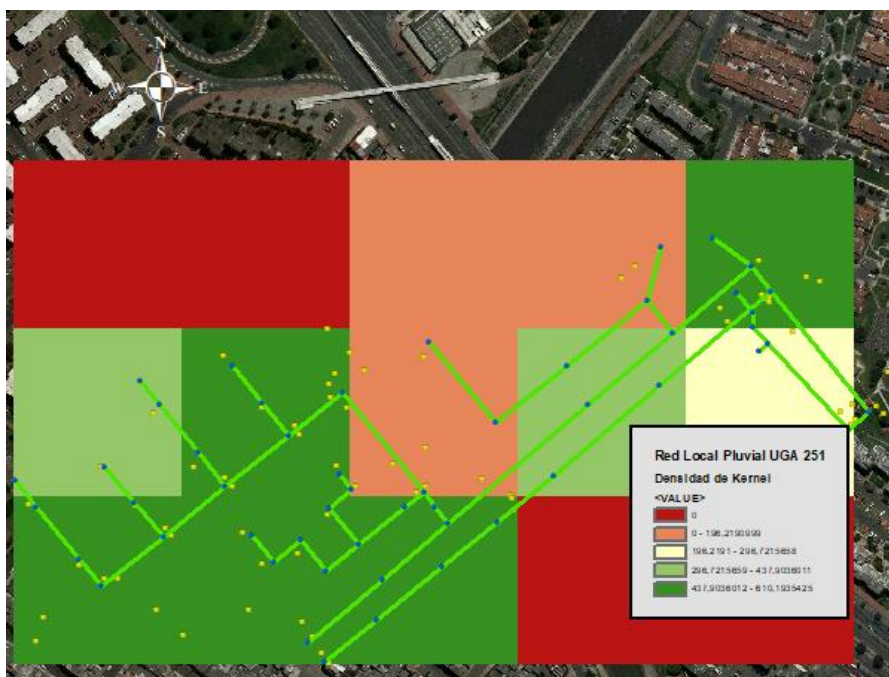
8.6.2 Experimentación del Método gráfico de diagnóstico de riesgo por inundación

La red de alcantarillado pluvial simplificada con una longitud de 2,167 km lineales de red y con 79 sumideros, que son los elementos hidráulicos que, a partir de las áreas de drenaje distribuidas en el proceso de modelación hidrológica, pueden estimar la clasificación de riesgos por inundación como lo muestra la **Tabla 15**.

El método se llama estimación de la densidad del Kernel (KDE), es una manera de valor la función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria. La estimación de Kernel es un problema fundamental de suavizado de datos, donde las inferencias sobre la población o elementos

hidráulicos están hechos, basados en datos finitos de muestra. Como se observa en la **Ilustración 25**.

Ilustración 39. DEM de Densidad de Kernel para clasificación de riesgos por inundación

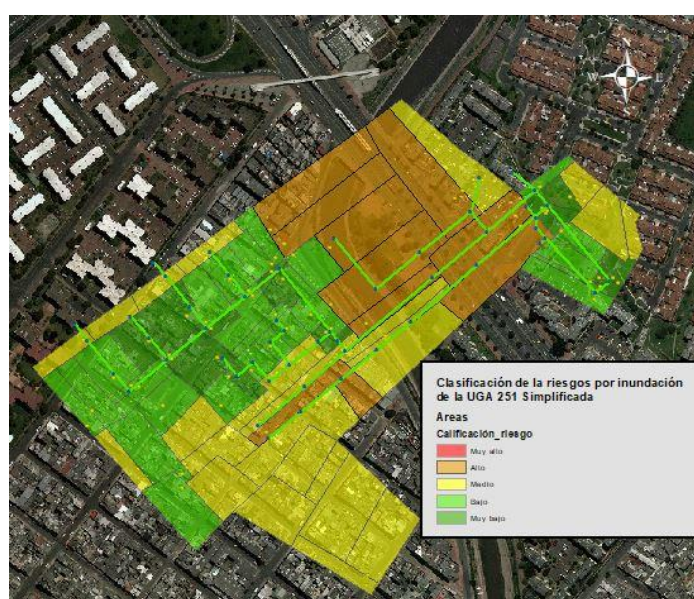


Fuente: ArcMap 10.2.2

Se debe usar los metadatos suministrados por la entidad prestadora del servicio de alcantarillado pluvial de la zona de trabajo mediante la herramienta de densidad, a través del software de ArcMap. En este caso tomando como referencia los sumideros, que son estructuras diseñadas y construidas con el propósito de captar las aguas de escorrentía, que pasan por las calzadas de las vías para entregarlas a conexiones o pozos de inspección de sistemas de alcantarillado (NS 047-EAAB-ESP) y así evitar inundaciones o baja captación de agua de escorrentía. De todas formas, las georreferencias de las herramientas deben perfeccionarse a futuro, mediante datos cuantitativos y cualitativos de la zona, que permitan calificar las variables de riesgo y orientar de manera más precisa la evaluación de riesgo por inundación de la red de alcantarillado pluvial de la Zona 2 simplificada.

Implementar de manera conjunta una georreferenciación, entre la base de datos del método aritmético y el método gráfico, lo cual evitaría pérdida de información y pondría en funcionamiento de manera sistemática toda la información y los instrumentos cartográficos del sistema de información geográfica (SIG), así facilitarían en gran medida la gestión de datos y su uso para lograr unos resultados más precisos y unificados (Caradot, 2010). Como se muestra en la **Ilustración 26**.

Ilustración 40. Método Gráfico para clasificar riesgos por inundación



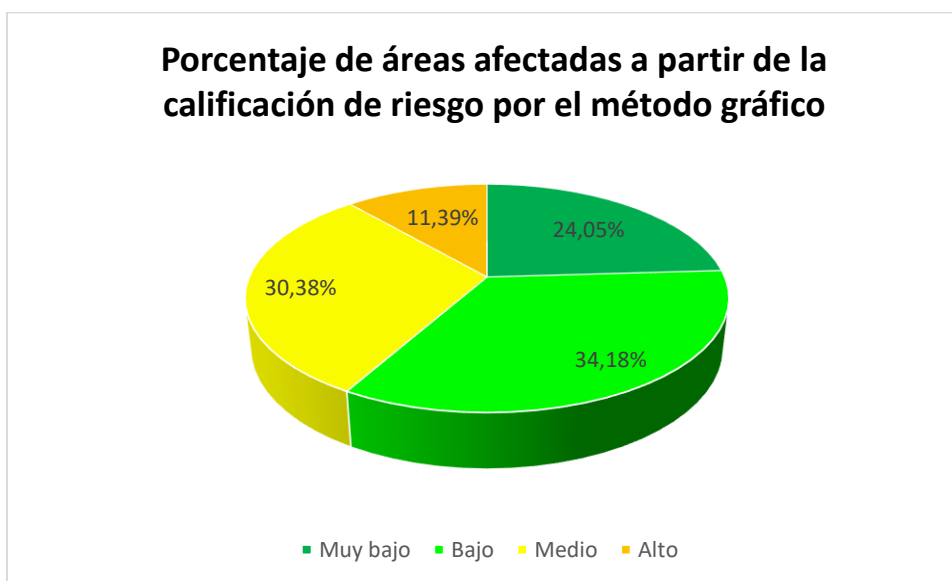
Fuente: ArcMap 10.2.2

Tabla 17. Clasificación riesgo por inundación por el método gráfico

Calificación de riesgo	# de áreas afectadas a partir de calificación de riesgo	% de áreas afectadas a partir de calificación de riesgo
Muy bajo	19	24,05%
Bajo	27	34,18%
Medio	24	30,38%
Alto	9	11,39%
Muy alto	0	0,00%
Total	79	100%

Fuente: Propia

Ilustración 41. % de áreas afectadas a partir de la calificación de riesgo por el método gráfico



Fuente: Propia

Los resultados a partir de la densidad de Kernel, para demostrar el método gráfico de la **Ilustración 27**, a partir de los sumideros como elementos hidráulicos mostraron los siguientes resultados:

- El mayor porcentaje de áreas afectadas por calificación de riesgo fueron 27 con un 34,18 % y con calificación de riesgo por inundación **baja**.
- Solo 9 áreas afectadas por calificación alta presentaron un 11,39% de riesgo por esa calificación.
- El segundo porcentaje de áreas afectadas por calificación de riesgo fueron 24 con un 34,28% y una calificación de riesgo por inundación **media** según el método gráfico.
- 19 de 79 áreas presentaron una calificación de riesgo por inundación muy **baja** con un 24,05% de porcentaje de áreas afectadas.

9 ALTERNATIVAS PARA REDUCIR O MITIGAR LOS RIESGOS POR INUNDACIÓN DE RED PLUVIAL DE ALCANTARILLADO DE LA UGA 251 DE LA ZONA 2 DE BOGOTÁ

9.1 Alternativas por el método aritmética de evaluación de riesgo por inundación para la red pluvial del alcantarillado de la UGA 251 simplificada

Teniendo en cuenta los resultados de modelo hidráulico y el diagnóstico de riesgo por inundación, de la red pluvial de alcantarillado de la UGA 251, para los parámetros de esfuerzo cortante, esfuerzo cortante con 10 % de llenado de la tubería y la relación máxima de llenado (y/D) presentaron un porcentaje de riesgo causado de 19,12% en ambos casos de esfuerzo cortante y 5,098% para el caso de la relación máxima de llenado y según la clasificación de riesgo, están en la escala de **riesgo muy bajo** que se encuentran en los rangos de 0 al 20% de grado de daño causado, si bien es la clasificación de riesgo más baja y de vulnerabilidad menos frecuente, la red pluvial de alcantarillado, presenta algunos tramos de tubería, que no cumplen los parámetros de evaluación hidráulico como lo muestran las **Tablas 18 y 19**:

Tabla 18. Tramos de la red pluvial de la UGA 251 simplificada que no cumplieron el parámetro de Esfuerzo Cortante y Esfuerzo cortante (10 % de capacidad de llenado $\geq 3 \text{ N/m}^2$)

Pozo Inicial	Pozo Final	ID Tramo	Material	Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud del tramo (m)	Esfuerzo cortante (N/m ²)
PMP63417	PMP63416	PLT82509	Ladrillo	375	14	10,7	2,499
PMI60242	PMP61961	PLT79269	Concreto	375	14	12,9	1,826
PMP60762	PMP63417	PLT82508	Ladrillo	375	14	14,4	2,861
PMP63418	PMP63416	PLT82510	Ladrillo	600	24	16,5	1,826
PMP61644	PMP61329	PLT79383	Concreto	300	12	20	1,854
PMP60780	PMP62838	PLT79445	Concreto	300	12	26,9	2,7
PMI60325	PMP61658	PLT79625	Concreto	375	14	30,5	1,826
PMP62554	PMP60782	PLT79441	Concreto	300	12	31,1	2,7
PMP63419	PMP60987	PLT82531	Desconocido	600	24	31,2	1,925

PMI60486	PMP61971	PLT79682	Desconocido	450	18	43,7	1,925
PMP61338	PMP62236	PLT79378	Concreto	375	14	44,7	2,397
PMP61005	PMP63425	PLT82489	Concreto	300	12	47,7	2,7
PMP61971	PMP61005	PLT79683	Concreto	450	18	56	2,236
PMP61335	PMP61324	PLT79259	Concreto	450	18	60,7	2,236
PMI60419	PMP61967	PLT79265	Concreto	375	16	64	1,826

Fuente: Microsoft Excel

Tabla 19. Tramos de red pluvial de la UGA 251 simplificada que no cumplieron el parámetro de capacidad de llenado > 80%

Fuente: Microsoft Excel

Los 15 tramos de 51 no superan el valor de los 3.0 N/m², para el parámetro de evaluación de esfuerzo cortante en ambos casos, es decir el 29,41% y en longitud 0,511 km de 2,167 km de red pluvial, es decir un 23,58%.

Para el parámetro de relación máxima de llenado superando el 80%, el modelo mostró que 47 de 51 tramos, es decir el 7,84%, no cumplen esa condición y entorno a la longitud 0,1854 km de 2,167 km de red pluvial, es decir, un 8,56%.

Pozo Inicial	Pozo Final	ID Tramo	Material	Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud del tramo (m)	Capacidad de llenado (%)
PMP62227	PMP62546	PLT79485	Desconocido	525	22	18,5	80,2
PMP60987	PMP61317	PLT79448	Concreto	450	18	21,4	99,9
PMP61937	PMP60987	PLT79261	Concreto	450	18	67,7	94,6
PMP62227	PMP60762	PLT80642	Concreto	525	22	77,8	81,9

En general, son porcentajes bajos que no alteran el comportamiento hidrológico, hidráulico y de riesgos por inundación en gran magnitud, sin embargo, la función y el objetivo de prestar servicios de alcantarillado pluvial, sanitario o combinado, debe ser óptimo y funcional. Además, debe mitigar al máximo el factor de vulnerabilidad que siempre está latente, que puede tomar por sorpresa cualquier situación desafortunada afectando los bienes materiales o peor aún la vida humana, la flora o la fauna.

9.1.1 Alternativa 1

Como la clasificación de riesgo por inundación para los parámetros de esfuerzos cortante, esfuerzo cortante para un 10% de capacidad de llenado y la relación máxima de llenado, obtuvieron probabilidad de ocurrencia baja, una intensidad de amenaza media, una vulnerabilidad latente con factor 1, independientemente de su alto o bajo grado de la misma y el mayor puntaje de elementos asociados a la vulnerabilidad con 13 y llegando a un porcentaje de daño causado o riesgo inferior al 20%, la clasificación final del nivel resulta siendo un riesgo **muy bajo**, como se muestra en la **Tabla 16**. En ese orden de ideas, la posibilidad de que ocurra el riesgo por inundación es remoto. Por lo tanto, se sugiere no rehabilitar o reparar algún colector de la red pluvial del UGA 251, para ahorrar presupuesto y por los resultados diagnosticados y evaluados tanto en el proceso hidráulico, como en el proceso de la metodología de aritmética de diagnóstico de riesgos por inundación.

9.1.2 Alternativa 2

Rehabilitar los 15 tramos que fallan, por esfuerzo cortante y esfuerzo cortante para el 10% de capacidad de llenado son una longitud relativamente pequeña 0,511 km de red, menos de 25% de la red pluvial escogida para este proyecto académico, como primera opción viable, a cada uno de los tramos se les pudo aumentar el diámetro nominal, e ir experimentando nuevamente con el modelo hidráulico hasta alcanzar los 3.0 N/m^2 como valores óptimos de esfuerzo cortante, para las 2 opciones, por ejemplo: aquellos colectores que tengan 12 pulgadas aumentarlos a 14 pulgadas, los de 14 pulgadas pasan a ser de 16 pulgadas y así sucesivamente. De igual manera, rehabilitar los 4 tramos que superan el 80% de la relación máxima de llenado (y/D), con una longitud de 0,185 Km de red, un 8,56% de la red total pluvial simplificada y solamente un 7,84 % que afectan este parámetro.

En total la red de alcantarillado pluvial simplificada de la UGA 251, tendría que rehabilitar un total de 19 tramos de 51, un 37,25% de la red afectada, para solventar los 3 parámetros de evaluación hidráulica, según los criterios de diseño y operación de sistemas de alcantarillado de la NS-085 de la EAAB-ESP o en su defecto se haría una inspección con circuito cerrado de televisión (CCTV) a los tramos que presentan la problemática, se deben verificar los niveles de sedimentación y mediante mantenimiento puntualizado para mejorar el sistema de drenaje .

9.1.3 Alternativa 3

Realizar reparaciones puntuales de los tramos que no cumplen los requisitos de evaluación de diseño de sistemas de alcantarillado. Sería lo ideal, para ahorrar mano de obra, tiempo y presupuesto e ir reparando algunos tramos inferiores a los 2.5 N/m^2 , pasan a ser 10 de los 15, que se deben reparar y para el parámetro de relación máxima de llenado (y/D) se podría empezar, por reparar los que superan el 90% de llenado temporalmente, pasaría a ser 2 tramos de 4.

En total la red de alcantarillado pluvial simplificada de la UGA 251, tendría que un total de 14 tramos de 51, un 27,45% de la red afectada, para solventar los 3 parámetros de evaluación hidráulica, según los criterios de diseño y operación de sistemas de alcantarillado de la NS-085 de la EAAB-ESP, o en su defecto se haría una inspección con circuito cerrado de televisión (CCTV) a los tramos que presentan la problemática para verificar los niveles de sedimentación y mediante mantenimiento puntualizado se mejore el sistema de drenaje.

9.2 Alternativas por el método gráfico de evaluación de riesgo por inundación para la red pluvial de alcantarillado de la UGA 251 simplificada

A partir de las áreas de drenaje y los sumideros utilizados durante el proceso de modelación hidrológica, los resultados del diagnóstico de riesgo por inundación fueron los siguientes, como lo muestran la **Tabla 17** y la **Ilustración 27**, respectivamente:

- **19** de 79 áreas de drenaje, califican en el rango de riesgo **muy bajo** y su porcentaje de áreas afectadas a partir de la calificación del mismo es del **24,05%**.
- **27** de 79 áreas de drenaje, califican en el rango de riesgo **bajo** y su porcentaje de áreas afectadas mediante la calificación del mismo es del **34,18%**.
- **24** de 79 áreas de drenaje, califican en el rango de riesgo **medio** y su porcentaje de áreas afectadas a partir de la calificación del mismo es del **30,38 %**.
- **9** de 79 áreas de drenaje, califican en el rango de riesgo **alto** y su porcentaje de áreas afectadas mediante la calificación del mismo es del **11,39 %**.

9.2.1 Alternativa 1

Para la evaluación de riesgos por inundación a través de este método gráfico, con los resultados obtenidos de la **Ilustración 26**, no habría necesidad de implementar más estructuras hidráulicas de captación, en este caso los sumideros, ya que solamente se verían afectadas 9 áreas, con un porcentaje de áreas afectadas a partir de la calificación del riesgo de tan sólo el 11,39%, que presentaron calificación de riesgo alta y solamente se intervendría, si en futuras ocasiones, estas áreas de drenajes llegarán a la calificación de riesgo muy alto, esto en término de ahorro de presupuesto, tiempo, mano de obra, entre otros.

9.2.2 Alternativa 2

A partir de los resultados del diagnóstico de riesgos por inundación de la red pluvial de alcantarillado del UGA 251 simplificada, mostrados en la **Ilustración 26**, no existieron áreas afectadas por una calificación de riesgo muy alta, 9 áreas afectadas por una calificación de riesgo alta y 24 áreas afectadas por una calificación de riesgo media, sumando los porcentajes de áreas afectadas a partir de estos dos rangos de calificación da un valor de 41,77%, este valor en la **Tabla 17**. Clasificación de riesgos por inundación (Granger, 2009) estaría en el rango entre el 40,1% - 60%, es decir, la calificación del riesgo sería **medio**. Por tanto, es de vital importancia, una intervención operativa aumentando el número sumideros, para cada una de las áreas de drenaje afectadas, de al menos 2 sumideros por área, es decir pasar de 33 a 66 sumideros para poder reducir y mitigar el riesgo por inundación en cada una de estas zonas y en gran parte de la UGA 251 simplificada.

9.2.3 Alternativa 3

Sumadas las áreas de calificación muy baja y baja dan 46 áreas equivalen a un 58,22% de áreas con riesgos de inundación, que se reflejan en la **Ilustración 25 y 26**, si bien es un resultado positivo y alentador, el objetivo operativo de la red pluvial de alcantarillado y sus estructuras de captación, filtración y suministro hídrico deben funcionar adecuadamente en todos los aspectos y mitigar la probabilidad de ocurrencia de peligro, la intensidad de amenaza de fenómenos naturales, la vulnerabilidad del problema , proteger aquellos elementos materiales y a los seres vivos que son parámetros y factores que causan riesgo, en este caso las inundaciones, para esta alternativa, se sugiere implementar más de un sumidero por área de drenaje, es decir, pasar de los 46 a 92 sumideros que capten el recurso hídrico de manera más efectiva y llegar a que el riesgo por inundación sea casi nulo, aumentando el presupuesto de inversión, tiempo y mano de obra y así

mejorar el comportamiento estructural, hidráulico y técnico de la red pluvial de alcantarillado de la UGA 251 simplificada, además se recomienda previo a la construcción de más estructuras verificar los niveles de sedimentación de la red .

10 CONCLUSIONES

10.1 Conclusión por el método aritmético de evaluación de riesgo por inundación para las redes de alcantarillado pluvial de la UGA 251 simplificada

Los parámetros de evaluación para el diagnóstico hidráulico tales como: relación máxima de llenado (y/D), velocidades máximas, diámetros mínimos nominales permitidos, esfuerzo cortante y esfuerzo cortante para capacidad de llenado del 10%, permitieron hallar la probabilidad de ocurrencia de peligro (**P**) para los escenarios de riesgo por inundación.

La intensidad de peligro (**I**) se halló para el análisis hidrológico, con un tiempo de retorno de 25 años, una duración de 60 minutos, la intensidad calculada fue de 52,62 cm y así clasificándose como una intensidad media según la **Tabla 13**.

La vulnerabilidad (**V**) es un factor unitario, ya que siempre existirá susceptibilidad o predisposición de daños estructurales u operativos de la red de alcantarillado pluvial. No importa si los elementos de riesgo son seres vivos o bienes materiales, este factor siempre es existente.

Los elementos de riesgo (**E**) que son altamente afectados por el fenómeno de inundación en distintas áreas como economía, medio ambiente, viviendas, lugares laborales, centros educativos, entre otros, se clasifican de acuerdo a un puntaje de vulnerabilidad con lo indica la **Tabla 14**.

Para diagnosticar el cuantitativamente o por el método aritmético, se realiza el producto de los 4 factores anteriormente mencionados:

- **Probabilidad de ocurrencia (P)**
- **Intensidad de amenaza (I)**
- **Vulnerabilidad del problema (V)**
- **Elementos de riesgo asociados a la vulnerabilidad (E)**

$$R = P * I * V * E$$

Finalmente, para 3 de los 5 parámetros del diagnóstico hidráulico: Los resultados fueron los siguientes como se muestran en la **Tabla 16**:

- **Esfuerzo cortante:** Riesgo es de un 19,12% y su clasificación es de **Riesgo muy bajo**.
- **Esfuerzo cortante para 10% de llenado:** Riesgo es de un 19,12% y su clasificación es de **Riesgo muy bajo**.
- **Relación máxima de llenado (y/D):** Riesgo es de un 5,098 % y su clasificación es de **Riesgo muy bajo**.

Se plantearon 3 alternativas, como se muestra en el **numeral 9.1**. y se sugiere escoger la **Alternativa 2**.

Se deben rehabilitar, los tramos que fallan por 3 de 5 parámetros de evaluación hidráulica, 15 de ellos por esfuerzo cortante y esfuerzo cortante para el 10% de capacidad de llenado con una longitud relativamente pequeña 0,511 kilómetros de red, menos de 25% de la red pluvial escogida y otros 4 que superan el 80% de la relación máxima de llenado (y/D), con una longitud de 0,185 kilómetros de red, un 8,56% de la red total pluvial simplificada.

Se tendrían que reparar un total de 19 tramos de 5,1 un 37,25% de la red afectada, para solventar los 3 parámetros de evaluación hidráulica, según los criterios de diseño y operación que indica la NS-085 de la EAAB-ESP. Además. los tramos que presentan la problemática se deben verificar

los niveles de sedimentación y mediante mantenimiento puntualizado para mejorar el sistema de drenaje

10.2 Conclusión por el método gráfico de evaluación de riesgo por inundación para la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 simplificada

El método gráfico de evaluación de riesgo por inundación, se realizó mediante la estimación de la función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria, mediante el software ArcMap. Para este caso se tomaron como referencia los sumideros, que son estructuras diseñadas y construidas con el propósito de captar las aguas de escorrentía que pasan por las calzadas de las vías, para entregarlas a conexiones o pozos de inspección de sistemas de alcantarillado.

Los resultados mediante la densidad de Kernel, demuestran el método gráfico, a partir de los sumideros como elementos hidráulicos, evidenciados en la **Tabla 17** y la **Ilustración 35**:

- El mayor porcentaje de áreas afectadas por calificación de riesgo fueron 27, con un 34,18 % y con calificación de riesgo por inundación **baja**.
- Solo 9 áreas afectadas con calificación **alta** presentaron un 11,39% de riesgo con esa calificación.
- El segundo porcentaje de áreas afectas por calificación de riesgo fueron 24, con un 34,28% y una calificación de riesgo por inundación **medio**, según el método gráfico.
- 19 de 79 áreas presentaron una calificación de riesgo por inundación **muy baja** con un 24,05% de porcentaje de áreas afectadas.

Al igual que para la evaluación de riesgos por inundación por el método aritmético, se plantearon 3 alternativas y se escogió la alternativa del **numeral 9.2.3**, es decir, la **Alternativa 3**.

Se deben implementar más de un sumidero por área de drenaje para las calificadas de riesgo bajo y muy bajo, pasar de 46 a 92 sumideros, que capturen el recurso hídrico de manera más efectiva y buscando que el riesgo por inundación se acerque a los límites de 0, así se deba invertir en presupuesto, tiempo y mano de obra para lograr un comportamiento estructural y operativo óptimo de la red pluvial de alcantarillado de la UGA 251 simplificada.

10.3 Conclusión cooperativa entre los métodos de evaluación de riesgo por inundación de la red de alcantarillado pluvial para la UGA 251 simplificada







Para lograr facilitar una evaluación más precisa y eficiente, se sugiere hallar la forma de implementar de manera conjunta una georreferenciación, entre la base de datos del método aritmético y el método gráfico, lo cual evitaría pérdida de información y pondría en funcionamiento de manera sistemática toda la información y los instrumentos cartográficos del sistema de información geográfica (SIG).

11 ANEXOS

Los archivos digitales se distribuyeron de la siguiente manera:

- **ArcGIS:** Shapes de UGA, áreas de drenaje, redes locales y troncales pluvial de la red de alcantarillado, pozos y sumideros.
- **Microsoft Excel:** Contiene los archivos de coordenadas y sumideros de la UGA 251, intensidades y precipitaciones halladas en el modelo hidrológico, la tabla con la reducción de sumideros trabajados de la UGA 251, tabla de verificación de diseño, las tablas con los resultados de diagnóstico de riesgos por inundación, por los métodos aritmético y gráfico respectivamente.
- **Hec-HMS:** Contiene el archivo del modelo hidrológico de la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 simplificada.
- **Imágenes Etapa 1:** Ilustraciones de los resultados de la etapa hidrológica del proyecto mediante el programa Hec- HMS.
- **Imágenes Etapa 2:** Ilustraciones de los resultados de la etapa hidráulica y de análisis de riesgo mediante los programas Sewer GEMS y ArcMap 10.2.2.
- **Sewer GEMS:** Contiene el archivo del modelo hidráulico de la red de alcantarillado pluvial de la UGA 251 reducida.
- **Microsoft Word:** Contiene el documento escrito definitivo del proyecto de grado.

Ilustración 42. Distribución de archivos y anexos

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
 ArcGis	21/10/2021 8:22 p. m.	Carpeta de archivos
 Excel	7/03/2022 11:45 a. m.	Carpeta de archivos
 Hec-HMS	21/10/2021 8:27 p. m.	Carpeta de archivos
 Imágenes Etapa 1	9/11/2021 8:37 p. m.	Carpeta de archivos
 Imágenes Etapa 2	6/02/2022 10:23 p. m.	Carpeta de archivos
 Sewer GEMS	24/11/2021 2:13 p. m.	Carpeta de archivos
 Word	24/11/2021 2:14 p. m.	Carpeta de archivos

Fuente: Propia

12 BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Mayor de Bogotá (2018). Decreto 837 de 2018. Disponible en < <https://www.idiger.gov.co/> > Consultado: 18 de mayo de 2021.

Colombia, Congreso de la República (2012). Ley 1523 de 2012: Política Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres. Colombia: Gobierno de Colombia. Disponible en < <http://www.secretariassenado.gov.co/> > Consultado: 17 de mayo de 2021.

Blaikie P, Cannon T., Davis I., Wisner B. (2014). Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters, New York, Routledge, Second Edition. Disponible en < <http://www.scirp.org/> > Consultado: 24 de enero de 2022.

Caradot N., Cherqui N., (2010). L'évaluation du risque de débordement des systèmes de gestion des eaux urbaines. Contributions méthodologiques de deux cas d'études (Lyon et Mulhouse) Disponible en < <https://www.researchgate.net/> > Consultado: 13 de septiembre de 2021.

Cherqui, F., Chappier J., Caradot N., Granger D. (2011) Urban flood risk assessment using sewer flooding databases. France: IWA Publishing. Water Science & Technology. Disponible en < <https://www.researchgate.net/> > Consultado: 19 de mayo de 2021.

Colombia, Defensoría, D.P (2011). Emergencia en Colombia por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, Bogotá: Defensoría del Pueblo. Disponible en < <http://defensoria.gov.co> > Consultado: 27 de febrero de 2021.

Díaz L., Rodríguez A. (2013). Mapa de Zonas Vulnerables a inundaciones en el barrio Nectario Andrades Labarca. Venezuela: Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo. Disponible en < <https://www.redalyc.org/>> Consultado: 6 de mayo de 2021.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (2010). Norma Técnica de Servicio. Aspectos Técnicos para Inspección de redes y estructuras de alcantarillado (NS-058). Bogotá: EAAB-ESP. Disponible en < <https://acueducto.com.co/> > Consultado: 10 de septiembre de 2021.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (2010). Norma Técnica de Servicio. Sumideros (NS-047). Bogotá: EAAB-ESP. Disponible en < <https://acueducto.com.co/> > Consultado: 13 de septiembre de 2021.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (2006). Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Bogotá: EAB-ESP. Disponible en < <https://acueducto.com.co/> > Consultado: 27 de febrero de 2021.

Flood and Water Damage (2020). Three common types of floods explained. Zurich: Zurich Resilience Solutions-Risk Engineering. Disponible en

< <https://zurich.com/en/knowledge/topics/flood-and-water-damage/three-common-types-of-flood> > Consultado: 20 de mayo de 2021.

Granger D. (2009), *Méthodologie d'aide à la gestion durable des eaux urbaines*, thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA). Disponible en <<https://www.researchgate.net/> > Consultado: 31 de enero de 2022.

Granger D., Caradot N., Cherqui F., Chocat B. (2009), *Gestion durable des eaux urbaines et qualité de service*. Disponible en < <https://www.researchgate.net/> > Consultado: 31 de enero de 2022.

Granger D., Caradot N., Cherqui F., Chocat B., 2010, *¿Comment manager durablement un système de gestion des eaux urbaines?* Disponible en <<https://www.researchgate.net/> > Consultado: 3 de febrero de 2022.

González, J (2014). *La Gestión del Riesgo de Desastres en las Inundaciones de Colombia: Una Mirada Crítica*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Disponible en < <http://repository.ucatolica.edu.co> > Consultado: 19 de febrero de 2021.

Hernández, C (2012). *Una Metodología de Evaluación del Riesgo Público por Inundación por falla del Sistema de Alcantarillado Pluvial caso de la Cuenca del Río Salitre*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11057> > Consultado: 12 de febrero de 2021.

Instituto de Gestión del Riesgo y Cambio Climático (2019) Bogotá: IDIGER. Disponible en < www.idiger.gov.co/rinundacion> Consultado: 3 de marzo de 2021.

Messner F., Meyer V., (2005). Flood damage, vulnerability and risk perception – Challenges for flood damage research. Disponible en <<https://www.researchgate.net/>> Consultado: 3 de febrero de 2022.

Moura P., (2008), Méthode d'évaluation des performances des systèmes d'infiltration des eaux de ruissellement en milieu urbain, Thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées, Lyon. Disponible en <<https://www.researchgate.net/>> Consultado: 7 de febrero de 2022

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Metodología para Evaluar los Riesgos incorporando la Gestión de Riesgo de Desastres y Adaptación al Cambio Climático en Proyectos de Inversión Pública. Colombia: Gobierno de Colombia. Disponible en < <https://www.dnp.gov.co/>> Consultado: 6 de mayo de 2021.

Colombia. Ministerio de Vivienda (2014). Herramienta metodológica para la formulación de programas de Gestión de Riesgo de Desastres en los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo. Colombia: Unicef y Superintendencia de los Servicios Públicos Domiciliarios. Disponible en: < <http://cedir.gestiondelriesgo.gov.co/>> Consultado: 12 de febrero de 2021.

Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2019). Resolución CRA 906 de 2019: Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. Colombia: Gobierno de

Colombia. Disponible en < <https://cra.gov.co/documents/RESOLUCION-906-2019.pdf> >
Consultado: 11 de mayo de 2021.

Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021). Resolución 799 de 2021. Por la cual se modifica la Resolución 330 de 2017. Disponible en < <http://www.acofi.edu.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-799-de-2021.pdf> > Consultado: 11 de mayo de 2021 .

Colombia. Ministerio de Vivienda (2010). Sistemas de Recolección y Evaluación de Aguas Residuales Domésticas y Pluviales. Bogotá: Min Vivienda. Disponible en < <https://minvivienda.gov.co/>> Consultado: 9 de marzo de 2021

Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 154 de 2014, Lineamientos para la Formulación de los Planes de Emergencia y Contingencia. Colombia: Gobierno de Colombia. Disponible en < <https://www.minvivienda.gov.co/> > Consultado: 17 de mayo de 2021.

Penning-Rowsell E., Floyd P., Ramsbottom D., Surendran S., 2005, Estimating injury and loss of life in floods: a deterministic framework, Natural Hazard. Disponible en <<https://www.researchgate.net/>> Consultado: 7 de febrero de 2022

Pineda R., (2013). Diagnóstico de la Gestión Integral del Riesgo por Inundaciones y avenidas Torrenciales en Ríos Urbanos del Departamento de Caldas. Manizales. Universidad Católica de Manizales. Disponible en: < <https://repositorio.ucm.edu.co> > Consultado: 6 febrero 2021.

Pomerol J., Barba-Romero S., 2000, Multicriterio Decisión Making in Management, Series in Operation Disponible <<https://www.researchgate.net/>> Consultado: 12 de febrero de 2022

Robayo, A (2014). Análisis de Amenaza por Inundación para la Localidad de Tunjuelito, Desarrollado a través de Sistemas de Información Geográfico. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Disponible < <http://repository.ucatolica.edu.co>> Consultado: 14 de febrero de 2021.

Scholz, M (2013). Drivers of Changing Urban Flood Risk: A framework of action. England: University of Salford. Disponible en <<https://portal.research.lu.se/>> Consultado: 19 de febrero de 2021.

Van Bijnen, M., Korving, H, Langeveld, J., Clemens, F (2018). Quantitative Impact Assessment of Sewer Condition on Health Risk. The Netherlands: Delft University of Technology. Disponible en < <https://www.researchgate.net/>> Consultado: 20 de Mayo de 2021.