



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Diseño de redes de alcantarillado en términos de la normatividad actual colombiana mediante el programa “CALALC”

Cindy Viviana Vanegas Castillo

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Sanitaria

Bogotá, Colombia

2021

Diseño de redes de alcantarillado en términos de la normatividad actual colombiana mediante el programa “CALALC”

Cindy Viviana Vanegas Castillo

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de: Ingeniero Sanitario

Director (a):

M.Eng. Caudex Vitelio Peñaranda Osorio

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Sanitaria

Bogotá, Colombia

2021

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

Resumen

El diseño de redes de alcantarillado es una rama que cobra relevancia para el ingeniero sanitario, por tal motivo es necesario implementar herramientas que faciliten su comprensión y dinamicen los procesos de cálculo, teniendo en cuenta esto, la herramienta CALALC es de utilidad en ámbito académico pues permite la comprensión de los fenómenos presentados y el análisis de los procedimientos matemáticos realizados internamente en la hoja de cálculo, teniendo en cuenta esto, esta monografía tiene como objetivo actualizar la herramienta CALALC en términos normativos, evaluar su adecuado funcionamiento y encontrar opciones de mejora para futuros diseños de redes, para ello se abordaron tres etapas en el desarrollo metodológico, procesamiento, análisis y evaluación de la información, partiendo por un lado de los cambios normativos en el país y de la afectación de estos en la programación de CALALC y posteriormente tras las modificaciones en la programación, la comparación de resultados con una red de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y con una modelación en SWMM 5.1. dentro de los resultados más relevantes se obtuvieron catorce parámetros a modificar en la programación de CALALC y después de correr el programa con el diseño base se lograron resultados acertados en el diseño de la red ya que al realizar la comparación de errores estos se encontraron considerablemente bajos, se determinó que tras la actualización normativa de CALALC los resultados que arroja, siguen siendo precisos para la implementación del programa en el diseño de redes de alcantarillado.

Palabras clave: CALALC, SWMM 5.1, diseño de alcantarillados, flujo uniforme.

Abstract

The design of sewer networks is a branch that becomes relevant for the sanitary engineer, for this reason it is necessary to implement tools that facilitate their understanding and streamline the calculation processes, taking this into account, the CALALC tool is useful in the academic field because allows the understanding of the phenomena presented and the analysis of the mathematical procedures carried out internally in the spreadsheet, taking this into account, this monograph aims to update the CALALC tool in normative terms, evaluate its proper functioning and find improvement options for future network designs, for this, three stages were approached in the methodological development, processing, analysis and evaluation of the information, starting on the one hand with the normative changes in the country and their impact on CALALC's programming and later after modifications in programming, comparison of results with u na network of the Aqueduct and Sewerage Company of Bogotá and with a modeling in SWMM 5.1. Among the most relevant results, fourteen parameters were obtained to modify in the CALALC programming and after running the program with the base design, successful results were achieved in the network design, since when comparing errors, these were found to be considerably low. , it was determined that after CALALC's normative update, the results it yields are still accurate for the implementation of the program in the design of sewerage networks.

Keywords: CALALC, SWMM 5.1, sewer design, uniform flow.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Abstract	VIII
Lista de ecuaciones	XI
Lista de figuras	XII
Lista de tablas	XIII
Introducción	1
1. Capítulo 1: El problema y sus antecedentes	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.1.1 Evaluación del desempeño del libro de cálculo de redes de alcantarillado sanitario y pluvial "CALALC"	4
1.1.2 Evaluación del desempeño del módulo de alcantarillado pluvial del libro de cálculo de redes de alcantarillado "CALALC".	4
1.1.3 Guía de diseño de redes de alcantarillado mediante el programa "CALALC".....	5
1.1.4 Comparación entre los resultados ofrecidos por el programa CALALC y el programa SWMM V 5.1 en la etapa de diseño de redes de alcantarillados.	5
1.2 Planteamiento del problema y justificación	5
1.2.1 Situación problema	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
2. Capítulo 2: Fundamento teórico	9
2.1 Marco conceptual	9
2.1.1 Storm Water Management Model (SWMM 5.1)	9
2.1.2 Programa CALALC	10
2.1.3 Raíz del error medio cuadrático (REMC).....	14
2.2 Marco geográfico	15
2.3 Marco legal	16
3. Capítulo 3: Marco metodológico	17
4. Capítulo 4: Recopilación y análisis de la información	19
4.1 Análisis histórico de la evolución de CALALC	19

4.2	Actualización normativa.....	28
4.2.1	Dotación neta por habitante	28
4.2.2	Periodo de diseño.....	28
4.2.3	Caudal de aguas residuales domesticas (<i>QD</i>).....	29
4.2.4	Caudal de aguas residuales industriales (<i>QI</i>).....	30
4.2.5	Caudal de aguas residuales comerciales (<i>QC</i>)	30
4.2.6	Caudal de aguas residuales institucionales (<i>QIN</i>).....	30
4.2.7	Caudal de aguas residuales por conexiones erradas (<i>QCE</i>).....	31
4.2.8	Caudales por infiltración (<i>QINF</i>)	31
4.2.9	Factor de mayoración (<i>F</i>)	31
4.2.10	Diámetro interno real mínimo.....	32
4.2.11	Relación máxima entre la profundidad y el diámetro de la tubería	32
4.2.12	Velocidad mínima permitida.....	33
4.2.13	Velocidad máxima permitida	33
4.3	Validación funcionamiento CALALC	33
4.3.1	Descripción Red Villa Rosita EAAB	34
4.3.2	Comparación CALALC vs EAAB.....	37
4.3.3	Comparación CALALC VS SWMM.	41
5.	Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones	48
5.1	Conclusiones.....	48
5.2	Recomendaciones.....	50
6.	Anexos.....	53
A.	Anexo: Comparación detallada normatividad.....	53
B.	Anexo: Resultados diseño de alcantarillado CALALC vs EAAB	69
C.	Anexo: Resultados diseño de alcantarillado CALALC vs modelación SWMM..	82
7.	Bibliografía	92

Lista de ecuaciones

	Pag.
Ecuación 2-1. REMC	15
Ecuación 4-1. <i>Caudal de aguas residuales domesticas de demanda de agua</i>	29
Ecuación 4-2. <i>Caudal de aguas residuales domesticas de proyección de suscriptores.</i> 29	29
Ecuación 4-3. <i>Caudal de aguas residuales domesticas de proyección de población.....</i> 29	29
Ecuación 4-4. <i>Ecuación de Flores</i>	32
Ecuación 4-5. <i>Ecuación de los Ángeles</i>	32
Ecuación 4-6. <i>Ecuación de Gaines</i>	32
Ecuación 4-7. <i>Velocidad mínima a tubo lleno para condiciones iniciales</i>	33
Ecuación 4-8. <i>Factor de fricción en el lecho de sedimentos</i>	33
Ecuación 4-9. <i>Altura de la lámina de agua en el colector</i>	45
Ecuación 4-10. <i>Ángulo característico theta</i>	45
Ecuación 4-11. <i>Área Mojada</i>	45
Ecuación 4-12. <i>Ancho superficial</i>	46
Ecuación 4-13. <i>Profundidad hidráulica</i>	46
Ecuación 4-14. <i>Numero de Froude</i>	46
Ecuación 4-15. <i>Energía específica</i>	47

Lista de figuras

	Pag.
Figura 2-1 <i>Localización proyecto Villa Rosita</i> ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 3-1 <i>Metodología del desarrollo del proyecto</i> 18	18
Figura 4-1 <i>Esquema organizativo de las hojas de CALALC</i> 23	23
Figura 4-2. <i>Diseño general de la red de alcantarillado</i> 35	35
Figura 4-3. <i>Valores por defecto utilizados en SWMM 5.1</i> 41	41
Figura 4-4. <i>Trazado red de alcantarillado sanitario SWMM 5.1</i> 42	42

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1. <i>Tablas del RAS 2000 incluidas en CALALC</i>	14
Tabla 2-2. <i>Normatividad aplicable para el presente estudio</i>	16
Tabla 4-1 <i>Comparación entre los resultados presentados por López Cualla y CALALC</i>	20
Tabla 4-2 <i>Comparación entre los resultados presentados en el diseño de la EAAB y CALALC</i>	21
Tabla 4-3. <i>Comparación entre los resultados presentados por López Cualla y CALALC</i>	22
Tabla 4-4. <i>Comparación entre los resultados presentados en el diseño de la EAAB y CALALC</i>	22
Tabla 4-5. <i>Resumen de comparación de resultados CALALC – EAAB – SWMM</i>	26
Tabla 4-6. <i>Datos de entrada para el diseño de la red de alcantarillado sanitario</i>	35
Tabla 4-7. <i>Resumen REMC EAAB vs CALALC</i>	38
Tabla 4-8. <i>Resumen de la raíz del error medio cuadrado, SWMM vs CALALC</i>	44
Tabla 6-1. <i>Comparación detallada normatividad</i>	53
Tabla 6-2. <i>RECM Alturas de flujo CALALC vs EAAB</i>	69
Tabla 6-3. <i>RECM Velocidad de flujo CALALC vs EAAB</i>	71
Tabla 6-4. <i>RECM Energía específica CALALC vs EAAB</i>	72
Tabla 6-5. <i>RECM Profundidad hidráulica CALALC vs EAAB</i>	74
Tabla 6-6. <i>RECM Froude CALALC vs EAAB</i>	76

Tabla 6-7. <i>RECM Esfuerzo cortante CALALC vs EAAB</i>	78
Tabla 6-8. <i>RECM Cotas bateas CALALC vs EAAB</i>	79
Tabla 6-9. <i>RECM Alturas de flujo CALALC vs SWMM</i>	82
Tabla 6-10. <i>RECM Velocidad de flujo CALALC vs SWMM</i>	84
Tabla 6-11. <i>REMC Froude CALALC vs SWMM</i> -.....	85
Tabla 6-12. <i>REMC Profundidad hidráulica CALALC vs SWMM</i>	87
Tabla 6-13. <i>REMC Energía específica CALALC vs SWMM</i>	89

Introducción

En la presente monografía se aborda el tema de diseño de redes de alcantarillado sanitario desde una perspectiva técnica y académica, dado que es un tema de relevancia para el ingeniero sanitario se hace indispensable que sea comprendido y manejado a cabalidad, por tal motivo es necesario la implementación de herramientas que faciliten los procesos matemáticos y ayuden a la comprensión de los fenómenos presentados en lo que refiere a estos diseños. Por todo esto CALALC se constituye como una herramienta útil en el aprendizaje de esta área de la ingeniería sanitaria, así como en la posterior aplicación profesional para aquellos que quieran dedicarse a este ámbito.

Partiendo de ello es necesario que CALALC esté en continua mejora y actualización con el fin de que los resultados obtenidos tras su implementación sean precisos y confiables, por consiguiente y tras las modificaciones normativas a las que se ha visto abocado nuestro país en términos de diseño de alcantarillados, se suscita el interés de realizar la actualización en la programación de CALALC, con el fin de que quede acorde a la normatividad colombiana vigente.

Así mismo tras esta modificación programática, se hace necesario verificar que el funcionamiento general de CALALC y la calidad de los resultados ofrecidos sigan siendo de alta calidad y precisión y con ello que pueda seguir siendo utilizado en la formación de ingenieros sanitarios y por qué no, en diseños reales de redes.

En el marco de estos objetivos se llevó a cabo la indagación de la evolución de CALALC, posteriormente, la comparación de la normatividad antigua y la vigente para con ello realizar la actualización en la programación y finalmente la verificación del funcionamiento mediante la comparación de las memorias de cálculo del diseño de una red de alcantarillado diseñado e instalado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), con los resultados arrojados por CALALC al diseñar la misma red bajo las

mismas condiciones, así mismo una segunda verificación con el modelamiento en el programa SWMM 5.1 desarrollado por la EPA, ya que este es un programa mundialmente reconocido y utilizado.

En dicha comparación se revisaron los criterios específicos para el diseño de alcantarillados como, profundidad de la lámina de agua, velocidad, esfuerzo cortante, profundidad hidráulica, número de Froude y cota batea superior, evaluados mediante la Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC), obteniendo como resultados, errores mínimos en las comparaciones entre la EAAB vs CALALC y SWMM vs CALALC en el diseño del sistema de alcantarillado sanitario con flujo uniforme.

Por otra parte, dentro del desarrollo constante de CALALC es necesario analizar las falencias u opciones de mejora que puedan tener lugar para que CALALC continúe en permanente mejora y se afiance como una herramienta educativa que siga permitiendo a los futuros ingenieros afianzar sus conocimientos en términos de diseño de sistemas de alcantarillado.

De esta manera, en esta monografía el lector encuentra cinco capítulos distribuidos así: Capítulo 1, el problema y sus antecedentes; Capítulo 2, fundamento teórico; Capítulo 3, marco metodológico; Capítulo 4, recopilación y análisis de la información y por último Capítulo 5, conclusiones y recomendaciones.

1. Capítulo 1: El problema y sus antecedentes

1.1 Antecedentes

El diseño de redes de alcantarillado implica dedicación, comprensión y aplicación de diversos conceptos hidráulicos y técnicos, como por ejemplo, pozo de inspección, colector, caudal de diseño, áreas de drenaje, lámina de agua, número de Froude, profundidad hidráulica y esfuerzo cortante, entre otros, así como múltiples cálculos, según Valero (2014) esto en ocasiones dificulta la comprensión de esta temática fundamental en la formación de los ingenieros sanitarios, dicha dificultad radica principalmente en la formulación de procedimientos numéricos y no en el planteamiento de los conceptos fundamentales.

Ahora bien, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, a partir de año 2011 el Ingeniero Civil, MSC Jorge Alberto Valero Fandiño, docente de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, identificó la necesidad de ofrecer a los estudiantes herramientas novedosas y didácticas que les facilitaran la comprensión y manejo de procedimientos y con ello surgió inicialmente el desarrollo de una hoja de cálculo que les facilitaba a los estudiantes la estimación de los caudales de diseño de redes de alcantarillado sanitario, posteriormente dicha hoja de cálculo fue desarrollándose hasta lo que hoy se conoce como la Calculadora de Alcantarillados: CALALC, que permite modelar redes de alcantarillado pluvial, sanitario y combinado, conformadas por cerca de un millón cincuenta mil colectores, esta herramienta es la base de esta monografía.

Desde sus primeras versiones CALALC ha tenido múltiples pruebas en los desarrollos de las clases de Alcantarillados en Tecnología en Saneamiento Ambiental e Ingeniería Sanitaria de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Así mismo, ha sido probado en tres trabajos de grado, Fernández (2013), Paipilla (2014) y Mora & Jiménez (2016). Por

otra parte, Valero (2014) escribió la guía para el usuario del programa, cada uno de estos antecedentes se describen a continuación en orden cronológico.

1.1.1 Evaluación del desempeño del libro de cálculo de redes de alcantarillado sanitario y pluvial "CALALC"

Esta fue la primera evaluación de CALALC realizada por Fernández (2013) como un proyecto de aplicación para optar por el título de Tecnólogo en Saneamiento Ambiental, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Según el autor el trabajo tuvo la finalidad de evaluar la calidad de los resultados de CALALC cuando el diseño del programa estaba en su primera etapa, pues hasta ese momento únicamente permitía el cálculo de caudales y empate por línea de energía de alcantarillados sanitarios. En esa fase de evaluación se realizó la comparación de los resultados ofrecidos por el programa con los datos de un proyecto de alcantarillado de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y con un ejemplo de diseño de alcantarillado sanitario convencional de López (2003), quien describe el desarrollo paso a paso el diseño de redes de alcantarillado.

1.1.2 Evaluación del desempeño del módulo de alcantarillado pluvial del libro de cálculo de redes de alcantarillado "CALALC".

La segunda evaluación del programa CALALC fue realizada por Paipilla (2014), como un trabajo aplicativo para optar por el título de Tecnólogo en Saneamiento Ambiental, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Describe el autor que en esta fase de evaluación, el programa ya permitía el cálculo de caudales y empate por línea de energía de alcantarillados sanitarios y pluviales, y dado que la sección de alcantarillado sanitario ya se había evaluado, este trabajo se enfocó en la evaluación de la sección de alcantarillado pluvial, en lo referente a, caudal, flujo y empate por línea de energía y con el fin de dar homogeneidad a los análisis, en este trabajo también se tomó el proyecto de la EAAB analizado por Fernández (2014) en la fase de diseño de alcantarillado pluvial, y un ejemplo de diseño de alcantarillado pluvial de López (2003), quien describe paso a paso el diseño de una red de alcantarillado pluvial.

1.1.3 Guía de diseño de redes de alcantarillado mediante el programa "CALALC"

A principios del año 2014 se culminó el desarrollo de CALALC contemplando el diseño total de redes de alcantarillado sanitario y pluvial. Sin embargo, según Valero (2014) tal desarrollo no estaba completo sin ofrecer una guía o manual de usuario que resolviese las dudas que pudieran surgir al momento de utilizar el programa. Por esto se creó una guía que contiene, el propósito de la guía, la descripción detallada de CALALC, ejemplos de diseño de redes de alcantarillado sanitario y pluvial y por último presenta un conjunto de comentarios adicionales respecto a su uso.

1.1.4 Comparación entre los resultados ofrecidos por el programa CALALC y el programa SWMM V 5.1 en la etapa de diseño de redes de alcantarillados.

En el año 2016 Mora & Jiménez para optar por el título de ingenieros sanitarios, realizaron la tercera evaluación de CALALC, en donde analizaron el diseño de una red de alcantarillado sanitario y pluvial de la EAAB denominada "Ensueño" ubicada al sur de Bogotá, en la localidad Ciudad Bolívar, haciendo una comparación del diseño con CALALC, SWMM versión 5.0 y los datos de diseño entregados por la EAAB, adicionalmente hicieron una evaluación de las consideraciones que se tenían propuestas en la versión del título D del RAS 2015, la cual para ese momento era una versión de prueba.

1.2 Planteamiento del problema y justificación

Desde épocas remotas el ser humano ha buscado la forma de deshacerse de las aguas residuales provenientes de la actividad humana, pasando por diversos sistemas de canales y tuberías, hoy en día debido a la urbanización de muchas zonas del país, se ve la necesidad de diseñar sistemas de recolección y transporte de aguas residuales con mayor tecnicidad; por tal motivo se hace necesario que las herramientas utilizadas para tal fin también cuenten con mayor rigor técnico y alta precisión, y además que las personas encargadas comprendan a cabalidad todas las etapas del diseño de un sistema de alcantarillado.

En ese orden de ideas la creación de la calculadora de alcantarillados CALALC supone un avance en términos académicos y prácticos del diseño de las redes de alcantarillados, ya

que facilita los cálculos matemáticos necesarios para el diseño de dichas redes y así mismo facilita los procesos comprensivos de los estudiantes de los conceptos necesarios para el adecuado diseño de una red de alcantarillados.

Desde la creación de CALALC se han realizado varias modificaciones que han sido probadas en diferentes trabajos de grado, tal como se mencionó en el capítulo de antecedentes, sin embargo, dados los cambios normativos a los que se ha visto abocado nuestro país en los últimos años respecto al diseño de redes de alcantarillado es necesario que CALALC esté en permanente actualización, por tal motivo, esta monografía pretende realizar las actualizaciones normativas a CALALC y poner a prueba estas con una red de alcantarillado de la ciudad de Bogotá, cuyas dimensiones de construcción fueron suministradas por la EAAB.

Teniendo presente que el programa CALALC es una herramienta pedagógica que facilita el aprendizaje del diseño de redes de alcantarillado, la actualización normativa de este, pretende mantener a los estudiantes actualizados con la normatividad colombiana, y que evidencien los cambios que se presentan con esta actualización normativa. Así mismo, esta monografía pretende comparar los resultados obtenidos mediante el programa CALALC con una red ya en funcionamiento de la EAAB, con el fin de corroborar que los resultados encontrados con CALALC presentan semejanza con los diseñados e instalados por la EAAB, mostrando así, que los resultados que entrega CALALC son de buena calidad.

1.2.1 Situación problema

En el diseño de redes de alcantarillado, se utilizan varias secuencias de cálculo, para facilitar este proceso y hacerlo más comprensible para los estudiantes se ha diseñado el programa CALALC, sin embargo, es necesario que conforme cambia la normatividad del país, sea actualizado el programa y por ende que su adecuado funcionamiento sea verificado tras cada actualización, para corroborar que las secuencias de cálculo no fueron afectadas y que los resultados siguen siendo acordes a los esperados, por tal motivo este trabajo de grado pretende realizar dicha actualización normativa y comprobar que el programa CALALC sigue funcionando de forma adecuada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad de los resultados ofrecidos por la hoja de cálculo de alcantarillados “CALALC” durante la etapa de diseño de redes de alcantarillado sanitario, bajo las últimas disposiciones normativas para Colombia.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar un análisis histórico de la evolución del programa CALALC, determinando los factores que han influido en su diseño final.

Realizar la actualización normativa de programa CALALC y verificar su adecuado funcionamiento.

Analizar los resultados obtenidos a partir de los diseños realizados por los modelos de simulación de alcantarillados.

Identificar deficiencias del libro de cálculo “CALALC” y proponer alternativas de solución.

2. Capítulo 2: Fundamento teórico

2.1 Marco conceptual

El diseño de redes de alcantarillado a través de la historia ha venido cobrando gran importancia, dada la necesidad de transportar las aguas residuales a su lugar de tratamiento o disposición final, con el fin de evitar enfermedades, este campo es abordado directamente por la ingeniería sanitaria, sin embargo, estos diseños presentan una alta dificultad y laboriosidad dada la amplia secuencia de cálculos matemáticos que se requieren, por ello a nivel mundial, nacional y local se han venido desarrollando programas como el Storm Water Management Model (SWMM), el libro de cálculo para el diseño de alcantarillado pluvial y sanitario de PAVCO, la hoja de cálculo de redes de alcantarillado de las empresas públicas de Medellín (EPM) y la calculadora de alcantarillados CALALC, entre otras; en esta monografía se utilizaron los programas SWMM en su versión 5.1 y CALALC, los cuales serán descritos brevemente a continuación.

2.1.1 Storm Water Management Model (SWMM 5.1)

Como establece la Environmental Protection Agency (EPA) (2015), el Storm Water Management Model (modelo de gestión de aguas pluviales) fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), cuya primera versión fue en julio de 1971 y desde entonces ha experimentado diversas mejoras, actualmente se encuentra funcionando bajo Windows y en su versión 5.1 realizada por la División de Abastecimiento de Agua y Recursos Hídricos del National Risk Management Research Laboratory de Estados Unidos, perteneciente a la EPA, contando con la colaboración de la consultoría Camp & Dresser McKee, Inc (CDM). El programa permite evaluar tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada.

Este programa permite introducir datos de entrada para el área de drenaje, simular el comportamiento hidráulico, estimar la calidad del agua y ver todos los resultados en una gran variedad de formatos, como, mapas, isocurvas, gráficos, tablas, diagramas y análisis estadísticos, SWMM 5.1 cuenta con dos módulos de análisis, el primero denominado de escorrentía o hidrológico, que funciona con una serie de cuencas donde cae el agua y se genera el análisis de la escorrentía. El segundo módulo de transporte o hidráulico que analiza el recorrido del agua residual o pluvial a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores, en esta monografía se trabajó con el módulo hidráulico.

La EPA (2015) establece que el módulo hidráulico tiene gran variedad de herramientas que permiten, analizar el flujo manejando una red de tamaño ilimitado con amplia gama de geometrías para las conducciones tanto abiertas como cerradas e incluso canales naturales, así como realizar el análisis hidráulico por distintos métodos, como el flujo uniforme, onda cinemática o modelación completa por onda dinámica, o distintos regímenes de flujo, remanso, entrada en carga, flujo inverso y acumulación en superficie, adicionalmente, permite realizar gran variedad de análisis respecto a la producción y evolución de cargas contaminantes.

El programa ha sido utilizado en miles de redes de evacuación, de aguas tanto residuales como pluviales, en diseño y dimensionamiento de componentes de la red de drenaje para prevención y control de inundaciones y protección de la calidad de aguas, delimitación de zonas de inundación, así como en la evaluación del impacto de aportes e infiltraciones en las descargas de sistemas de evacuación de aguas residuales (EPA, 2015), también ha sido usado en el diseño hidráulico de sistemas de drenaje dual (Rincón & Muñoz, 2013) y en el análisis de rendimiento hidrológico de techos verdes (Deepak & Satish, 2020).

2.1.2 Programa CALALC

Valero (2014) describe a CALALC como una herramienta de carácter netamente académico soportada por Excel®, con la cual es posible modelar redes de alcantarillado pluvial, sanitario o combinado, y que incorpora rutinas que permiten, acumular áreas de drenaje, determinar tiempos de concentración, calcular caudales de diseño y relaciones hidráulicas para conductos circulares con flujo a gravedad y realizar el empate de

colectores por líneas de energía, entre otros, todo esto con la posibilidad de manejar redes con cerca de un millón cincuenta mil colectores y con pozos capaces de aceptar como máximo seis colectores de entrada y un colector de salida.

El programa cuenta con 3 grupos de hojas de cálculo, red de alcantarillado sanitario, red de alcantarillado pluvial y hojas adicionales, con las cuales el programa realiza las rutinas de cálculo para la determinación del caudal sanitario y pluvial y el análisis del flujo en los dos tipos de alcantarillado.

En esta monografía se utilizó la sección de flujo de alcantarillado sanitario, para el diseño de los colectores y la unión de estos en los pozos de inspección mediante las líneas de energía. Esta hoja de cálculo se divide en seis secciones, identificación de colectores, parámetros de diseño, cambio de energía en flujo subcrítico, cambio de energía en flujo súpercrítico, cálculo de cotas batea a la salida de cada tramo y chequeos de los cálculos realizados; secciones que se describen a continuación.

- **Identificación de colectores**

En esta sección se hallan las columnas de identificación de tramos, pozos, tramos iniciales y diámetro del pozo aguas arriba del colector.

- **Parámetros de diseño**

En esta sección se deben diligenciar algunos datos básicos de diseño como deflexión entre tramos, es decir el ángulo (en grados sexagesimales) entre la proyección de la tubería precedente y la tubería a diseñar, tipo de rasante, longitud del tramo, número de Manning y diámetro interior de la tubería. Así mismo en esta sección se incluyen rutinas de cálculo que permiten determinar pendiente del terreno, pendiente de la tubería, caudal de diseño total, ángulo theta, profundidad del agua, ancho en la superficie, área transversal, profundidad hidráulica, velocidad, número de Froude, esfuerzo cortante y energía específica.

Adicionalmente esta sección cuenta con algunos chequeos que permiten determinar si el diseño se está realizando de acuerdo con la normatividad, como lo son por ejemplo, chequeo de diámetro que permite verificar si los diámetros cumplen con lo establecido en

el RAS 2000 respecto a los diámetros mínimos permitidos además, el programa es capaz de verificar que el diámetro se mantenga igual o aumente en dirección del flujo de aguas arriba hacia aguas abajo, también se realiza chequeo de pendiente máxima ya que de acuerdo con Chow (1994) si la pendiente del canal a flujo libre es mayor al 10%, se considera que el canal es de alta pendiente y deben realizarse correcciones a la ecuación de energía, así mismo el chequeo de la profundidad hidráulica, velocidad, y esfuerzo cortante para que cumplan lo establecido en el RAS 2000, también establece el chequeo del número de Froude, evaluando que el régimen de flujo no sea crítico, es decir que sea menor a 0,9 o mayor 1,1.

Respecto a los cambios de energía, para determinar cuál de las dos secciones calculará CALALC, antes se determina el tipo de flujo, de ahí los nombres de las secciones puesto que solo se verá calculada una de las dos.

- **Cambio de energía flujo subcrítico**

Esta sección determina la diferencia entre las cotas batea de los colectores de entrada y salida, y para ello estima varios parámetros imprescindibles, la relación entre radio de curvatura de la cañuela del pozo y el Diámetro de la tubería de salida del pozo, coeficiente de pérdida por cambio de dirección, velocidad aguas abajo de los tramos precedentes, velocidad promedio con los tramos precedentes, pérdidas por cambio de dirección, coeficiente de pérdidas por transición, pérdidas por transición, pérdidas totales, energía específica aguas abajo de los tramos precedentes y diferencia entre las cotas bateas de los colectores de entrada y salida del pozo.

- **Cambio de energía flujo supercrítico**

El objetivo de esta sección es determinar el nivel de agua, aguas arriba del tramo de salida, y CALALC lo calcula si el tramo está en flujo supercrítico, para esto el programa determina, nivel del agua inmediatamente aguas arriba del tramo de salida dependiendo si la salida del pozo es sumergida o no sumergida, relación entre el diámetro del pozo y el diámetro de la tubería de salida del pozo, coeficiente k según las consideraciones del RAS 2000, ángulo crítico, profundidad crítica, área transversal crítica, velocidad crítica, energía específica crítica, pérdidas de energía y nivel del agua inmediatamente aguas arriba del tramo de salida, en caso de que la entrada al colector sea no sumergida y nivel del agua

inmediatamente aguas arriba del tramo de salida cuando la entrada al colector es sumergida.

- **Cálculo de cotas batea de la salida de cada colector**

En esta sección se determina la cota batea de salida de cada colector, la cual depende directamente del régimen del flujo del colector de la salida del pozo, en esta sección se calcula la profundidad del agua y la cota batea inferior de los tramos precedentes, la cota batea superior para el tramo de salida, la caída del tramo y la cota batea inferior para el tramo a diseñar.

- **Chequeos**

El objetivo de esta sección es realizar una serie de chequeos para verificar que los parámetros hallados cumplan con los criterios normativos del RAS 2000, entre estos se encuentran, energía total aguas abajo, energía total aguas abajo menos pérdidas, para los tramos precedentes únicamente si los tramos son subcríticos, cota del agua en la estructura de unión y cota de la lámina del agua aguas abajo para cada tramo precedente únicamente para tramos supercríticos, también se encuentra el chequeo de la cota Batea Inicial que depende del régimen de flujo pues si el régimen de flujo es subcrítico se comparan energías totales y si el régimen de flujo es supercrítico se comparan cotas de las láminas de agua, además se calcula la profundidad a batea, profundidad a clave y chequeo profundidad a clave, caída entre los colectores de entrada y el colector de salida y requerimiento de cámara de caída.

Por otra parte, como se describió anteriormente CALALC cuenta con otro grupo de hojas denominadas hojas adicionales, en las cuales se encuentran las tablas del RAS 2000 mostradas en la Tabla 2-1 y cuyas disposiciones son relevantes en el diseño de redes de alcantarillado.

Tabla 2-1. Tablas del RAS 2000 incluidas en CALALC

Tablas RAS general, RAS sanitario y RAS Pluvial	
Numero de tabla	Nombre de la tabla
Tabla A.3.1	Asignación del nivel de complejidad
Tabla B.2.3 (RAS 2010)	Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema
Tabla D.2.2	Valores del coeficiente de rugosidad de Manning. Colectores y drenajes de aguas residuales domésticas y aguas lluvias.
Tabla D.3.1	Coeficiente de retorno de aguas servidas domésticas
Tabla D.3.2	Contribución industrial
Tabla D.3.3	Contribución comercial
Tabla D.3.4	Contribución Institucional
Tabla D.3.5	Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial
Tabla D.3.6	Aportes máximos por drenaje domiciliario de aguas lluvias sin sistema pluvial
Tabla D.3.7	Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales
Tabla D.4.1	Curvas IDF
Tabla D.4.2	Periodos de retorno o grado de protección
Tabla D.4.3	Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema
Tabla D.4.4	Factor de Reducción
Tabla D.4.5	Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad
Tabla D.4.6	Coeficiente de retardo
Tabla D.4.7	Constante de velocidad superficial

Fuente: Valero (2014)

2.1.3 Raíz del error medio cuadrático (REMC)

La raíz del error medio cuadrático (REMC), también llamado desviación cuadrática media, está dada por la **Ecuación 2-1** y según Aguirre (1994) es la raíz cuadrada del promedio de la suma de diferencias cuadráticas entre valores observados de la serie y los esperados según el modelo de tendencia, así mismo según Riestra (2012) la REMC es usada para

comparar diferencias entre dos conjuntos de datos, para este análisis las series deben ser idénticas en tamaño y mientras menor sea su resultado más adecuado será el modelo.

Ecuación 2-1. REMC

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_i^{\sim})^2}{N}}$$

Donde:

x_i : Valores de referencia

x_i^{\sim} : Valores observados

N : Numero total de datos

2.2 Marco geográfico

Para la evaluación y comparación de resultados en el diseño de alcantarillado sanitario bajo la última normatividad colombiana se seleccionó un proyecto de la EAAB en el barrio Villa Rosita, en la localidad de Usme, ciudad de Bogotá, el cual se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

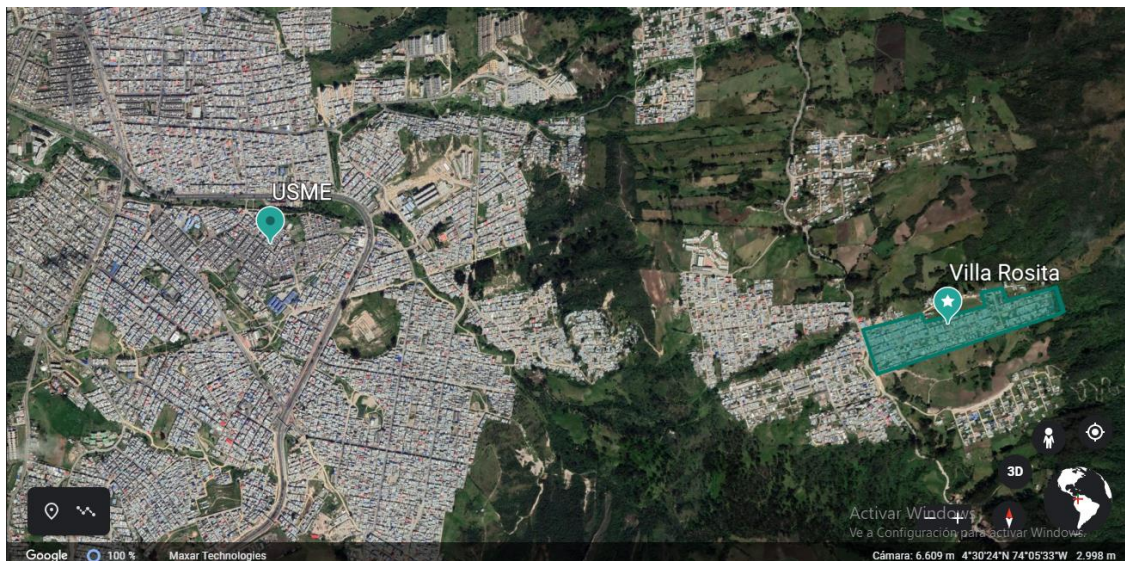


Figura 2-1 Localización proyecto Villa Rosita

Fuente: Modificada por el autor, tomada de, Google Earth, s. f.

Según la EAAB este proyecto tiene un total de 916 predios y 940 usuarios de acueducto, de los cuales el 42% ya contaba con red de alcantarillado sanitario, por tal motivo el proyecto analizado cubre el 58%, lo cual se traduce en 17 manzanas y 64 colectores, con un total de 2.5 km de red aproximadamente.

2.3 Marco legal

En la Tabla 2-2 se referencia la normatividad legal aplicada para el desarrollo de los resultados y análisis efectuados con el fin de realizar la comparación entre el diseño de la EAAB y los resultados ofrecidos por el programa CALALC y el programa SWMM 5.1 en la etapa de diseño de redes de alcantarillado sanitario.

Tabla 2-2. Normatividad aplicable para el presente estudio

NORMA	FECHA DE EXPEDICION	ENTIDAD QUE EXPIDE	QUE SE REGLAMENTA
Reglamento Técnico de Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – Título D	2016	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias
Resolución 0330	Junio de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS
Reglamento Técnico de Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – Título B	Mayo de 2011	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Sistemas de acueducto
Norma Técnica de Servicio – NS-085 V 2.0	Noviembre de 2009	Empresa de Acueducto y Alcantarillado De Bogotá ESP - EAAB	Por la cual se adoptan algunas normas para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado De Bogotá ESP

3. Capítulo 3: Marco metodológico

Buscando dar cumplimiento a los objetivos planteados en esta monografía, la metodología se compone de 3 fases; recopilación de la información, análisis de información y evaluación del programa CALALC con la normatividad vigente, las cuales se definen detalladamente a continuación.

Fase 1, recopilación de la información: en la cual se realizó la búsqueda, organización y procesamiento de la información del proceso del desarrollo de CALALC, las pruebas y modificaciones realizadas y los resultados obtenidos. Así mismo, la información referente a la normatividad vigente en diseño de alcantarillados, y la normatividad que ya no está en vigencia y con la cual se programó inicialmente CALALC, por otra parte se recopilaron los datos primarios de diseño de la red de alcantarillado del proyecto Villa Rosita de la EAAB como memorias de cálculo, planos e informes y a partir de esta información de entrada se realizó diseño de la red de alcantarillado, con el programa CALALC y se modeló en el programa SWMM 5.1, obteniendo los resultados necesarios para la posterior comparación con los diseños finales de la EAAB.

Fase 2, análisis de la información, con la información recopilada de los cambios de normatividad se modificó la programación de CALALC con el fin de tener un programa acorde a las normas vigentes en el país, así mismo se realizó la comparación y el análisis de los resultados del diseño y de la modelación de la red de Villa Rosita, utilizando como parámetro de comparación el método estadístico raíz del error medio cuadrático - REMC, utilizando como datos de control los resultados del diseño ejecutado por la EAAB y la modelación en SWMM 5.1 y comparando criterios fundamentales, como caudal de diseño (QDT), ángulo theta (θ), profundidad de la lámina de agua (Y), velocidad (V), número de Froude (Fr), esfuerzo cortante (τ) y cotas de energía aguas abajo.

Fase 3, En esta fase se realizó la evaluación del programa CALALC luego de las modificaciones realizadas respecto a la normatividad, con el fin de verificar su funcionalidad, confiabilidad y exactitud en el diseño de redes de alcantarillados sanitario.

En la **Figura 3-1**, se define el esquema general del diseño metodológico.

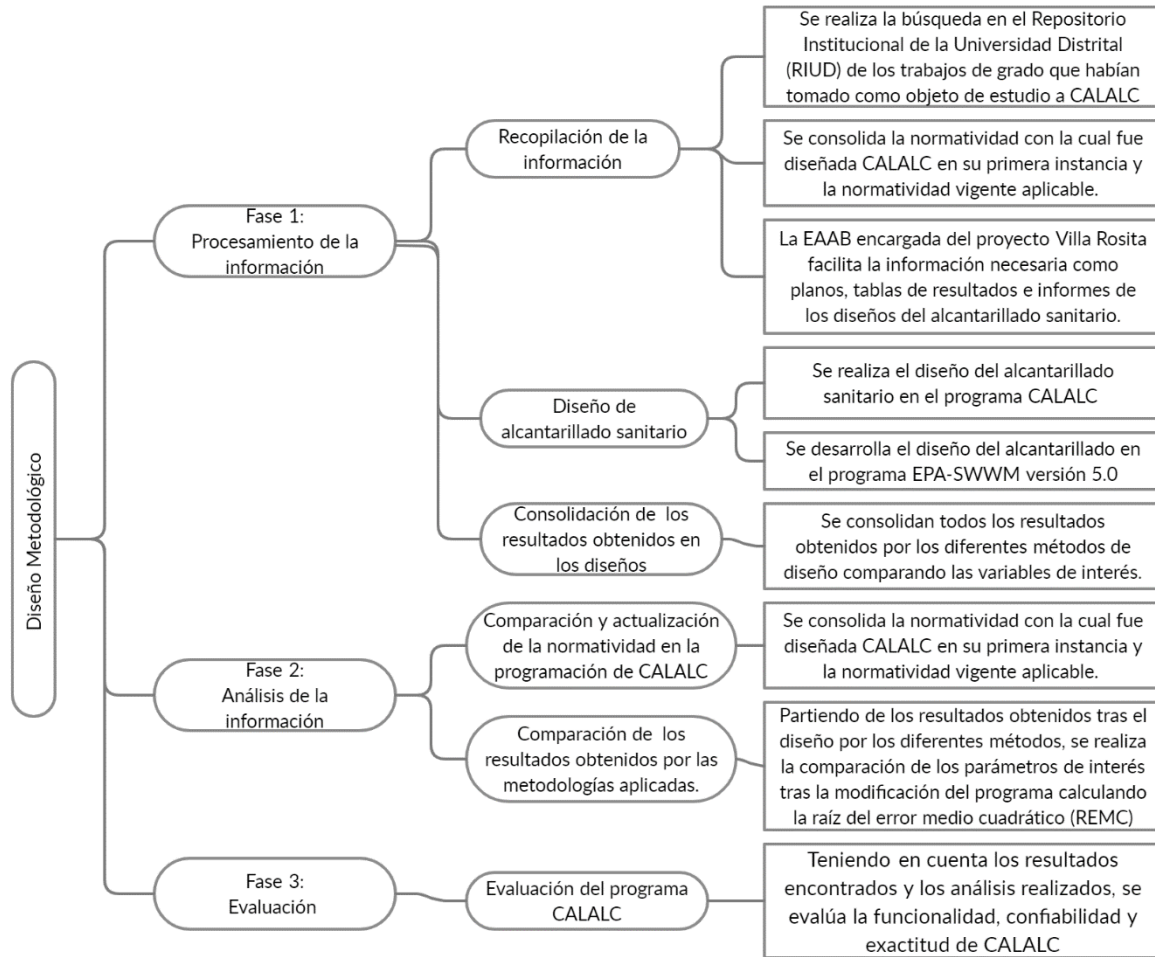


Figura 3-1 Metodología del desarrollo del proyecto

4. Capítulo 4: Recopilación y análisis de la información

4.1 Análisis histórico de la evolución de CALALC

Tal como se mencionó en la sección de antecedentes el programa CALALC fue objeto de estudio en 3 proyectos de grado donde se evaluó en cada una de las etapas de diseño, partiendo de esto es posible realizar su respectivo seguimiento en términos de evolución y desarrollo.

En el año 2013 se realizó la primera evaluación del programa cuando este ejecutaba el cálculo de caudales y empate por línea de energía de alcantarillados sanitarios, según Fernández (2013) para esta evaluación se tomó inicialmente un ejemplo de una pequeña red de alcantarillado de (Lopez Cualla, 2008) que consta de 16 colectores y 11 pozos. Las comparaciones se hicieron bajo la normatividad colombiana vigente en ese momento, Reglamento Técnico de Saneamiento Básico del año 2000 (RAS 2000) y utilizando como patrón de comparación la REMC y se analizaron cuatro parámetros, caudal total de diseño (Q_{DT}), profundidad de agua en los colectores (y), energía total aguas abajo y cota batea inicial.

En la **Tabla 4-1** se muestra el consolidado de los resultados encontrados en la comparación del diseño de (Lopez Cualla, 2008) y el elaborado tomando los mismos parámetros de diseño, pero utilizando el programa CALALC.

Tabla 4-1 Comparación entre los resultados presentados por López Cualla y CALALC

	Caudal de diseño total Q_{DT} (l/s)	Profundidad del agua en los colectores. y (m)	Energía total aguas abajo (m)	Cota batea inicial (m)
REMC	0.06	0.012	0.0043	0.01

Fuente: (Fernández, 2013)

Así mismo se realizó la verificación de otros parámetros que indican que los cálculos hidráulicos son acertados, o no, ya que el diseño, según la norma, debe cumplir con criterios de velocidad, profundidad hidráulica, número de Froude y esfuerzo cortante y de no cumplir estos criterios debe ser modificada la pendiente y/o el diámetro de la tubería.

Para el caso de este análisis Fernández (2013) encontró, que la velocidad y la profundidad hidráulica tienen cumplimiento en el 100% de los tramos, con los requerimientos normativos, sin embargo, el esfuerzo cortante tiene un cumplimiento en el 81% y el número de Froude en tan solo el 31% de los tramos. Aunque esto evidencia errores de diseño, no son errores propios del programa pues los diámetros y las pendientes de las tuberías fueron tomados directamente del ejemplo de (Lopez Cualla, 2008) y no fueron modificados, sin embargo CALALC permite evidenciar estos errores en su hoja de cálculos.

Simultáneamente en este estudio se realizó la evaluación de CALALC con el diseño de una red de alcantarillado proporcionado por la EAAB, el proyecto SMA – 761 desarrollado en la localidad de Usaquén, se obtuvieron los parámetros de diseño fijados por la EAAB en cuanto a poblaciones, contribuciones y coeficiente de retorno y con estos se realizó el diseño de la red con CALALC, se compararon los resultados de la EAAB con los de CALALC en tres parámetros, caudal de diseño (Q_{DT}), profundidad de la lámina de agua en los colectores (y) y cota batea inicial, utilizando como parámetro de comparación la REMC, estos resultados se muestran en la **Tabla 4-2**, cabe aclarar que no se realizó comparación de energía total aguas abajo pues la EAAB no contempla ese parámetro en sus diseños.

Tabla 4-2 Comparación entre los resultados presentados en el diseño de la EAAB y CALALC

	Caudal de diseño total <i>QDT</i> (l/s)	Profundidad del agua en los colectores. <i>y</i> (m)	Cota inicial (m) batea
REMC	0.033	0.0073	0.0065

Fuente: (Fernández, 2013)

Respecto a los criterios de verificación se encontró que el proyecto de la EAAB cumple en un 100% con los requisitos de profundidad hidráulica, velocidad del flujo y esfuerzo cortante, y tan solo el 14% cumplen con el número de Froude requerido normativamente.

Según los resultados obtenidos, Fernández (2014), afirma que los REMC encontrados en su estudio son bajos, por lo cual es posible atribuirle una alta precisión a los cálculos realizados por CALALC, así mismo se logró identificar algunas fallas en el cumplimiento de los criterios normativos en el diseño suministrado por la EAAB, lo cual genera un valor agregado a la funcionalidad de CALALC.

Los resultados anteriormente descritos permitieron continuar con el desarrollo del libro de cálculo CALALC, el cual para el año 2014 permitía realizar el cálculo de caudales y empate por línea de energía de alcantarillados sanitarios y pluviales, dado que la sección de alcantarillado sanitario ya se había evaluado, Paipilla (2014) se enfocó en la evaluación de la sección de alcantarillado pluvial mediante el método racional, teniendo como medida de comparación el RECM para los cálculos de caudal, profundidad de agua en los colectores, energía total aguas abajo y cota batea superior para el tramo de salida, en un ejemplo de diseño de López Cualla (2008) y en el proyecto de la EAAB SMA-761 en la fase de alcantarillado pluvial, todo esto con el fin de dar continuidad al análisis realizado por Fernández (2013).

Según indica Paipilla (2014), los parámetros iniciales de diseño, como, cotas, diámetro de pozos, áreas de drenaje, coeficiente de escorrentía, longitud, numero de manning,

diámetro y pendiente, fueron tomados directamente de los diseños originales, tanto en el caso del ejemplo de López Cualla (2008) como en el caso del diseño de la EAAB.

En las **Tabla 4-3** y **Tabla 4-4** se muestran los resultados de la REMC calculados por Paipilla (2014), para caudales, profundidad del agua en los colectores, energía total aguas abajo y cota batea superior para el tramo de salida, en la Tabla 4-3 se comparan los resultados establecidos en el ejemplo de cálculo de Lopez Cualla (2008) y los obtenidos utilizando CALALC, y en la **Tabla 4-4** las memorias de cálculo del proyecto SMA – 761 de la EAAB y los resultados de CALALC.

Tabla 4-3. *Comparación entre los resultados presentados por López Cualla y CALALC*

	Caudal de diseño Q_{DT} (l/s)	de Profundidad del agua en los colectores. y(m)	Energía total en los aguas abajo (m)	Cota batea superior para el tramo de salida (m)
REMC	0.49	0.03	0.08	0.1

Fuente: (Paipilla, 2014)

Tabla 4-4. *Comparación entre los resultados presentados en el diseño de la EAAB y CALALC*

	Caudal de diseño Q_{DT} (l/s)	de Profundidad del agua en los colectores. y (m)	Energía total en los aguas abajo (m)	Cota batea superior para el tramo de salida (m)
REMC	0.42	0.04	0.04	0.09

Fuente: (Paipilla, 2014)

Según el autor, este segundo estudio concluye que para ese momento la calidad de los cálculos de CALALC analizados a través del REMC dan cuenta de precisión y exactitud, pues para todos los parámetros analizados, el RECM fue menor a 0.5; cabe resaltar que CALALC funcionaba usando como referencia los parámetros descritos en el Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico (RAS 2000), ya que en ese momento era la norma general del país.

Simultáneamente en ese año se publicó la guía de diseño de redes de alcantarillado mediante el programa CALALC, donde Valero (2014) indica que se establece una guía paso a paso orienta a la comunidad académica sobre el uso de CALALC, la estructura, las bondades y limitaciones, así como lo datos que se deben introducir, los métodos utilizados y los resultados que se pueden obtener.

Esta guía establece una descripción detallada del libro de cálculo, de su estructura general y de cada una de las hojas las cuales se dividen en 3 grupos para los diseños, tal como se evidencia en la Figura 4-1 CALALC cuenta con un primer grupo de hojas de cálculo donde en encuentra lo relacionado con la red de alcantarillado sanitario, un segundo grupo de red de alcantarillado pluvial, y por ultimo un grupo de hojas adicionales donde es posible encontrar la normatividad base aplicable a estos diseños.

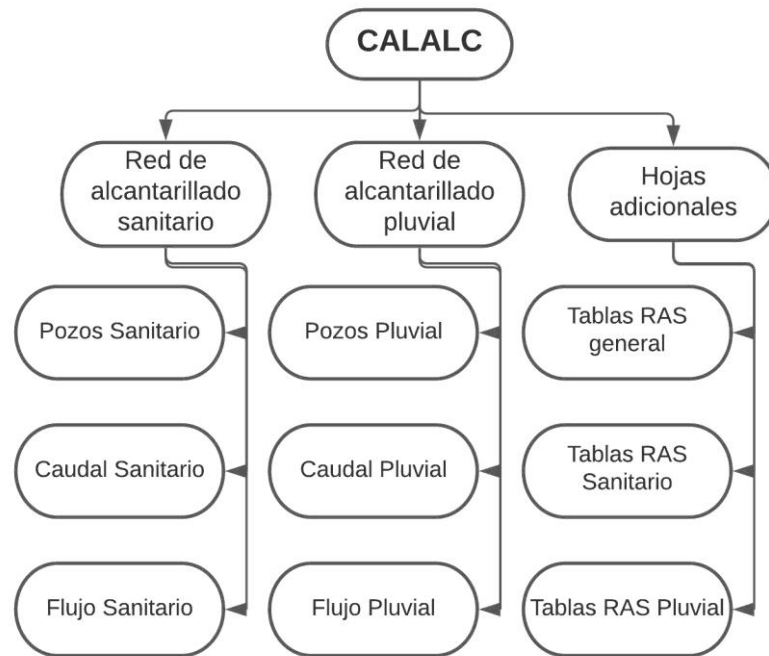


Figura 4-1 Esquema organizativo de las hojas de CALALC

Tal como lo indica Valero (2014) a nivel general se puede decir que en las hojas relacionadas con los pozos se ingresan las características de estos; en las hojas

denominadas caudales, se da la estimación de los caudales de diseño para cada colector y según cada tipo de alcantarillado y en las hojas de flujo se efectúa el diseño hidráulico de cada colector y la unión de estos en los pozos mediante las líneas de energía.

El autor también destaca que el programa incluye rutinas de cálculo adicionales que permiten desarrollar parámetros importantes en el diseño de las redes como, la rutina para el cálculo del ángulo característico de la sección transversal de un conducto circular bajo condiciones de flujo uniforme y permanente (ecuación de Manning), la cual incorpora un método numérico con el fin de **NO** hacer uso de las relaciones hidráulicas Q/Q_0 , V/V_0 , D/D_0 , lo cual deriva en una mayor calidad de resultados ya que el método numérico utilizado permite el uso de mayor cantidad de variables y la inclusión de la totalidad de decimales en su cálculo.

Así mismo CALALC cuenta con rutinas para el cálculo del ángulo característico de la sección transversal de un conducto circular en condiciones de flujo crítico y para el cálculo del coeficiente de pérdidas por cambio de dirección "kc" en función del número de Froude y del cociente entre el radio de curvatura y el diámetro de la tubería de salida del pozo.

Cabe resaltar que para este punto de desarrollo de CALALC la normatividad base es el RAS 2000, de donde se extraen los valores de referencia y cuyas tablas se encuentran en la sección de hojas adicionales.

La guía concluye diciendo que, aunque CALALC fue desarrollado bajo un enfoque netamente pedagógico y la calidad de los resultados obtenidos sugiere que es posible usar el programa en diseños reales de alcantarillado.

Posteriormente en el año 2016 Mora & Jiménez realizaron la última evaluación del funcionamiento de CALALC en alcantarillado sanitario y pluvial, para los módulos de caudal y flujo, teniendo en cuenta la normatividad vigente a ese año, RAS 2000, paralelamente, se realizó un acercamiento a las modificaciones de la norma RAS 2015 que para ese momento era una versión de prueba.

Según Mora & Jiménez (2016) para esta evaluación se realizó la modelación de un proyecto ejecutado de la EAAB denominado “Ensueño”, compuesto para el alcantarillado sanitario por 16 pozos de inspección y 16 tramos, y para el alcantarillado pluvial una sección de 17 tramos, realizando el diseño con CALALC y con el software Storm Water Management Model “SWMM” versión 5.1 y comparando los resultados obtenidos por ambos métodos con el diseño entregado por la EAAB.

Los autores indican que los parámetros iniciales de diseño, se tomaron directamente de los datos suministrados por la EAAB, datos como longitud, diámetro, número de Manning, pendiente y caudal de diseño, esto con el fin de que la comparación y análisis realizados estuvieran basados en las mismas consideraciones de diseño. Así mismo, se tomaron los demás parámetros de diseño directamente del RAS 2000, nivel de complejidad, población futura, área de drenaje, densidad poblacional, dotación, coeficiente de retorno, contribución por conexiones erradas, y contribución de infiltración.

Mora & Jiménez (2016) también indican que en el modelamiento realizado se analizaron específicamente los criterios de mayor relevancia en el diseño de redes de alcantarillados como los son, el ángulo Theta (θ), la profundidad de la lámina de agua en la tubería (y), la velocidad (v), el esfuerzo cortante (τ), el número de Froude (Fr), la cota batea superior y la cota de energía aguas abajo; este análisis se realizó de forma paralela en los dos tipos de redes de alcantarillado, sanitario y pluvial, teniendo en cuenta que el enrutamiento efectuado por los programas considerados estuvo basado en la condición de flujo uniforme y tomando como base de evaluación la REMC.

Mencionan Mora & Jiménez (2016) que el cálculo de caudal de diseño total (Q_{DT}), se realizó únicamente para la red sanitaria, tal como se evidencia en la segunda fila de la **Tabla 4-5**, en este análisis se encontró que al comparar con los datos de la EAAB, hay una diferencia significativa en los resultados, dado que la EAAB tiene metodologías propias para el cálculo de caudales y por ende no pueden ser comparados con la metodología utilizada por CALALC, la cual se basa en los criterios estipulados por el RAS 2000; por otra parte se encontró que SWMM no hace cálculos de caudal de alcantarillado sanitario, en este programa este es un valor de entrada, por lo cual no fue posible realizar la comparación. Así mismo en lo que refiere al cálculo de Q_{DT} para alcantarillado pluvial

CALALC, la EAAB y SWWM, tienen diferentes metodologías de cálculo, por lo cual no se realizaron comparaciones en este aspecto.

Mora & Jiménez (2016) refieren que, tras encontrar las diferencias en los resultados de caudales, lo más acertado fue tomar el dato de Q_{DT} como dato de entrada tanto en CALALC como en SWWM, y adoptar el suministrado por la EAAB para no afectar la modelación del flujo en ninguna de las comparaciones realizadas, con ello se obtuvieron los de más resultados hallados en la modelación del flujo en los dos programas, resultados que se presentan consolidados en la **Tabla 4-5** que se muestra a continuación.

Tabla 4-5. Resumen de comparación de resultados CALALC – EAAB – SWWM

Parámetro analizado REMC	EAAB vs CALALC		SWMM vs CALALC		EAAB vs SWMM	
	Sanitario	Pluvial	Sanitario	Pluvial	Sanitario	Pluvial
Caudal de diseño total Q_{DT} (l/s)	17.33					
Angulo theta θ (rad)	0.25	0.43				
Profundidad lámina de agua en los colectores y (cm)	1.75	4.28	0.80	0.56	2.10	4.33
Velocidad v (m/s)	0.13	0.31	0.01	0.04	0.13	0.33
Esfuerzo cortante τ (N/m^2)	0.19	0.74				
Numero de Froude Fr	0.19	0.29	0.03	0.05	0.19	0.32
Cota batea superior ($m. s. n. m$)	0.08	1.13				
Cota de energía total aguas abajo ($m. s. n. m$)	0.10	0.12	0.35	1.06	0.35	0.25

Fuente: (Mora & Jiménez, 2016)

En la **Tabla 4-5** se evidencian algunos espacios en blanco, lo cuales se atribuyen a la imposibilidad de comparación de algunos parámetros bien sea por la inexistencia de datos, o por la diferencia en las metodologías de cálculo lo cual hace irrelevante la comparación, como es el caso del caudal de diseño total, ángulo theta, esfuerzo cortante y cota batea superior.

En la **Tabla 4-5** es posible ver que el RECM más alto está en el Q_{DT} al comparar los resultados de la EAAB y CALALC, esto es atribuido, como ya se mencionó a la diferencia en la metodología de cálculo, pues CALALC toma como referencia la norma nacional vigente para ese momento RAS 2000 y la EAAB tiene una metodología de cálculo de caudales propia establecida en la Norma Técnica de Servicio NS-085 la cual establece todos los criterios técnicos y límites permisibles para el dimensionamiento de las redes de alcantarillado sanitario y pluvial, que eleva significativamente los caudales de diseño pues parte de la realidad de la redensificación de las viviendas en vertical teniendo así una mayor cantidad de población en una misma área aportante, mientras que el RAS está diseñado para las poblaciones estándar del país donde la mayoría de los municipios se encuentran poblados con densificación horizontal, por lo tanto solo tiene en cuenta el área y los usos del suelo.

Según Mora & Jiménez (2016), para las demás comparaciones realizadas se encontró que los resultados fueron favorables ya que en la mayoría de los casos los RECM fueron considerablemente bajos, para todos los parámetros analizados, los únicos valores altos se presentaron en las comparaciones de la cota batea superior entre la EAAB y CALALC y de la cota de energía total aguas abajo entre EPA SWWM y CALALC las dos en el alcantarillado pluvial, estos debido a las diferencias en las metodologías de cálculo y al tipo de análisis realizado en lo referente al tipo de flujo encontrado.

Con todo esto los autores concluyeron que el programa CALALC es una herramienta no solo de fácil manejo, sino, además, con un alto nivel de exactitud y confiabilidad en los resultados que ofrece, trayendo con esto una alternativa eficaz para el diseño de redes de alcantarillado sanitario y pluvial en el país y beneficios importantes a la comunidad estudiantil.

4.2 Actualización normativa

Como se ha mencionado a lo largo del documento, CALALC fue programado partiendo de la normatividad vigente hasta el año 2015, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS del año 2000, sin embargo, en el año 2016 el ministerio de vivienda, ciudad y territorio de Colombia, con la colaboración del centro de investigaciones en acueductos y alcantarillados CIACUA de la Universidad de los Andes, publicó la actualización del título D, denominado, Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domesticas y Aguas Lluvias, así mismo en junio del 2017 el mismo ministerio publicó la Resolución 0330 por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, estas actualizaciones normativas implican algunos cambios en la programación de CALALC por lo cual fueron consolidados, analizados y modificados con el fin de que CALALC estuviera acorde con la normatividad vigente.

En la Tabla 6-1 se citan detalladamente los cambios normativos relevantes que influyeron en la programación de esta versión de CALALC para el diseño alcantarillados sanitarios y se enuncian brevemente a continuación:

4.2.1 Dotación neta por habitante

En la Resolución 0330 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017) se establecen dotaciones netas máximas dependientes de la altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida y no por nivel de complejidad y clima como lo establece el título B del RAS en su versión del 2010. De tal forma que la dotación máxima se ve reducida de 150 a 140

$$\left(\frac{L}{hab*dia}\right).$$

4.2.2 Periodo de diseño

Respecto al periodo de diseño en el RAS 2000 se plantea entre 15 y 25 años dependiendo del nivel de complejidad del sistema y en la actualización normativa de la Resolución 0330 de 2017 se establece que se debe adoptar como periodo de diseño 25 años.

4.2.3 Caudal de aguas residuales domesticas (Q_D)

En el RAS 2000 se establecen 2 ecuaciones para el cálculo del Q_D , y una de ellas es recomendable para el sistema de complejidad bajo, la Resolución 0330 de 2017 presenta 2 nuevas ecuaciones para esta determinación.

Si se cuenta con la proyección de la demanda de agua potable, dentro de las estadísticas de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio, se debe utilizar la **Ecuación 4-1**; si la proyección de la demanda de agua potable se realizó haciendo uso de la proyección de los suscriptores del servicio en el área objeto del proyecto del sistema de alcantarillado, se utilizará la **Ecuación 4-2** y en caso de que no existan proyecciones de demanda de agua o proyecciones de suscriptores, el cálculo de caudal de diseño de aguas residuales domésticas se hace utilizando la proyección de población en la zona objeto del diseño utilizando la **Ecuación 4-3**.

Ecuación 4-1. *Caudal de aguas residuales domesticas de demanda de agua*

$$Q_D = C_R * D_{NETA} * A$$

Ecuación 4-2. *Caudal de aguas residuales domesticas de proyección de suscriptores*

$$Q_D = \frac{C_R * P_S * D_{NETA}}{30}$$

Ecuación 4-3. *Caudal de aguas residuales domesticas de proyección de población*

$$Q_D = \frac{C_R * P * D_{NETA}}{86400}$$

En la Tabla 6-1 se presentan las definiciones y las unidades empleadas para cada una de las variables utilizadas en las ecuaciones antes descritas.

En este mismo apartado de cálculo de Q_D , se encontró una modificación en los valores guía para la adopción del coeficiente de retorno, dado que en RAS 2000 se estipulaban valores entre 0.7 y 0.85, y en la Resolución 0330 de 2017 se establece que se debe adoptar un valor 0.85, en caso de contar con datos de campo.

4.2.4 Caudal de aguas residuales industriales (Q_I)

La Resolución 0330 de 2017 establece que, para zonas netamente industriales, se deben elaborar análisis específicos de aportes de aguas residuales, sin embargo, para la aplicación en CALALC se toma en cuenta lo que estipula la versión 2016 del RAS que establece que para el aporte de Q_I , se deben tener en cuenta las captaciones de agua que no provienen del acueducto, lo establecido en la Resolución 075 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011) en lo referente al aporte de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado y la separación de aguas residuales domésticas y no domésticas establecida en la Resolución 631 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2015), así mismo, se evidenció una variación en la contribución de aguas residuales industriales de un rango de 0.4 a $1.5 \text{ L/s} * \text{ha}_{\text{ind}}$ en el RAS 2000 a un rango de 0.4 a $1.0 \text{ L/s} * \text{ha}_{\text{ind}}$

4.2.5 Caudal de aguas residuales comerciales (Q_C)

La Resolución 0330 de 2017 establece que, para zonas netamente comerciales, se deben elaborar análisis específicos de aportes de aguas residuales, sin embargo, para la aplicación en CALALC se toma en cuenta lo establecido en el RAS 2016 el Q_C debe ser justificado a través de estudios detallados que permitan conocer los consumos de los suscriptores y se debe tener en cuenta la Resolución 075 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011) en lo relacionado con el vertimiento puntual, la Resolución 0631 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2015) en cuanto a la separación de las aguas residuales y las captaciones de agua que no provengan del acueducto. Por último, se establece que si hay zonas mixtas (comerciales y residenciales) el Q_C debe ser calculado utilizando contribución de caudal comercial correspondiente a $0.5 \text{ L/s} * \text{ha}_{\text{com}}$.

4.2.6 Caudal de aguas residuales institucionales (Q_{IN})

La Resolución 0330 de 2017 establece que, para zonas netamente institucionales, se deben elaborar análisis específicos de aportes de aguas residuales, sin embargo, para la aplicación en CALALC se toma en cuenta lo que se estipula en el RAS 2016 al igual que en los dos ítems anteriores para el Q_{IN} es necesario tener en cuenta las captaciones de

agua que no provengan del acueducto y se debe tener en cuenta lo establecido en la Resolución 0631 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2015), también establece que para pequeñas instituciones ubicadas en zonas residenciales pueden estimarse $0.5 \text{ L/s*ha}_{inst}$ eliminando así el rango de $0.4 \text{ L/s*ha}_{inst}$ a $0.5 \text{ L/s*ha}_{inst}$, establecido en el RAS 2000.

4.2.7 Caudal de aguas residuales por conexiones erradas (Q_{CE})

En la modificación normativa según la Resolución 330 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), los aportes por conexiones erradas deben estimarse a partir de la información existente en la localidad, en caso que no se cuente con esta información se deberá utilizar un valor máximo de $0,2 \text{ L/s*ha}$ para cualquier nivel de complejidad del sistema.

4.2.8 Caudales por infiltración (Q_{INF})

En el RAS 2000 se establecen intervalos de aportes por infiltración para infiltración alta, media y baja, desde 0.05 hasta 0.4 L/s*ha , lo cual fue modificado con la actualización normativa con la Resolución 0330 de 2017, en la que se establece que debe estimarse a partir de aforos en el sistema y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y la distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, los tipos y calidad constructiva, sin embargo si no se cuenta con esta información pueden adoptarse desde 0.1 hasta 0.3 L/s*ha . Por otra parte, la Resolución 0330 de 2017, también menciona que para situaciones en las cuales el nivel freático se encuentre por debajo del nivel de cimentación de la red, el caudal por infiltración podrá excluirse como componente del caudal de diseño.

4.2.9 Factor de mayoración (F)

Para la determinación del factor de mayoración el RAS 2000 presenta cinco ecuaciones, tres de ellas en términos de población y dos en términos de caudal medio diario (Q_{md}), en las que se mencionan a Harmon, Babbit, Flores, los Ángeles y Tchobanoglous. La Resolución 0330 de 2017 indica que el factor de mayoración debe ser determinado mediante mediciones de campo teniendo en cuenta los patrones de consumo de la

población, sin embargo, en ausencia de datos se debe estimar con las ecuaciones aproximadas teniendo en cuenta la aplicabilidad, y este valor debe estar entre 1.4 y 3.8.

En la versión 2016 del RAS se mantiene la **Ecuación 4-4** de Flores en lo que refiere a la cantidad de población y para la alternativa de Q_{md} se continua trabajando con la **Ecuación 4-5** de los Ángeles y se anexa una nueva, la **Ecuación 4-6** de Gaines la cual es aplicada para un rango de (Q_{md}), entre 0.28 L/s y 4250 L/s.

Ecuación 4-4. *Ecuación de Flores*

$$F = \frac{3,5}{P^{0,1}}$$

Ecuación 4-5. *Ecuación de los Ángeles*

$$F = \frac{3,53}{Q_{MD}^{0.062}}$$

Ecuación 4-6. *Ecuación de Gaines*

$$F = \frac{3,114}{Q_{MD}^{0.062}}$$

En la Tabla 6-1 se define cada una de las variables de las ecuaciones y se muestran sus unidades.

4.2.10 Diámetro interno real mínimo

Se identificó el cambio de los diámetros internos reales mínimos, pasando de 200 mm en el RAS 200 a 170 mm en la Resolución 0330 de 2017 y para poblaciones menores a 2500 habitantes se permite un diámetro interno de 140 mm, mientras que en RAS 2000 para niveles de complejidad bajos el diámetro interno podía reducirse máximo a 150mm.

4.2.11 Relación máxima entre la profundidad y el diámetro de la tubería

El RAS 2000 tenía estipulado que la profundidad hidráulica debía estar entre el 70 y 85% del diámetro real interno de la tubería, con la nueva Resolución 0330 de 2017 se estipula que el valor máximo permisible es del 85% del diámetro real interno de la tubería.

4.2.12 Velocidad mínima permitida

En la versión del año 2000 del RAS se establece que la velocidad mínima en los colectores debe ser de 0.45 m/s y que permita generar un esfuerzo cortante de 1.5 N/m², o de 1.2 N/m² si las condiciones topográficas no favorecen el diseño. Ahora en la Resolución 0330 de 2017 se estipula que la velocidad mínima en el colector de alcantarillado es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería de mínimo 1.0 Pa, y según se indica en el RAS 2016 se basa su cálculo en la **Ecuación 4-7** y la **Ecuación 4-8** de Darcy – Weisbach y de Colebrook – White.

Ecuación 4-7. *Velocidad mínima a tubo lleno para condiciones iniciales*

$$v_{min} = \sqrt{\frac{8\tau}{\rho f}}$$

Ecuación 4-8. *Factor de fricción en el lecho de sedimentos*

$$f = \frac{1}{4 \left[\log_{10} \left(\frac{k_b}{3.7d} \right) \right]^2}$$

En la Tabla 6-1 se define cada una de las variables de las ecuaciones y se muestran sus unidades.

4.2.13 Velocidad máxima permitida

En este ítem la Resolución 0330 de 2017 mantiene la velocidad máxima de 5 m/s y se plantea que en condiciones hidráulicas especiales y complejas como es el caso de topografías con pendientes superiores al 30%, colectores de gran diámetro iguales o superiores a 600 mm o caudales de flujo superiores a 500 l/s, se permitirán velocidades de flujo superiores a 5 m/s, sin embargo, la velocidad no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto y no deberá sobrepasar por ningún motivo los 10 m/s.

4.3 Validación funcionamiento CALALC

Después de realizar las modificaciones en la programación de CALALC según la actualización normativa de la sección 4.2, se realizó la validación del funcionamiento del programa, realizando el diseño de la red de alcantarillado de la EAAB denominada Villa

Rosita con CALALC y haciendo la modelación con SWMM 5.1, para realizar las comparaciones requeridas para la verificación de resultados. Cada comparación se realizó teniendo en cuenta ciertas particularidades de cada una de las metodologías y software usados, esto se traduce en el análisis de diferentes factores del sistema de alcantarillados que varían en función del método de cálculo usado por las herramientas de modelamiento con las que se pretende comparar, para efecto de dar claridad en cuanto a la precisión de los datos arrojados por los modelos utilizados y CALALC, se utiliza raíz del error medio cuadrático (RECM) descrita en el capítulo 2 fundamento teórico, entre los datos comparables de CALALC vs EAAB y CALALC vs SWMM.

4.3.1 Descripción Red Villa Rosita EAAB

El diseño de la EAAB de la Red Villa Rosita para el alcantarillado sanitario analizado cuenta con 50 pozos de inspección y un total de 64 tramos como se muestra en la Figura 4-2, así mismo, se presenta el esquema y trazado general de la red base de comparaciones en este estudio.

Por otra parte, en la Tabla 4-6 se presentan los denominados datos de entrada para el diseño hidráulico con CALALC y la modelación con SWMM 5.1, estos datos fueron extraídos directamente de las memorias de cálculo de la EAAB. Es importante recordar que CALALC realiza los cálculos de caudal por la metodología del RAS la cual es diferente a la de la EAAB, y que también realiza los cálculos de pendiente, sin embargo, si estos datos se modifican en la modelación de CALALC las comparaciones del diseño hidráulico no se podrían realizar pues se variarían las condiciones básicas de flujo.

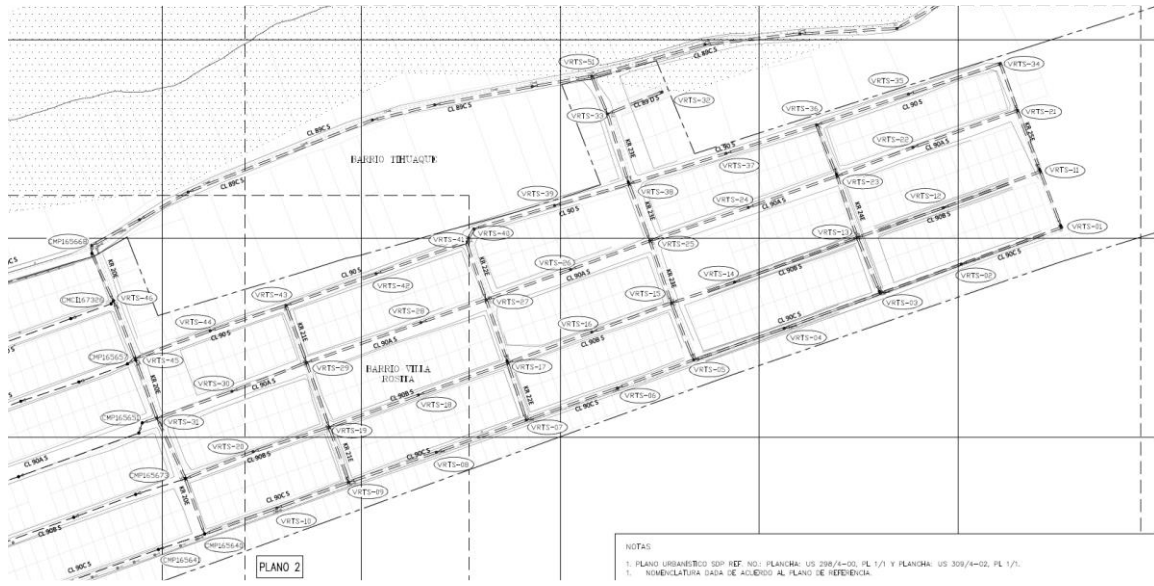


Figura 4-2. Diseño general de la red de alcantarillado

Fuente: EAAB

Tabla 4-6. Datos de entrada para el diseño de la red de alcantarillado sanitario

LABEL EAAB Y SWMM	LABEL CALALC	Longitud del tramo (m)	Diámetro (m)	Pendiente %	Numero de Manning	Caudal (L/s)	
COVRTS-01	COVRTS-01	1	29.43	0.200	10.571	0.010	0.5185
COVRTS-02	COVRTS-02	2	30.18	0.200	11.598	0.010	0.7346
COVRTS-03	COVRTS-03	3	30.76	0.200	5.044	0.010	0.9619
COVRTS-04	COVRTS-04	4	30.39	0.200	1.409	0.010	0.5338
COVRTS-05	COVRTS-05	5	30.14	0.200	5.23	0.010	1.5185
COVRTS-06	COVRTS-06	23	29.45	0.200	4.871	0.010	0.6018
COVRTS-07	COVRTS-07	24	34.31	0.200	4.165	0.010	0.5485
COVRTS-08	COVRTS-08	25	33.62	0.200	10.234	0.010	0.6303
COVRTS-09	COVRTS-09	26	32.44	0.200	2.73	0.010	0.5303
COVRTS-10	COVRTS-10	27	32.65	0.200	6.228	0.010	1.0825
COVRTS-11	COVRTS-11	28	33.04	0.200	10.751	0.010	1.2179
COVRTS-12	COVRTS-12	29	30.53	0.200	2.23	0.010	0.5458
COVRTS-13	COVRTS-13	30	30.6	0.200	8.823	0.010	0.9900
COVRTS-14	COVRTS-14	31	30.45	0.200	5.352	0.010	1.3424
COVRTS-15	COVRTS-15	32	25.23	0.200	2.981	0.010	0.9156
COVRTS-16	COVRTS-16	6	27.81	0.200	3.832	0.010	0.4856
COVRTS-17	COVRTS-17	7	33.52	0.200	11.988	0.010	0.6146
COVRTS-18	COVRTS-18	8	29.5	0.200	22.07	0.010	1.2008

COVRTS-19	COVRTS-19	9	20.59	0.200	10.422	0.010	0.7119
COVRTS-20	COVRTS-20	10	48.69	0.200	18.983	0.010	2.8114
COVRTS-21	COVRTS-21	33	32.07	0.200	5.695	0.010	0.6601
COVRTS-22	COVRTS-22	34	53.65	0.200	20.491	0.010	3.7193
COVRTS-23	COVRTS-23	35	43.34	0.200	5.942	0.010	5.3687
COVRTS-24	COVRTS-24	36	51.38	0.200	21.427	0.010	7.1953
COVRTS-25	COVRTS-25	11	48.24	0.200	19.144	0.010	8.3877
COVRTS-26	COVRTS-26	37	40.87	0.200	6.676	0.010	9.7156
COVRTS-27	COVRTS-27	38	48.51	0.200	11.243	0.010	10.7136
COVRTS-28	COVRTS-28	39	48.03	0.200	7.308	0.010	11.9311
COVRTS-29	COVRTS-29	40	46.42	0.200	10.182	0.010	12.7366
COVRTS-30	COVRTS-30	41	38.53	0.200	15.407	0.010	13.6420
COVRTS-31	COVRTS-31	42	38.53	0.200	15.045	0.010	14.2880
COVRTS-32	COVRTS-32	12	52.15	0.200	17.295	0.010	3.2259
COVRTS-33	COVRTS-33	13	45.67	0.200	11.051	0.010	4.8614
COVRTS-34	COVRTS-34	14	65.77	0.200	22.052	0.010	7.3249
COVRTS-35	COVRTS-35	15	33.31	0.200	15.062	0.010	7.8684
COVRTS-36	COVRTS-36	43	42.64	0.200	7.58	0.010	9.6053
COVRTS-37	COVRTS-37	44	44.99	0.200	7.337	0.010	10.4877
COVRTS-38	COVRTS-38	16	47.72	0.200	4.758	0.010	11.7292
COVRTS-39	COVRTS-39	45	47.72	0.200	12.689	0.010	12.5407
COVRTS-40	COVRTS-40	46	40.15	0.200	16.84	0.010	13.3944
COVRTS-41	COVRTS-41	47	36.65	0.200	18.006	0.010	14.0247
COVRTS-42	COVRTS-42	48	55.72	0.200	17.204	0.010	3.4824
COVRTS-43	COVRTS-43	49	40.75	0.200	16.265	0.010	4.9400
COVRTS-44	COVRTS-44	50	47.37	0.200	17.103	0.010	7.0621
COVRTS-45	COVRTS-45	51	52.23	0.200	14.938	0.010	8.2622
COVRTS-46	COVRTS-46	52	42.44	0.200	5.542	0.010	10.0740
COVRTS-47	COVRTS-47	17	45.03	0.200	8.868	0.010	11.0001
COVRTS-48	COVRTS-48	65	34.81	0.200	5.526	0.010	12.1054
COVRTS-49	COVRTS-49	18	60.82	0.200	14.162	0.010	13.4003
COVRTS-50	COVRTS-50	19	40.23	0.200	18.19	0.010	14.3188
COVRTS-51	COVRTS-51	53	40.09	0.200	28.904	0.010	15.0411
COVRTS-52	COVRTS-52	20	36.82	0.200	8.118	0.010	2.9934
COVRTS-53	COVRTS-53	54	48.69	0.200	12.646	0.010	4.5850
COVRTS-54	COVRTS-54	55	47.77	0.200	19.01	0.010	7.3333
COVRTS-55	COVRTS-55	56	51.1	0.200	15.376	0.010	9.0514
COVRTS-56	COVRTS-56	57	38.93	0.200	4.893	0.010	11.6393
COVRTS-57	COVRTS-57	58	42.27	0.200	3.874	0.010	12.9561
COVRTS-58	COVRTS-58	59	7.69	0.200	10.165	0.010	13.0482
COVRTS-59	COVRTS-59	60	48.06	0.200	9.754	0.010	13.6947

COVRTS-60	COVRTS-60	61	48.06	0.200	17.309	0.010	14.4603
COVRTS-61	COVRTS-61	62	40.14	0.200	29.392	0.010	15.1283
COVRTS-62	COVRTS-62	63	40.16	0.200	25.435	0.010	15.7124
COVRTS-63	COVRTS-63	21	4.75	0.200	3.241	0.010	16.0026
COVRTS-64	COVRTS-64	64	7.74	0.200	8.372	0.010	15.3427

4.3.2 Comparación CALALC vs EAAB

Como parte de la validación de la herramienta CALALC se comparan los resultados de las memorias de cálculo de la red de Villa Rosita de la EAAB. Ahora bien, dado que la metodología de diseño de EAAB es diferente en cuanto a cálculo de caudales y varios de los datos de insumo ya están dados por el sistema, se colocan como datos de entrada en CALALC, esto es:

- **Caudal (Q):**

Se toma el mismo caudal que el puesto por EAAB ya que como se mencionaba anteriormente CALALC maneja otra metodología de cálculo la cual haría incompatible los resultados si se tomase este como dato de salida.

- **Pendientes (S):**

Los datos de pendiente fueron tomados directamente de los establecidos por la EAAB y usados como datos de entrada para generar mayor compatibilidad de los resultados, sin embargo, el chequeo de pendiente de CALALC permite determinar que el 64% de los tramos tiene pendiente excesiva, es decir mayor al 10%.

- **Diámetro (D):**

Al igual que con lo sucedido con la pendiente se toman los datos de los diámetros directamente de los presentados en las memorias de cálculo de la EAAB, con el fin de no alterar los comportamientos del flujo en las tuberías.

- **Longitud (L):**

Este dato fue directamente tomado de las memorias de cálculo de la EAAB y verificado en los planos disponibles.

Estos cuatro datos fueron tomados como datos de entrada en el diseño realizado con CALALC en la sección de flujo sanitario con el fin de determinar si las modificaciones en la programación fueron acertadas, logrando obtener los parámetros de salida comparables, como lo son: Altura de flujo en los colectores (y), energía específica ($y + v^2/2g$), velocidad de flujo (V), profundidad hidráulica (PH), número de froude (Fr), esfuerzo cortante (τ) y cota batea superior para los tramos de salida.

Ahora bien, dicho lo anterior y después de modelar la red con CALALC, se comparan los parámetros previamente escogidos utilizando la raíz del error medio cuadrático como medida de cuantificación de error entre las dos herramientas. Como se muestra en la Tabla 4-7, donde se discriminan los parámetros antes mencionados, haciendo énfasis en la diferencia entre cada uno de ellos, cabe mencionar la similitud entre los datos de salida que presentan EAAB y CALALC usando la REMC.

Tabla 4-7. Resumen REMC EAAB vs CALALC

PARÁMETRO	REMC
Cotas batea ($m. s. n. m$)	0,36626
Froude	0,003068361
Esfuerzo cortante (N/m^2)	0,010795777
Velocidad (m/s)	0,004929151
Energía (m)	0,032775721
Profundidad hidráulica	0,010795777
Alturas de flujo (m)	0,00012

Como se puede observar en la Tabla 4-7, se presentan diferencias mínimas entre los datos de los parámetros de referencia y los arrojados por CALALC, a continuación se realiza un análisis más detallado de cada una de las comparaciones :

- **Alturas de flujo y (m)**

En la Tabla 6-2 se presentan los resultados de las alturas de flujo para los 64 tramos estudiados en el diseño y se encontró que la REMC es de 0,00012 m , lo cual indica que

los datos de CALALC en este aspecto son altamente acertados y que las modificaciones en programación fueron realizadas con éxito.

- **Velocidad de flujo v (m/s):**

En la Tabla 6-3 se presentan los datos de velocidad arrojados por CALALC y los arrojados por la EAAB, al cuantificar la diferencia entre estos dos datos con la metodología de la raíz del error medio cuadrático, es posible determinar que este valor es bajo (0,004929 m/s), lo que significa que la diferencia entre los resultados de los dos modelamientos es mínima, por tanto se válida para este parámetro el cálculo realizado por CALALC.

Así mismo en este criterio CALALC realiza los chequeos de velocidad máxima y mínima, donde se logró encontrar que para las dos velocidades el 100% de los tramos cumplen con los criterios normativos, teniendo una velocidad máxima en todo el sistema de 4,2 m/s y mínima de 0,53 m/s.

- **Energía específica ($y + (v^2/2g)$):**

En la Tabla 6-4 se muestran los resultados arrojados por CALALC y EAAB respectivamente para este parámetro y en la Tabla 4-7, se muestra la raíz del error medio cuadrático, siendo para el caso de las energías específicas de 0,03277 m, este valor es bajo lo que muestra muy poca diferencia entre los valores presentados por EAAB con respecto a los arrojados con CALALC.

- **Profundidad hidráulica (PH):**

En la **Tabla 6-5** se comparan las profundidades hidráulicas entre las calculadas por CALALC y la EAAB y se puede evidenciar según se muestra en la Tabla 4-7 que el REMC es de 0,010795777, lo cual permite ver nuevamente la alta calidad de los resultados de los cálculos de CALALC, puesto que estos valores de RECM son considerablemente bajos.

Respecto al chequeo de profundidad hidráulica que realiza CALALC es posible determinar que el 100% de los tramos cumplen con las condiciones normativas requeridas, donde se presenta una profundidad hidráulica máxima de 4.72%

- **Froude (Fr):**

En la Tabla 6-6 se presentan los resultados de los números de Fr para ambas metodologías. En la Tabla 4-7, se presentan los resultados del análisis de la raíz del error medio cuadrático, presentando un valor de 0,003068361 para la comparación entre los resultados de la EAAB y CALALC, dicho esto se puede observar que los resultados tal como se esperaba son mínimos, es decir, la herramienta CALALC presenta resultados congruentes y con poca variación con respecto a la metodología presentada por EAAB.

En cuanto al chequeo que realiza CALALC del número de Froude, es posible determinar que el 100% de los tramos cumplan con el requerimiento normativo.

- **Esfuerzo cortante (τ):**

En la Tabla 6-7 se presentan los resultados de esfuerzo cortante en CALALC y en la EAAB, donde es posible evidenciar resultados notoriamente bajos (0,010795777 N/m²), lo cual sigue ratificando la adecuada reprogramación de CALALC y la calidad en sus procesos de cálculo; adicionalmente CALALC permite identificar el cumplimiento de la norma mediante el chequeo programado, donde se encontró que hay un tramo que incumple con el requerimiento de 1,5 N/m², sin embargo esta dentro del segundo rango de condiciones especiales de terreno, siendo este de 1,3 N/m²

- **Cota batea superior para el tramo de salida:**

En la Tabla 6-8 se muestran los valores de la cota batea superior para cada uno de los tramos de salida, y se estableció una raíz del error medio cuadrático de 0,36626 m, la cual es alta, en comparación con lo demás errores que se han analizado hasta el momento, para este caso se requirió hacer un análisis más exhaustivo con el cual fue posible determinar que este error está dado por la diferencia en las metodologías de cálculo puesto que la EAAB solo tiene en cuenta el análisis de pérdidas en la línea del colector principal tenga o no más entradas, lo cual implica que si otra de las entradas tiene mayores pérdidas estas serán pasadas por alto.

Mientras que CALALC se preocupa por tener implementadas las ecuaciones que garantizan el cálculo de las pérdidas dentro del pozo de inspección cuando se unen varios

colectores, ya que realiza el cálculo teniendo en cuenta todas las entradas, garantizando así que no existan represamientos del agua que afecten a los colectores aguas arriba y al tener en cuenta todas las pérdidas el tubo tendrá que tener una mayor profundidad.

Adicionalmente, se encontró que la diferencia de cálculo de pérdidas más significativa estuvo en el tramo 45, donde se presentó una diferencia entre la EAAB y CALALC de 0,78 m y de ahí en adelante se presentó el fenómeno de propagación de errores, ya que son cálculos secuenciales por línea de flujo.

4.3.3 Comparación CALALC VS SWMM.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, parte de la validación de la herramienta CALALC, se realizó con una comparación usando el programa de la Environmental Protection Agency llamado Storm Water Management Model en su versión 5.1 (SWMM), se realizó la modelación de la red de alcantarillado de la EAAB denominada Villa Rosita, para lo cual fue necesario inicialmente el suministro de los valores por defecto los cuales comprenden principalmente, la geometría de los conductos a utilizarse, la rugosidad específica del material, unidades de flujo de caudal, método de enrutamiento y modelo de cálculo hidráulico valores que se presentan en la Figura 4-3 .Luego se realizó el trazado de la red la cual contiene dentro de su estructura, nudos (Pozos de inspección), conductos (tuberías) y nodo de vertido (salida) dicho trazado se muestra en la Figura 4-4 .

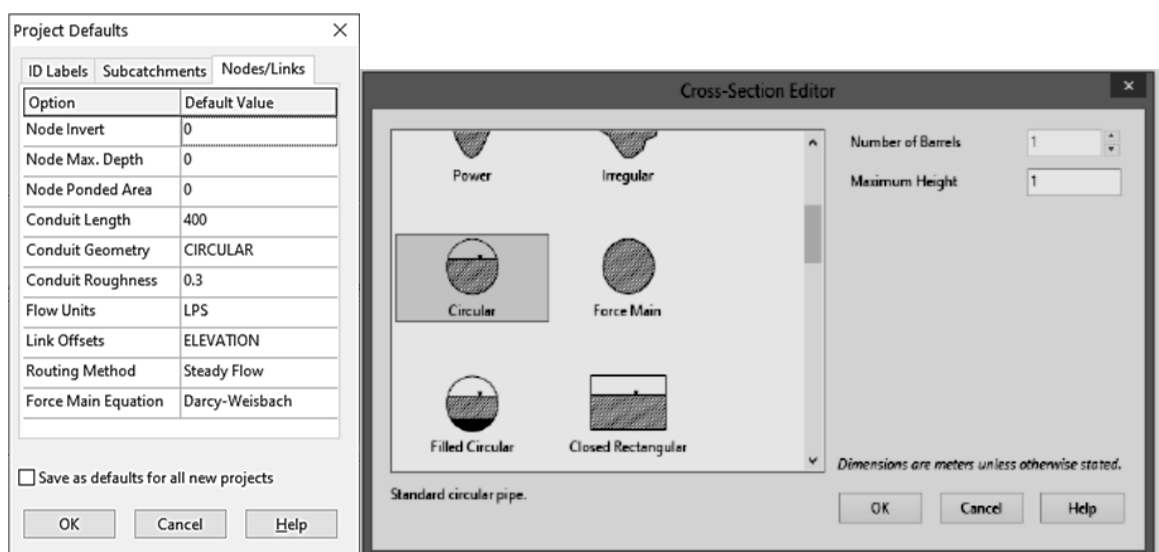


Figura 4-3. Valores por defecto utilizados en SWMM 5.1

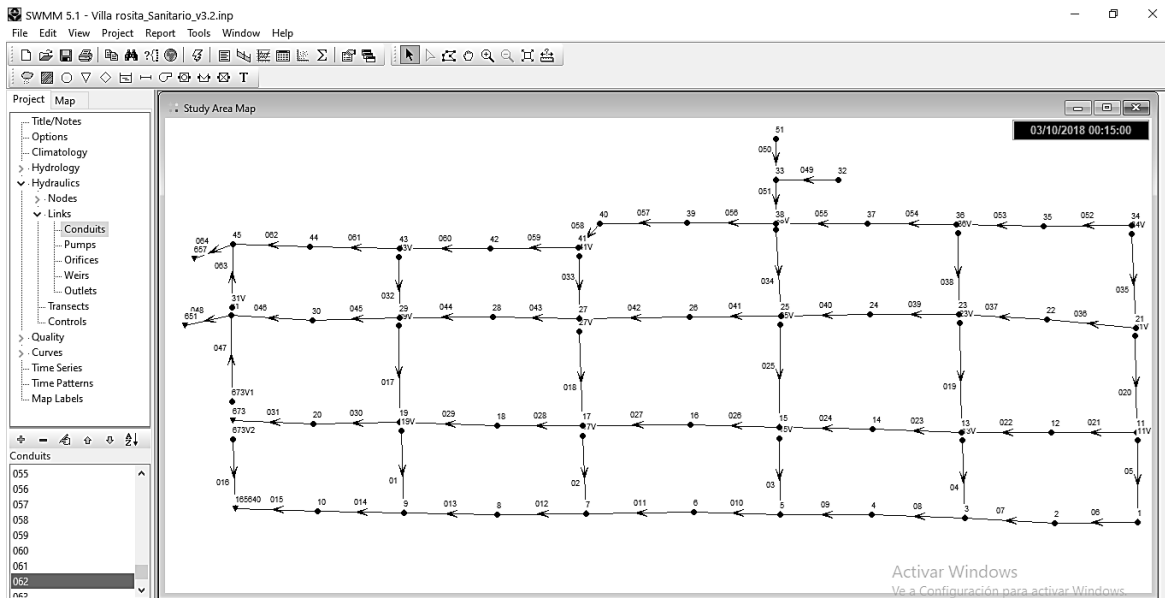


Figura 4-4. Trazado red de alcantarillado sanitario SWMM 5.1

Para los pozos de inspección o nudos de la red se suministraron directamente cada uno de caudales de entrada, la cota batea de salida o cota batea superior y el recubrimiento entre otras, ya que para SWMM 5.1 estos son datos de entrada. Así mismo en las tuberías o conductos se alimentó el programa con los datos de diámetro, longitud y elevación del conducto por encima de la cota batea del nudo en el extremo corriente abajo del conducto, este último con el fin de que el programa pueda calcular acertadamente las pendientes que deben ser concordantes con las de las memorias de cálculo de la EAAB. Estos datos de entrada se describen más adelante detalladamente. Por otra parte, en el nudo de vertido se puso la cota batea final o de salida de la red igual a los datos de la EAAB.

Es de aclarar que dada la diferencia de metodologías y que no es el alcance del presente trabajo, no se realiza comparación entre los resultados de la EAAB y la SWMM 5.1.

Como datos de entrada se tienen los siguientes parámetros los cuales hacen parte de las bases de cálculo en el programa SWMM 5.1 para la comparación con CALALC:

- **Caudal (Q):**

Se toma el mismo caudal que el establecido por la EAAB dado que SWMM 5.1 no realiza el cálculo de caudales de diseño para redes de alcantarillado sanitario, por lo cual este es un dato de entrada en este modelamiento.

- **Longitudes (L):**

Este dato fue directamente tomado de las memorias de cálculo de la EAAB y verificado en los planos disponibles.

- **Cotas:**

Para el uso de SWMM 5.1 al contrario que con EAAB, se toman como dato de entrada la elevación del conducto por encima de la cota batea del nodo en el extremo corriente abajo del conducto, esto con el fin de que el programa realice el cálculo de las pendientes de las tuberías y sean acordes a lo establecido en las memorias de cálculo de la EAAB, ya que en este programa la pendiente no es un dato de entrada sino es calculado.

Dicho esto, en las tablas del Anexo: Resultados diseño de alcantarillado CALALC vs modelación SWMM, se muestran los resultados de las modelaciones usando el programa SWMM 5.1 y CALALC, para efecto del análisis de estas comparaciones se analiza uno por uno los parámetros tenidos en cuenta en la comparación, así como los resultados de la aplicación de la raíz del error medio cuadrático, como criterio de validación, sabiendo que entre menor sea dicho valor menor es la diferencia entre estos, por tanto, se puede validar que los resultados arrojados por CALALC son confiables y pueden ser usados, tanto para escenarios profesionales como pedagógicos. A continuación, se presenta la **Tabla 4-8** donde el resumen con los datos de la raíz del error medio cuadrático para los parámetros analizados.

Tabla 4-8. Resumen de la raíz del error medio cuadrado, SWMM vs CALALC.

PARÁMETRO	REMC
Alturas de flujo (<i>m</i>)	0.00261
Froude	0,280077077
Velocidad (<i>m/s</i>)	0,021036715
Energía (<i>m</i>)	0,00849505
Profundidad hidráulica	0.001898052

Los resultados usados para la comparación hacen parte de los parámetros más importantes para el dimensionamiento de un sistema de alcantarillado, unido a esto, estos elementos permiten realizar una comparación objetiva entre las dos metodologías previamente mencionadas, dicho esto se presentan los resultados del cálculo de la raíz del error medio cuadrado como elemento de juicio para la validación de los resultados, como se mencionó anteriormente.

- **Alturas de flujo (*y*):**

Las alturas de flujo son elementos críticos en el diseño ya que como es bien sabido, permiten un adecuado dimensionamiento del sistema de alcantarillado, ahora bien, como se puede observar en la **Tabla 4-8**, los resultados indican que la raíz cuadrada del error medio para este parámetro es un valor muy pequeño (0,0026 m), esto sumado a la poca dispersión de los datos muestra congruencia y valida que CALALC presenta resultados confiables y capaces de servir de guía en la formación de ingenieros sanitarios.

- **Velocidad de flujo (*v*):**

La velocidad de flujo, es otra de las características determinantes en el diseño y dimensionamiento de un sistema de alcantarillado, en este caso al observar los resultados arrojados por el software SWMM 5.1 y CALALC, se evidencia que tienen poca diferencia entre sí ver Tabla 6-10, lo que puede corroborar que los resultados presentados por CALALC son confiables y congruentes al ser comparados con el software SWMM 5.1. Lo anterior es confirmado, además, al observar la raíz del error medio cuadrático (0,021036715 m/s), cuyo valor es notablemente bajo, lo que permite determinar la similitud entre los datos calculados por CALALC y SWMM 5.1, dado que a un valor menor de RCEM,

mayor es la congruencia de datos entre estas dos metodologías, validando así el uso de la herramienta.

Así mismo, se corrobora el cumplimiento de la normatividad vigente en cuanto velocidades mínimas y máximas para el 100% de los tramos analizados, según se verificó con la sección de chequeos de CALALC.

- **Froude (Fr):**

Como es bien sabido, el régimen del flujo es de suma importancia en el momento de diseñar un sistema de alcantarillado, por tal motivo es importante validar el funcionamiento CALAC para este parámetro, el programa SWMM 5.1 permite visualizar el régimen de flujo, sin embargo, no genera los valores de número de Froude, por lo cual, en este estudio se determinaron partiendo de la **Ecuación 4-9** con los datos de diámetro y altura de flujo (y), arrojados por SWMM 5.1, y despejando el ángulo característico theta (θ) como se muestra en la **Ecuación 4-10**, y con este se determinó el área mojada (A_m) **Ecuación 4-11** y el ancho superficial (T) **Ecuación 4-12**, de tal manera que fue posible hallar la profundidad hidráulica (PH) **Ecuación 4-13** y usando también la velocidad de flujo (v), también arrojada por SWMM 5.1, hallar el número de Froude **Ecuación 4-14**.

Ecuación 4-9. *Altura de la lámina de agua en el colector*

$$y = \left(\frac{D}{2}\right) * \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]$$

Ecuación 4-10. *Ángulo característico theta*

$$\theta = 2 \arccos\left(-2 * \frac{y}{D} + 1\right)$$

Ecuación 4-11. *Área Mojada*

$$A_m = \left(\frac{D^2}{8}\right) * [\theta - \sin(\theta)]$$

Ecuación 4-12. Ancho superficial

$$T = D * \text{sen}(\theta/2)$$

Ecuación 4-13. Profundidad hidráulica

$$PH = A/T$$

Ecuación 4-14. Numero de Froude

$$F = \frac{v}{\sqrt{gPH}}$$

Donde:

y: Altura de la lámina de agua (m)

D: Diámetro real interno de la tubería (m)

v: Velocidad de flujo dentro del colector (m/s)

g: Gravedad (m/s²)

Con estos resultados de numero de Froude se determinó el valor de la raíz de error medio cuadrático para el cual se obtuvo un valor de 0,280077077, este valor aunque es más alto que los otros parámetros reportados no es crítico ya que la magnitud de los valores se encuentra entre 2.06 y 8.13, y adicionalmente presenta el mismo orden de magnitud que al comparar EAAB con CALALC, se observa que los resultados de estas dos metodologías no difieren en mayor medida, validando así el uso de CALALC con fines académicos ya que muestra la relación de los diferentes factores que hacen parte del sistema de alcantarillados.

- **Profundidad hidráulica:**

Según lo encontrado en lo referente al cálculo de profundidad hidráulica en la comparación de EPA SWMM 5.1 y CALALC y tal como se muestra en la Tabla 6-12, los valores de RECM son considerablemente bajos (0.001898052), de esta forma se corrobora que los resultados arrojados por CALALC son confiables.

- **Energía específica ($y + (v^2/2g)$):**

Si bien el programa SWMM 5.1 no genera los resultados de energía específica directamente, en este estudio fue posible calcularlos partiendo de los resultados de alturas de flujo (y) y velocidades de flujo (v), entregados por el programa mediante la **Ecuación 4-15**, cuyos resultados de cada tramo se presentan en la **Tabla 6-13**

Ecuación 4-15. *Energía específica.*

$$E = y + \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

y : *Altura de flujo en la tubería (m)*

v : *Velocidad de flujo dentro del colector (m/s)*

g : *Gravedad (m/s²)*

Los valores de energía entre CALALC y SWMM, pueden ser consultados en el Tabla 6-13, observando la **Tabla 4-8**, se puede observar que la raíz del error medio cuadrado presenta valores pequeños ($0,00849505 \sqrt{v^2/2g}$) para los valores de energía reportados por estas dos metodologías, esto evidencia a similitud de los resultados y valida de forma importante el funcionamiento adecuado de la herramienta CALALC, los estudiantes pueden interactuar con la herramienta, y entender las implicaciones constructivas y de diseño que tiene este parámetro de importancia.

5. Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se exponen las conclusiones y las recomendaciones a las cuales fue posible llegar después de realizar un profundo análisis de los resultados encontrados al seguir la metodología propuesta.

5.1 Conclusiones

Durante los últimos 10 años CALALC ha estado en constante evolución y desarrollo, en su primera versión únicamente permitía realizar el diseño de redes de alcantarillado sanitario y estimación de caudales sanitarios, posteriormente extendió su funcionalidad al alcantarillado pluvial, a tal punto que hoy es posible modelar redes de alcantarillado pluvial, sanitario o combinado, incorporando rutinas que permiten, acumular áreas de drenaje, determinar tiempos de concentración, calcular caudales de diseño y relaciones hidráulicas para conductos circulares con flujo a gravedad y realizar el empate de colectores por líneas de energía, entre otros, todo esto con la posibilidad de manejar redes con cerca de un millón cincuenta mil colectores y con pozos capaces de aceptar como máximo seis colectores de entrada y un colector de salida. Todo esto para sistema de alcantarillado, pluvial, sanitario y combinados. Adicionalmente es un programa que ha sido verificado en diferentes trabajos de grado con el fin de corroborar que los resultados entregados con correctos, así como de perfeccionar los detalles que aparecen tras cada evaluación.

Tras la publicación de las nuevas normas para diseño de alcantarillados en el país, en el año 2016 y 2017, la programación de CALALC quedo obsoleta, pues el programa se basaba en los criterios de diseño del RAS 2000, por esto se realizó la comparación detallada de la normatividad antigua y la nueva, identificando así, cuáles de esas

variaciones normativas afectaban los resultados obtenidos en CALALC, para de esta forma realizar las modificaciones pertinentes en la programación y que volviera a ser un programa útil, actualizado y funcional para el diseño de redes de alcantarillado, se encontró que catorce parámetros utilizados directamente en CALALC presentaron alguna modificación, dentro de los cuales encontramos el cálculo de caudal de aguas residuales domésticas, los aportes de agua residual de los diferentes usos y el cálculo de factor de mayoración, variación en los límites permisibles de velocidades, esfuerzo cortante, profundidad hidráulica entre otros, con estos hallazgos se realizó exitosamente la modificación en la programación de CALALC.

Tras la modelación de la red de la EAAB denominada Villa Rosita, se logró determinar que los resultados de CALALC, después de las modificaciones en la programación, siguen siendo confiables dado que los análisis de los errores medios cuadráticos en todos los parámetros analizados, tanto en la comparación con datos de la EAAB y como con los de la modelación en SWMM 5.1, fueron considerablemente bajos. El único parámetro que presentó errores considerables fue el de cotas, pero tal como se indicó en el análisis este se debió a la diferencia de los métodos de cálculo utilizados por la EAAB – SWMM y CALALC.

Es importante resaltar la importancia de CALALC desde el punto de vista pedagógico debido a que permite una mejor interacción con los conceptos propios del diseño de sistemas de alcantarillado, teniendo en cuenta la validación anteriormente mostrada, los ingenieros en formación pueden interactuar entre los diferentes elementos que componen el pre dimensionamiento y el diseño, entendiendo la manera en que cada uno de sus componentes interactúa, esto a su vez es fundamental ya que permite generar un mejor aprendizaje al permitir establecer criterios de juicio y un mejor análisis de escenarios, que permitan al ingeniero tomar decisiones acertadas en términos de diseño, y construcción de sistemas de alcantarillado.

5.2 Recomendaciones

Es necesario incluir en la programación de CALALC el coeficiente de corrección de la energía cinética K_c , con el fin de garantizar cálculos más precisos cuando las pendientes son superiores al 10%, ya que el rango de las ecuaciones aplicadas hasta el momento es para pendientes inferiores al 10%, y el caso de análisis particularmente presentaba varios tramos con pendiente superiores al 10%.

Se recomienda un entorno grafico más amigable e intuitivo para el usuario de CALALC.

6.Anexos

A. Anexo: Comparación detallada normatividad

Tabla 6-1. *Comparación detallada normatividad*

RAS 2000	Resolución 0330 de 2017
DOTACIÓN NETA POR HABITANTE	
En aquellos casos en que se tenga la información necesaria, en la persona prestadora del servicio de acueducto o en el sistema único de información (SUI) de la SSPD, para hacer la proyección de suscriptores en el municipio o en la parte de éste objeto del diseño, el consultor y/o la persona prestadora del servicio deben conocer el valor existente sobre consumo promedio por	Debe determinarse haciendo uso de la dotación histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en su defecto recopilada en el Sistema Único de Información (SUI) de la Súper Intendencia De Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), siempre y cuando los datos sean consistentes. En

suscriptor, en caso contrario la dotación neta por habitante es función del nivel de complejidad del sistema y sus valores máximos se deben establecer con la tabla B.2.3 mostrada a continuación.

Tabla B.2.3 Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab*día) climas templado y frío	Dotación neta (L/hab*día) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Para propósitos de la tabla anterior se considera como clima cálido aquella zona del territorio nacional que se encuentre por debajo de 1000 m.s.n.m.

todos los casos, se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en la tabla 1.

Tabla 1. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

PERIODO DE DISEÑO

Como mínimo, los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales o lluvias deben proyectarse para los periodos de planeamiento que se presentan en la tabla D.2.1.

Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años.

TABLA D.2.1

Periodo de planeamiento de redes de recolección y evacuación de aguas residuales y lluvias

Nivel de complejidad del sistema	Periodo de diseño (años)
Bajo y medio	15
Medio alto	20
Alto	25

Para colectores principales o emisarios finales el periodo de diseño mínimo debe ser 25 años, para cualquier nivel de complejidad del sistema.

CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (Q_D)

El aporte doméstico (QD) está dado por la expresión

$$Q_D = \frac{C \cdot D \cdot A_{rd} \cdot R}{86400} \quad \circ \quad Q_D = \frac{C \cdot P \cdot R}{86400} \quad (\text{D.3.1})$$

La segunda alternativa de la ecuación D.3.1 es recomendable para nivel de complejidad del sistema bajo.

1. Estimación del consumo medio diario por habitante.

Corresponde a la dotación neta, la cual depende del nivel de complejidad del sistema, del clima de la localidad y del tamaño de la población.

2. Estimación de D

Los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales deben diseñarse para la máxima densidad de población futura o densidad de saturación, la cual depende de la estratificación socioeconómica, el uso de la tierra y el ordenamiento urbano. Para la población y densidad inicial debe establecerse el comportamiento hidráulico del sistema.

3. Estimación de P

La demanda de agua potable se puede calcular siguiendo una de las tres siguientes metodologías: la proyección de la demanda de agua potable en el sector objeto del diseño; la proyección de los suscriptores en el área objeto del diseño y; en último caso, la proyección de la población en el área objeto del diseño teniendo en cuenta las densidades de saturación.

En caso de que se cuente con la proyección de la demanda de agua potable, dentro de las estadísticas de la persona prestadora del servicio público de acueducto del municipio, el caudal de diseño de aguas residuales domésticas se calcula de acuerdo con la ecuación (D.3.1).

Ecuación: (D.3.1)

$$Q_D = C_R \times D_{NETA_r} \times A$$

donde:

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (L/s).

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).

D_{NETA_r} = Demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s.ha).

A = Área tributaria de drenaje (ha).

La población servida puede ser estimada como el producto de la densidad de población (D) y el área residencial bruta acumulada de drenaje sanitario. Esta área debe incluir las zonas recreacionales. Esta forma de estimación es válida donde esté definida la densidad de población. Alternativamente, P puede ser estimada a partir del producto del número de viviendas planificadas en el área de drenaje y el número medio de habitantes por vivienda.

4. Estimación de R

El coeficiente de retorno es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. Su estimación debe provenir del análisis de información existente de la localidad y/o de mediciones de campo.

Cuando esta información resulte inexistente o muy pobre, pueden utilizarse como guía los rangos de valores de R descritos en la tabla D.3.1, justificando apropiadamente el valor finalmente adoptado.

En caso de que la proyección de la demanda de agua potable se haya hecho haciendo uso de la proyección de los suscriptores del servicio en el área objeto del proyecto del sistema de alcantarillado, el caudal de diseño de aguas residuales domésticas se calcula de acuerdo con la ecuación (D.3.2) mostrada a continuación:

$$Q_D = \frac{C_R \times P_S D_{NETA}}{30}$$

Ecuación: (D.3.2)

donde:

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (m³/día).

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).

P_S = Número de suscriptores proyectados al período de diseño (suscriptores).

D_{NETA} = Demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor (m³/suscriptor/mes).

Como última opción, en caso de que no existan proyecciones de demanda de agua o proyecciones de suscriptores, el cálculo de caudal de diseño de aguas residuales domésticas se hace utilizando la proyección de población en la zona objeto del diseño. En caso de que se opte por esta última metodología, se debe utilizar la ecuación (D.3.3):

TABLA D.3.1

Coefficiente de retorno de aguas servidas domésticas

Nivel de complejidad del sistema	Coefficiente de retorno
Bajo y medio	0,7 - 0,8
Medio alto y alto *	0,8 - 0,85

Puede ser definido por la empresa prestadora del servicio

Ecuación: (D.3.3)

$$Q_D = \frac{C_R \times P \times D_{NETA}}{86400}$$

donde:

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (L/s).

C_R = Coeficiente de retorno (adimensional).

P = Número de habitantes proyectados al período de diseño (hab).

D_{NETA} = Demanda neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab/día).

En las tres últimas ecuaciones, el coeficiente de retorno es la fracción del agua potable de uso doméstico entregada como aguas residuales al sistema de recolección y evacuación. La estimación del coeficiente de retorno preferiblemente debe provenir de análisis de información existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio público de alcantarillado para cada una de las zonas del municipio.

En caso de que esta información no exista debe tomarse un valor de 0.85.

CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (Q_I)

Para cualquier nivel de complejidad del sistema, es necesario elaborar análisis específicos de aportes industriales de aguas residuales, en particular para zonas netamente industriales e industrias medianas y grandes, ubicadas en zonas residenciales y comerciales. En cada caso, debe considerarse la naturaleza de

Deben realizarse estudios específicos.

RAS 2016: Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por las industrias, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesadas en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario. En consecuencia,

los residuos industriales, y su aceptación al sistema de alcantarillado estará condicionada por la legislación vigente con respecto a vertimientos industriales.

Para industrias pequeñas localizadas en zonas residenciales o comerciales pueden utilizarse los valores mostrados en la tabla D.3.2 de caudal por hectárea de área bruta de industria.

TABLA D.3.2
Contribución industrial

Nivel de complejidad del sistema	Contribución industrial (L/s-ha ind)
Bajo	0,4
Medio	0,6
Medio alto	0,8
Alto	1,0-1,5

los aportes de aguas residuales industriales QI deben ser determinados para cada caso en particular, con base en información de censos, encuestas y consumos industriales, estimativos de ampliaciones y consumos futuros, a lo cual se suma la información de lo establecido en la Resolución 0075 de 2011, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que la modifique o sustituya. De conformidad con la Resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el caudal de aguas residuales industriales debe separarse en el caudal de aguas residuales domésticas y el caudal de aguas residuales no domésticas.

En cada caso, la persona prestadora del servicio de alcantarillado debe considerar la naturaleza de los residuos industriales, y su aceptación al sistema de alcantarillado estará condicionada por la legislación vigente con respecto a vertimientos industriales, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 3930 de 2010 o aquel que lo modifique o sustituya.

Sin embargo, para industrias pequeñas localizadas en zonas residenciales o comerciales pueden utilizarse los valores mostrados en la Tabla D.3.2 de caudal por hectárea de área bruta de industria.

Tabla D.3.2 Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas

Nivel de Complejidad del Sistema	Contribución industrial (L/s-ha _{ind})
Bajo	0,4
Medio	0,6
Medio Alto	0,8
Alto	1,0

CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES COMERCIALES (Q_C)

Para zonas netamente comerciales, el caudal de aguas residuales QC debe estar justificado con un estudio detallado, basado en consumos diarios por persona, densidades de población en estas áreas y coeficientes de retorno mayores que los de consumo doméstico. Para zonas mixtas comerciales y residenciales pueden ponderarse los caudales medios con base en la concentración comercial relativa a la residencial, utilizando como base los valores de la tabla D.3.3.

TABLA D.3.3
Contribución comercial

Nivel de complejidad del sistema	Contribución comercial (L/s-ha com)
Cualquier	0,4 - 0,5

Deben realizarse estudios específicos.

RAS 2016: En caso de que en la zona objeto del diseño de la red de alcantarillado de aguas residuales existan zonas netamente comerciales, el caudal de aguas residuales comerciales debe justificarse a través de un estudio detallado, ya sea de los consumos actuales, de los suscriptores comerciales, a lo cual se suma la información de lo establecido en la Resolución 0075 de 2011, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o la norma que la modifique o sustituya; ó con base en los consumos diarios por persona, número de personas en áreas comerciales y en coeficientes de retorno mayores que los de consumos domésticos, para aquellos casos en que no exista información comercial de consumos históricos. En caso de que en el área objeto del proyecto existan zonas mixtas, comerciales y residenciales, los caudales comerciales deben estimarse

teniendo en cuenta la concentración comercial relativa a la concentración residencial, utilizando una contribución de caudal comercial correspondiente a 0,5 L/s por ha comercial. Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por el sector comercio, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesados en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario.

De conformidad con la Resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el caudal de aguas residuales comerciales debe separarse en el caudal de aguas residuales domésticas y el caudal de aguas residuales no domésticas.

CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES INSTITUCIONALES (Q_{IN})

El consumo de agua de las diferentes instituciones varía de acuerdo con el tipo y tamaño de las mismas, dentro de las cuales pueden mencionarse escuelas, colegios y universidades, hospitales, hoteles, cárceles, etc. En los literales B.3.5.6 y B.3.5.7 del título B, se establece su estimación. En consecuencia, los aportes de aguas residuales institucionales Q_{IN} deben determinarse para cada caso en particular, con base en información de consumos registrados en la localidad de entidades similares. Sin embargo,

Deben realizarse estudios específicos.

RAS 2016: Debe hacerse la revisión de las captaciones de agua utilizadas por el sector institucional, las cuales no necesariamente provienen del acueducto; pero si pueden estar interesados en utilizar el sistema de alcantarillado sanitario. En consecuencia, los aportes de aguas residuales institucionales Q_{IN} deben determinarse para cada caso en particular, con base en información de consumos de entidades similares registrados en la localidad. Sin embargo, para pequeñas instituciones

para pequeñas instituciones ubicadas en zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse a partir de los valores por unidad de área institucional, presentados en la tabla D.3.4. QIN debe ser estimado para las condiciones iniciales, QINi, y finales, QINf, de operación del sistema, de acuerdo con los planes de desarrollo previstos.

ubicadas en zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse en 0,5 L/s por ha institucional. De conformidad con la Resolución 631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el caudal de aguas residuales institucionales debe separarse en el caudal de aguas residuales domésticas y el caudal de aguas residuales no domésticas.

TABLA D.3.4
Contribución institucional mínima en zonas residenciales

Nivel de complejidad del sistema	Contribución institucional (L/ s-ha inst)
Cualquier	0,4 - 0,5

Caudal de aguas residuales por conexiones erradas (Q_{CE})

En la tabla D.3.5 se dan como guía valores máximos de los aportes por conexiones erradas, en caso de que exista un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias. Pueden considerarse otros métodos de estimación de conexiones erradas, como porcentajes del caudal medio diario de aguas residuales, con justificación por parte del diseñador. En caso de que el área del proyecto no disponga de un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias según el literal D.1.6, deben considerarse aportes máximos de drenaje pluvial domiciliario a la red sanitaria, de acuerdo con la tabla D.3.6. Para el nivel bajo de

Los aportes por conexiones erradas deben estimarse a partir de la información existente en la localidad. En ausencia de esta información se deberá utilizar un valor máximo de 0,2 L/s*ha

complejidad del sistema el aporte de conexiones erradas puede estimarse en 5 L/hab*día.

TABLA D.3.5
Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial

Nivel de complejidad del sistema	Aporte (L / s-ha)
Bajo y medio	0,2
Medio alto y alto	0,1

TABLA D.3.6
Aportes máximos por drenaje domiciliario de aguas lluvias sin sistema pluvial

Nivel de complejidad del sistema	Aporte (L / s-ha)
Bajo y medio	2
Medio alto y alto *	2

CAUDALES POR INFILTRACIÓN (Q_{INF})

En ausencia de medidas directas o ante la imposibilidad de determinar el caudal por infiltración, el aporte puede establecerse con base en los valores de la tabla D.3.7, en donde el valor inferior del rango dado corresponde a condiciones constructivas más apropiadas, mayor estanqueidad de colectores y estructuras complementarias y menor amenaza sísmica. La categorización de la infiltración en alta, media y baja se relaciona con las características topográficas, de suelos, niveles freáticos y precipitación.

Debe estimarse a partir de aforos en el sistema y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y la distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, los tipos y calidad constructiva. Ante la ausencia de información se debe utilizar un factor entre 0,1 y 0,3 L/s*ha, de acuerdo a las características topográficas de suelos, los niveles freáticos y la precipitación de la zona del proyecto. Para situaciones en las cuales el nivel freático se encuentre por debajo del nivel de cimentación de la red, el caudal por

TABLA D.3.7

Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L / s-ha)	Infiltración media (L / s-ha)	Infiltración baja (L / s-ha)
Bajo y medio	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2
Medio alto y alto *	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

*Puede ser definido por la empresa prestadora del servicio

infiltración podrá excluirse como componente del caudal de diseño.

FACTOR DE MAYORACIÓN (F)

La variación del factor de mayoración debe ser estimada a partir de mediciones de campo. Sin embargo, esto no es factible en muchos casos, por lo cual es necesario estimarlo con base en relaciones aproximadas como las de Harmon y Babbitt, válidas para poblaciones de 1.000 a 1.000.000 habitantes, y la de Flores, en las cuales se estima F en función del número de habitantes.

$$F = 1 + \frac{14}{(4 + P^{0,5})} \quad \text{Harmon} \quad (\text{D.3.4})$$

$$F = \frac{5}{P^{0,2}} \quad \text{Babbitt} \quad (\text{D.3.5})$$

$$F = \frac{3,5}{P^{0,1}} \quad \text{Flores} \quad (\text{D.3.6})$$

El factor de mayoración también puede ser dado en términos del caudal medio diario como en las fórmulas de Los Ángeles o la de Tchobanoglous.

Debe calcularse haciendo uso de mediciones de campo, en las cuales se tenga en cuenta los patrones de consumo de la población. De no contar con estos datos se calcula con las ecuaciones aproximadas teniendo en cuenta las limitaciones y debe estar entre 1.4 y 3.8

RAS 2016: El factor de mayoración debe calcularse, hasta donde sea posible, haciendo uso de mediciones de campo, en donde se tengan en cuenta los patrones de consumo de la población y la medición de los caudales en las horas de mayor consumo. Sin embargo, si esto no es factible, el diseñador puede utilizar la ecuación empírica de Flores en la cual se puede calcular F como función del número de habitantes, este último dado en miles de habitantes.

Ecuación de Flores (-) (D.3.9)

$$F = \frac{3,5}{P^{0,1}}$$

donde:

F = Factor de mayoración (adimensional).

P = Población servida en miles de habitantes (hab/1000).

$$F = \frac{3.53}{Q_{MD}^{0.0914}} \quad (\text{D.3.7})$$

$$F = \frac{3.70}{Q_{MD}^{0.0733}} \quad (\text{D.3.8})$$

La fórmula de Los Ángeles es válida para el rango de 2,8 a 28300 L/s, mientras que la de Tchobanoglous lo es para el rango de 4 a 5000 L/s. Esta última relación es adecuada cuando la contribución de aguas residuales de procedencia comercial, industrial e institucional no representa más del 25% del caudal total de aguas residuales.

En general el valor de F debe ser mayor o igual a 1,4.

El factor F debe calcularse tramo por tramo de acuerdo con el incremento progresivo de población y caudal.

Alternativamente el factor de mayoración también puede calcularse como función del caudal medio diario (QMD) utilizando la ecuación de Los Ángeles, o la de Gaines.

Ecuación de Los Ángeles (1962): (D.3.10)

$$F = \frac{3.53}{Q_{MD}^{0.062}}$$

Ecuación de Gaines (1989): (D.3.11)

$$F = \frac{3.114}{Q_{MD}^{0.062}}$$

donde:

F = Factor de mayoración (adimensional).

Q_{MD} = Caudal medio diario de aguas residuales (L/s).

La fórmula de Los Ángeles es válida para el rango de 2,8 a 28300 L/s. La fórmula de Gaines debe ser aplicada para caudales medios entre 0,28 L/s y 4250 L/s.

Diámetro interno mínimo

El diámetro interno real mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales tipo alcantarillado sanitario convencional es 200 mm (8 in) con el fin de evitar obstrucciones de los conductos por objetos relativamente grandes introducidos al sistema. Sin embargo, para sistemas simplificados o niveles de complejidad del sistema

El diámetro interno permitido en redes de alcantarillado sanitario es de 170mm. Para poblaciones menores a 2500 habitantes el diámetro interno real es de 140 mm.

bajo, éste puede reducirse a 150 mm (6 in), requiriéndose una justificación detallada por parte del diseñador. Cuando se pretende evacuar las aguas residuales de 10 viviendas en adelante, es recomendable utilizar como diámetro mínimo 200 mm (8 in).

Relación máxima entre la profundidad y el diámetro de la tubería

Para permitir aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad hidráulica para el caudal de diseño en un colector debe estar entre 70 y 85% del diámetro real de éste.

El valor máximo permisible para la profundidad de flujo contemplada en el diseño debe ser del 85% del diámetro real interno de cada una de las tuberías.

Velocidad mínima en las tuberías

Se establece la velocidad mínima como criterio de diseño. La velocidad mínima real permitida en el colector es 0,45 m/s.

Por lo tanto, debe establecerse que el valor del esfuerzo cortante medio sea mayor o igual a 1,5 N/m² (0,15 Kg/m²).

Si el valor calculado de QMHi es menor que 1,5 L/s , debe adoptarse este valor. El esfuerzo cortante medio está dado por la expresión

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot S \quad (\text{D.3.11})$$

En aquellos casos en los cuales, por las condiciones topográficas presentes, no sea posible alcanzar la velocidad

La velocidad mínima permitida en el colector de alcantarillado es aquella que genere un esfuerzo cortante de mínimo 1.0 pa.

RAS 2016

Tal velocidad de operación se puede calcular mediante la expresión, basada en las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Colebrook-White:

mínima, debe verificarse que el esfuerzo cortante sea mayor que 1,2 N/m² (0,12 Kg/m²).

Cuando el sistema considerado corresponda a un sistema de alcantarillado simplificado, el valor de la velocidad mínima real es de 0,4 m/s o la correspondiente a un esfuerzo cortante mínimo de 1,0 N/m² (0,10 Kg/m²).

Ecuación: (D.3.16)

$$v_{min} = \sqrt{\frac{8\tau_b}{\rho f}}$$

donde:

- v_{min} = Velocidad mínima real a tubo lleno para condiciones iniciales (m/s).
 τ_b = Esfuerzo cortante en el lecho de sedimentos en el fondo de la tubería (1,5 Pa)
 ρ = Densidad del agua residual (kg/m³)
 f = Factor de fricción en el lecho de la tubería (adimensional)

A su vez el factor de fricción en el lecho de sedimentos del fondo de la tubería se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

Ecuación: (D.3.17)

$$f = \frac{1}{4 \left[\log_{10} \left(\frac{k_b}{3.7d} \right) \right]^2}$$

donde:

- d = Diámetro real interno de la tubería a probar (mm).
 k_b = Mínima rugosidad del lecho⁴ igual que 1,23 mm.

Velocidad máxima en las tuberías

En general, se recomienda que la velocidad máxima real no sobrepase 5 m/s. Los valores mayores deben justificarse apropiadamente para ser aceptados por la empresa prestadora del servicio.

No debe sobre pasar 5,0 m/s, sin embargo, en condiciones hidráulicas especiales y complejas como es el caso de topografías con pendientes superiores al 30%, colectores de gran diámetro iguales o superiores a 600 mm o caudales de flujo superiores a 500 l/s, se permitirán velocidades de flujo superiores a 5 m/s, sin embargo, la velocidad no deberá sobrepasar los

límites de velocidad recomendados para el material del ducto y no deberá sobrepasar los 10 m/s.

B. Anexo: Resultados diseño de alcantarillado CALALC vs EAAB

Tabla 6-2. RECM Alturas de flujo CALALC vs EAAB

RECM Alturas de flujo ($Y(m)$)				
LABEL	LABEL CALALC	$Y(m)$	$Y(m)$	(Obs-Calc) ²
Colector	Colector	EAAB (Obs)	CALALC (Cal)	
COVRTS-01	1	0.0091	0.009106941	0.00000
COVRTS-02	2	0.010374	0.010492237	0.00000
COVRTS-03	3	0.014378	0.014493406	0.00000
COVRTS-04	4	0.014742	0.014831799	0.00000
COVRTS-05	5	0.017654	0.017842693	0.00000
COVRTS-06	23	0.019656	0.01974854	0.00000
COVRTS-07	24	0.031668	0.031778257	0.00000
COVRTS-08	25	0.026754	0.026825594	0.00000
COVRTS-09	26	0.029666	0.02969874	0.00000
COVRTS-10	27	0.041314	0.041385035	0.00000
COVRTS-11	28	0.038038	0.03816494	0.00000
COVRTS-12	29	0.044772	0.044847569	0.00000
COVRTS-13	30	0.042588	0.042639536	0.00000
COVRTS-14	31	0.039676	0.03979257	0.00000
COVRTS-15	32	0.040768	0.040962929	0.00000
COVRTS-16	6	0.011648	0.011713897	0.00000
COVRTS-17	7	0.011466	0.011634902	0.00000
COVRTS-18	8	0.01001	0.010056128	0.00000
COVRTS-19	9	0.012558	0.012648974	0.00000
COVRTS-20	10	0.01456	0.014580811	0.00000
COVRTS-21	33	0.01911	0.019214391	0.00000
COVRTS-22	34	0.026026	0.026045616	0.00000
COVRTS-23	35	0.026754	0.026870999	0.00000
COVRTS-24	36	0.030394	0.030520123	0.00000
COVRTS-25	11	0.013468	0.013550692	0.00000
COVRTS-26	37	0.039676	0.039867834	0.00000

COVRTS-27	38	0.04186	0.041995698	0.00000
COVRTS-28	39	0.049504	0.049565613	0.00000
COVRTS-29	40	0.039858	0.040047907	0.00000
COVRTS-30	41	0.038402	0.038570154	0.00000
COVRTS-31	42	0.038766	0.038811253	0.00000
COVRTS-32	12	0.013286	0.013448013	0.00000
COVRTS-33	13	0.01274	0.012875078	0.00000
COVRTS-34	14	0.016562	0.016735564	0.00000
COVRTS-35	15	0.016016	0.016036194	0.00000
COVRTS-36	43	0.019838	0.019953395	0.00000
COVRTS-37	44	0.023842	0.02391264	0.00000
COVRTS-38	16	0.011102	0.011204708	0.00000
COVRTS-39	45	0.028028	0.028075982	0.00000
COVRTS-40	46	0.031122	0.031319269	0.00000
COVRTS-41	47	0.044044	0.044155378	0.00000
COVRTS-42	48	0.04095	0.041019637	0.00000
COVRTS-43	49	0.048412	0.048487065	0.00000
COVRTS-44	50	0.040222	0.04027565	0.00000
COVRTS-45	51	0.038948	0.039113712	0.00000
COVRTS-46	52	0.035672	0.035738941	0.00000
COVRTS-47	17	0.009464	0.009575981	0.00000
COVRTS-48	65	0.04914	0.049214402	0.00000
COVRTS-49	18	0.011284	0.011363185	0.00000
COVRTS-50	19	0.010556	0.010601448	0.00000
COVRTS-51	53	0.022022	0.022213286	0.00000
COVRTS-52	20	0.017472	0.017601676	0.00000
COVRTS-53	54	0.024388	0.024510388	0.00000
COVRTS-54	55	0.027846	0.027870127	0.00000
COVRTS-55	56	0.032396	0.03251715	0.00000
COVRTS-56	57	0.048958	0.049021297	0.00000
COVRTS-57	58	0.054782	0.054987428	0.00000
COVRTS-58	59	0.043134	0.043177786	0.00000
COVRTS-59	60	0.04459	0.044700074	0.00000
COVRTS-60	61	0.039676	0.039793846	0.00000
COVRTS-61	62	0.035672	0.035693604	0.00000
COVRTS-62	63	0.037492	0.037690014	0.00000
COVRTS-63	21	0.011648	0.011793139	0.00000
COVRTS-64	64	0.064246	0.064358852	0.00000
REMC				0.00012

Tabla 6-3. RECM Velocidad de flujo CALALC vs EAAB

RECM VELOCIDAD DE FLUJO ($V(m/s)$)				
LABEL EAAB	LABEL CALALC	$V(m/s)$	$V(m/s)$	(Obs-Calc) ²
Colector	Colector	EAAB	CALALC	
COVRTS-01	1	1,065586204	1,065028266	0,00000
COVRTS-02	2	1,215281254	1,223029892	0,00006
COVRTS-03	3	0,989135837	0,993198124	0,00002
COVRTS-04	4	0,531222604	0,532766603	0,00000
COVRTS-05	5	1,148048111	1,15466336	0,00004
COVRTS-16	6	0,848875967	0,851133628	0,00001
COVRTS-17	7	0,77700594	0,783596246	0,00004
COVRTS-18	8	1,115443421	1,117611043	0,00000
COVRTS-19	9	0,667095451	0,669510296	0,00001
COVRTS-20	10	1,108004947	1,1079159	0,00000
COVRTS-25	11	1,384763708	1,388812203	0,00002
COVRTS-32	12	0,625182396	0,629423145	0,00002
COVRTS-33	13	1,21042774	1,21747424	0,00005
COVRTS-34	14	1,115185715	1,12148509	0,00004
COVRTS-35	15	0,814697299	0,814528329	0,00000
COVRTS-38	16	0,729913443	0,733533258	0,00001
COVRTS-47	17	1,164070935	1,171784477	0,00006
COVRTS-49	18	1,770217404	1,776481164	0,00004
COVRTS-50	19	1,165079434	1,16713698	0,00000
COVRTS-52	20	2,172881627	2,180928837	0,00006
COVRTS-63	21	0,917871822	0,924325131	0,00004
COVRTS-06	23	2,43216455	2,436956214	0,00002
COVRTS-07	24	1,759457707	1,761444157	0,00000
COVRTS-08	25	3,014227188	3,01617093	0,00000
COVRTS-09	26	3,035314327	3,034304443	0,00000
COVRTS-10	27	2,184412763	2,184437593	0,00000
COVRTS-11	28	2,70062609	2,703194738	0,00001
COVRTS-12	29	2,394282273	2,394125044	0,00000
COVRTS-13	30	2,745743232	2,744909773	0,00000
COVRTS-14	31	3,240867804	3,243188305	0,00001
COVRTS-15	32	3,253879749	3,259582197	0,00003
COVRTS-21	33	2,195092421	2,200382926	0,00003
COVRTS-22	34	2,128184194	2,127011822	0,00000
COVRTS-23	35	3,057871913	3,062975247	0,00003
COVRTS-24	36	2,73235891	2,736442027	0,00002
COVRTS-26	37	2,273195973	2,277379147	0,00002
COVRTS-27	38	2,307571413	2,309523657	0,00000

COVRTS-28	39	2,045453604	2,044830062	0,00000
COVRTS-29	40	2,949047312	2,9543458	0,00003
COVRTS-30	41	3,323804386	3,329049475	0,00003
COVRTS-31	42	3,456110001	3,454886821	0,00000
COVRTS-36	43	2,241550628	2,247500367	0,00004
COVRTS-37	44	2,44539956	2,447461572	0,00000
COVRTS-39	45	2,771052197	2,7711062	0,00000
COVRTS-40	46	2,760566369	2,768259695	0,00006
COVRTS-41	47	2,065446721	2,066373493	0,00000
COVRTS-42	48	2,504654319	2,50458768	0,00000
COVRTS-43	49	2,176821603	2,176488948	0,00000
COVRTS-44	50	3,132156211	3,131501395	0,00000
COVRTS-45	51	3,48331495	3,488524225	0,00003
COVRTS-46	52	4,168239963	4,168664581	0,00000
COVRTS-51	53	1,644131506	1,651368049	0,00005
COVRTS-53	54	2,186799101	2,191383129	0,00002
COVRTS-54	55	2,909809695	2,908366407	0,00000
COVRTS-55	56	2,869453446	2,873056815	0,00001
COVRTS-56	57	2,061359217	2,060783296	0,00000
COVRTS-57	58	1,952488956	1,954504373	0,00000
COVRTS-58	59	2,763761479	2,762568898	0,00000
COVRTS-59	60	2,75963157	2,760834018	0,00000
COVRTS-60	61	3,435091139	3,437551501	0,00001
COVRTS-61	62	4,203279874	4,200466434	0,00001
COVRTS-62	63	4,027418695	4,035942637	0,00007
COVRTS-64	64	1,944759258	1,944593475	0,00000
COVRTS-48	65	2,702020073	2,701567833	0,00000
REMC				0,00493

Tabla 6-4. RECM Energía específica CALALC vs EAAB

RECM Energía Especifica ($E(m)$)				
LABEL EAAB	LABEL CALALC	$E(m)$		$(\text{Obs-Calc})^2$
Colector	Colector	EAAB	CALALC	
COVRTS-01	1	0,05787329	0,06694323	8,22637E-05
COVRTS-02	2	0,07527566	0,08676198	0,000131935
COVRTS-03	3	0,04986696	0,06479131	0,000222736
COVRTS-04	4	0,01438315	0,02930458	0,000222649
COVRTS-05	5	0,06717709	0,0858239	0,000347704
COVRTS-16	6	0,03672734	0,04865192	0,000142196

COVRTS-17	7	0,03077157	0,04294344	0,000148154
COVRTS-18	8	0,0634156	0,0737444	0,000106684
COVRTS-19	9	0,02268177	0,03550457	0,000164424
COVRTS-20	10	0,06257263	0,0771689	0,000213051
COVRTS-25	11	0,0977355	0,11189861	0,000200594
COVRTS-32	12	0,01992115	0,03364858	0,000188442
COVRTS-33	13	0,0746756	0,08845348	0,00018983
COVRTS-34	14	0,0633863	0,08086614	0,000305545
COVRTS-35	15	0,03382934	0,0498653	0,000257152
COVRTS-38	16	0,02715462	0,03864051	0,000131926
COVRTS-47	17	0,0690653	0,07958816	0,000110731
COVRTS-49	18	0,15971813	0,17227922	0,000157781
COVRTS-50	19	0,06918502	0,08005937	0,000118251
COVRTS-52	20	0,24064294	0,26012924	0,000379716
COVRTS-63	21	0,0429403	0,05535713	0,000154178
COVRTS-06	23	0,30149971	0,32256088	0,000443573
COVRTS-07	24	0,15778244	0,18998168	0,001036791
COVRTS-08	25	0,46307673	0,4906889	0,000762431
COVRTS-09	26	0,46957865	0,49915639	0,000874843
COVRTS-10	27	0,24320383	0,2846936	0,001721401
COVRTS-11	28	0,37173197	0,4107563	0,001522898
COVRTS-12	29	0,29218082	0,33710918	0,002018558
COVRTS-13	30	0,38425616	0,4268191	0,001811604
COVRTS-14	31	0,53533252	0,57611066	0,001662856
COVRTS-15	32	0,53963983	0,58271676	0,001855622
COVRTS-21	33	0,2455877	0,26608799	0,000420262
COVRTS-22	34	0,23084444	0,25672985	0,000670055
COVRTS-23	35	0,47658413	0,50524227	0,000821289
COVRTS-24	36	0,38051912	0,41233304	0,001012125
COVRTS-26	37	0,26337512	0,30432101	0,001676566
COVRTS-27	38	0,27140091	0,31396692	0,001811865
COVRTS-28	39	0,21324569	0,26276824	0,002452483
COVRTS-29	40	0,44326606	0,48508967	0,001749215
COVRTS-30	41	0,56308234	0,60366145	0,001646663
COVRTS-31	42	0,60880206	0,64743062	0,001492166
COVRTS-36	43	0,25609323	0,27751295	0,000458804
COVRTS-37	44	0,30478996	0,32934136	0,000602771
COVRTS-39	45	0,39137259	0,41962348	0,000798113
COVRTS-40	46	0,38841624	0,42206278	0,00113209
COVRTS-41	47	0,21743477	0,26187409	0,001974853
COVRTS-42	48	0,31973972	0,36087276	0,001691927

COVRTS-43	49	0,24151643	0,29002817	0,002353389
COVRTS-44	50	0,50002052	0,540291	0,001621712
COVRTS-45	51	0,61842421	0,65964203	0,001698908
COVRTS-46	52	0,88553641	0,92181708	0,001316287
COVRTS-51	53	0,13777617	0,16126165	0,000551568
COVRTS-53	54	0,24373549	0,26936864	0,000657058
COVRTS-54	55	0,43154905	0,45916705	0,000762753
COVRTS-55	56	0,41966173	0,45340515	0,001138619
COVRTS-56	57	0,21657502	0,26556361	0,002399882
COVRTS-57	58	0,1943024	0,24977059	0,00307672
COVRTS-58	59	0,38931588	0,43231642	0,001849047
COVRTS-59	60	0,38815323	0,43335011	0,002042758
COVRTS-60	61	0,60141953	0,64232089	0,001672921
COVRTS-61	62	0,90048734	0,93534271	0,001214897
COVRTS-62	63	0,82671261	0,86824442	0,001724891
COVRTS-64	64	0,192767	0,25717161	0,004147953
COVRTS-48	65	0,37211582	0,42135741	0,002424734
RECM				0,032775721

Tabla 6-5. RECM Profundidad hidráulica CALALC vs EAAB.

RECM Profundidad hidráulica ($PH(m)$)				
LABEL EAAB	LABEL CALALC	$PH(m)$	$PH(m)$	(Obs-Calc) ²
Colector	Colector	EAAB	CALALC	
COVRTS-01	1	0,00592432	0,00613478	4,42923E-08
COVRTS-02	2	0,00673086	0,00707968	1,21669E-07
COVRTS-03	3	0,00922881	0,00982747	3,58393E-07
COVRTS-04	4	0,00945311	0,01006116	3,69734E-07
COVRTS-05	5	0,0112307	0,01214983	8,4481E-07
COVRTS-16	6	0,01243541	0,00791567	2,0428E-05
COVRTS-17	7	0,01936251	0,00786154	0,000132272
COVRTS-18	8	0,01659151	0,00678186	9,62292E-05
COVRTS-19	9	0,01824416	0,00855731	9,38352E-05
COVRTS-20	10	0,0245447	0,00988781	0,000214825
COVRTS-25	11	0,02282328	0,00917751	0,000186207
COVRTS-32	12	0,02631825	0,00910681	0,000296234
COVRTS-33	13	0,02520333	0,00871269	0,000271942
COVRTS-34	14	0,02368898	0,01137984	0,000151515
COVRTS-35	15	0,02426057	0,01089463	0,000178648
COVRTS-38	16	0,00753175	0,00756692	1,23682E-09

COVRTS-47	17	0,00741768	0,00645434	9,28018E-07
COVRTS-49	18	0,006501	0,00767541	1,37924E-06
COVRTS-50	19	0,00810033	0,00715431	8,9497E-07
COVRTS-52	20	0,00934101	0,01198201	6,97487E-06
COVRTS-63	21	0,01210826	0,00796999	1,71253E-05
COVRTS-06	23	0,01617356	0,01348083	7,25079E-06
COVRTS-07	24	0,01659151	0,02205649	2,9866E-05
COVRTS-08	25	0,01865252	0,0184876	2,71991E-08
COVRTS-09	26	0,00866602	0,0205511	0,000141255
COVRTS-10	27	0,02368898	0,02915169	2,98412E-05
COVRTS-11	28	0,02482772	0,02674638	3,68126E-06
COVRTS-12	29	0,02867207	0,03177103	9,60357E-06
COVRTS-13	30	0,02378455	0,03009665	3,98426E-05
COVRTS-14	31	0,02301651	0,02795859	2,44241E-05
COVRTS-15	32	0,02320926	0,02883475	3,16461E-05
COVRTS-21	33	0,00855312	0,01310708	2,07386E-05
COVRTS-22	34	0,0082137	0,0179306	9,44181E-05
COVRTS-23	35	0,01056761	0,01852007	6,32416E-05
COVRTS-24	36	0,01023448	0,02114449	0,000119028
COVRTS-26	37	0,01254422	0,02801482	0,00023934
COVRTS-27	38	0,01490827	0,02961111	0,000216174
COVRTS-28	39	0,0071892	0,03539908	0,000795797
COVRTS-29	40	0,01731832	0,02814942	0,000117313
COVRTS-30	41	0,01905895	0,0270475	6,38168E-05
COVRTS-31	42	0,02594861	0,02722687	1,63396E-06
COVRTS-36	43	0,02435541	0,01362432	0,000115156
COVRTS-37	44	0,02813643	0,01641411	0,000137413
COVRTS-39	45	0,02397533	0,01938334	2,10864E-05
COVRTS-40	46	0,02330545	0,02172334	2,50307E-06
COVRTS-41	47	0,02155527	0,03124458	9,38826E-05
COVRTS-42	48	0,00615534	0,0288773	0,000516288
COVRTS-43	49	0,02849403	0,03456344	3,68377E-05
COVRTS-44	50	0,0073035	0,02831978	0,000441684
COVRTS-45	51	0,00684562	0,02745212	0,000424628
COVRTS-46	52	0,01384079	0,02495268	0,000123474
COVRTS-51	53	0,01112048	0,01521278	1,67469E-05
COVRTS-53	54	0,01522619	0,01683811	2,59828E-06
COVRTS-54	55	0,01721485	0,01923563	4,08357E-06
COVRTS-55	56	0,01976556	0,02259386	7,99926E-06
COVRTS-56	57	0,02840482	0,03497688	4,31919E-05
COVRTS-57	58	0,03119652	0,03965985	7,16281E-05

COVRTS-58	59	0,02548374	0,03050348	2,51978E-05
COVRTS-59	60	0,02622603	0,03165873	2,95143E-05
COVRTS-60	61	0,02368898	0,02795955	1,82377E-05
COVRTS-61	62	0,02155527	0,0249193	1,13167E-05
COVRTS-62	63	0,0225325	0,02639401	1,49113E-05
COVRTS-64	64	0,00753175	0,04728755	0,001580524
COVRTS-48	65	0,03545132	0,03512655	1,05479E-07
			RCEM	0,010795777

Tabla 6-6. RECM Froude CALALC vs EAAB

RECM FROUDE (F)				
LABEL EAAB	LABEL CALALC	F	F	(Obs-Calc) ²
COVRTS-01	1	4,34532157	4,34225841	9,38298E-06
COVRTS-02	2	4,63796421	4,64177897	1,45524E-05
COVRTS-03	3	3,19865827	3,19940473	5,57205E-07
COVRTS-04	4	1,6961373	1,69616053	5,39524E-10
COVRTS-05	5	3,34350196	3,34521669	2,94027E-06
COVRTS-06	23	6,70418991	6,70260277	2,519E-06
COVRTS-07	24	3,78936032	3,78751839	3,3927E-06
COVRTS-08	25	7,08766526	7,08385597	1,45107E-05
COVRTS-09	26	6,76396451	6,75920538	2,26493E-05
COVRTS-10	27	4,08852101	4,08565604	8,20806E-06
COVRTS-11	28	5,28158098	5,27835882	1,03823E-05
COVRTS-12	29	4,29258436	4,28928805	1,08656E-05
COVRTS-13	30	5,05646784	5,05269459	1,42374E-05
COVRTS-14	31	6,19792589	6,19396243	1,5709E-05
COVRTS-15	32	6,13356031	6,12996341	1,29376E-05
COVRTS-16	6	3,05497917	3,05497692	5,05148E-12
COVRTS-17	7	2,81874645	2,8222318	1,21477E-05
COVRTS-18	8	4,33459947	4,33381464	6,15966E-07
COVRTS-19	9	2,31087548	2,31122796	1,2424E-07
COVRTS-20	10	3,5601882	3,55804006	4,6145E-06
COVRTS-21	33	6,13871857	6,13761051	1,22781E-06
COVRTS-22	34	5,07629444	5,07255252	1,40019E-05
COVRTS-23	35	7,19029163	7,18747356	7,94151E-06
COVRTS-24	36	6,01233794	6,00954582	7,79594E-06
COVRTS-25	11	4,6294573	4,62951123	2,90892E-09
COVRTS-26	37	4,34732332	4,34505682	5,137E-06
COVRTS-27	38	4,28888012	4,28596984	8,46975E-06

COVRTS-28	39	3,47338414	3,47068584	7,2808E-06
COVRTS-29	40	5,62613646	5,62316289	8,84213E-06
COVRTS-30	41	6,4676033	6,46414011	1,19937E-05
COVRTS-31	42	6,69149191	6,68634848	2,64549E-05
COVRTS-32	12	2,10457451	2,10626749	2,86618E-06
COVRTS-33	13	4,16250288	4,16521877	7,37602E-06
COVRTS-34	14	3,35549181	3,35721701	2,97633E-06
COVRTS-35	15	2,49364522	2,49203415	2,59557E-06
COVRTS-36	43	6,14962904	6,14888631	5,51645E-07
COVRTS-37	44	6,10337321	6,10044196	8,59224E-06
COVRTS-38	16	2,69155994	2,6928641	1,70083E-06
COVRTS-39	45	6,36036447	6,35613168	1,79165E-05
COVRTS-40	46	5,99977288	5,99787699	3,5944E-06
COVRTS-41	47	3,73577557	3,73315107	6,88804E-06
COVRTS-42	48	4,71007955	4,70665089	1,17557E-05
COVRTS-43	49	3,74149067	3,73854013	8,70566E-06
COVRTS-44	50	5,94664538	5,94239838	1,8037E-05
COVRTS-45	51	6,72742576	6,7236926	1,39365E-05
COVRTS-46	52	8,43313171	8,4273772	3,31144E-05
COVRTS-47	17	4,65373991	4,65774516	1,6042E-05
COVRTS-48	65	4,60673482	4,60311903	1,30739E-05
COVRTS-49	18	6,47411754	6,4753585	1,53997E-06
COVRTS-50	19	4,40739599	4,40648349	8,3266E-07
COVRTS-51	53	4,27495227	4,27556664	3,7745E-07
COVRTS-52	20	6,3617765	6,3625419	5,85833E-07
COVRTS-53	54	5,394497	5,39294109	2,42084E-06
COVRTS-54	55	6,70150398	6,69653155	2,4725E-05
COVRTS-55	56	6,10687163	6,10383883	9,19789E-06
COVRTS-56	57	3,52154547	3,51881049	7,48012E-06
COVRTS-57	58	3,13671239	3,13411657	6,73827E-06
COVRTS-58	59	5,05507127	5,05117536	1,51781E-05
COVRTS-59	60	4,95844101	4,95504482	1,15342E-05
COVRTS-60	61	6,56936401	6,5650527	1,85874E-05
COVRTS-61	62	8,50402403	8,49735248	4,45096E-05
COVRTS-62	63	7,93688637	7,93316229	1,38687E-05
COVRTS-63	21	3,30328506	3,30635901	9,44917E-06
COVRTS-64	64	2,85818425	2,8556795	6,27377E-06
RCEM				0,003068361

Tabla 6-7. RECM Esfuerzo cortante CALALC vs EAAB

LABEL EAAB	LABEL CALALC	Esfuerzo cortante ($T(N/m^2)$)		
		$T(N/m^2)$	$T(N/m^2)$	(Obs-Calc) ²
COVRTS-01	1	6.14361298	6.14567895	4.26824E-06
COVRTS-02	2	7.65813329	7.73981522	0.006671936
COVRTS-03	3	4.56656477	4.59990162	0.001111345
COVRTS-04	4	1.30663568	1.31373843	5.04489E-05
COVRTS-05	5	5.76205636	5.8182504	0.00315777
COVRTS-16	6	3.5990082	3.61725374	0.0003329
COVRTS-17	7	3.0307646	3.07276421	0.001763967
COVRTS-18	8	6.52671456	6.55331148	0.000707396
COVRTS-19	9	2.16937473	2.18366451	0.000204198
COVRTS-20	10	5.7070496	5.71255371	3.02953E-05
COVRTS-25	11	9.13982061	9.19013493	0.002531531
COVRTS-32	12	1.87110549	1.89232192	0.000450137
COVRTS-33	13	7.10925871	7.17909297	0.004876823
COVRTS-34	14	5.54832343	5.60152073	0.002829953
COVRTS-35	15	2.99293204	2.99531866	5.69593E-06
COVRTS-38	16	2.70256013	2.72570076	0.000535489
COVRTS-47	17	7.23882036	7.31930521	0.006477812
COVRTS-49	18	15.8125692	15.9136651	0.010220375
COVRTS-50	19	6.99895205	7.02536673	0.000697735
COVRTS-52	20	20.7089109	20.8466785	0.018979911
COVRTS-63	21	4.20783242	4.25686896	0.002404583
COVRTS-06	23	24.9972461	25.0982554	0.010202872
COVRTS-07	24	11.2866058	11.317644	0.000963372
COVRTS-08	25	34.8751644	34.9470893	0.005173191
COVRTS-09	26	34.2630189	34.283602	0.000423663
COVRTS-10	27	16.0747078	16.092299	0.000309451
COVRTS-11	28	25.1726645	25.2367582	0.004108003
COVRTS-12	29	18.8679452	18.887667	0.000388948
COVRTS-13	30	25.1744565	25.1906659	0.000262745
COVRTS-14	31	35.8041561	35.8820624	0.006069387
COVRTS-15	32	35.8065307	35.9417715	0.018290081
COVRTS-21	33	20.5433518	20.6411922	0.009572736
COVRTS-22	34	17.5338046	17.538886	2.58211E-05
COVRTS-23	35	35.8924313	36.0226609	0.016959738
COVRTS-24	36	27.5606354	27.6535995	0.00864231
COVRTS-26	37	17.6150778	17.6827706	0.004582321
COVRTS-27	38	17.8699897	17.9131845	0.001865789

COVRTS-28	39	13.3829701	13.3915505	7.36249E-05
COVRTS-29	40	29.6067957	29.7186478	0.012510904
COVRTS-30	41	38.0233742	38.1550093	0.017327792
COVRTS-31	42	40.9965767	41.0221099	0.000651946
COVRTS-36	43	21.1710371	21.2786938	0.011589948
COVRTS-37	44	23.7875771	23.8435782	0.00313613
COVRTS-39	45	29.0567529	29.0906218	0.001147096
COVRTS-40	46	27.9312015	28.0787816	0.02177988
COVRTS-41	47	14.1074842	14.1325359	0.000627587
COVRTS-42	48	21.1880047	21.2108904	0.000523754
COVRTS-43	49	15.2527772	15.2665889	0.000190763
COVRTS-44	50	33.3087408	33.3341506	0.000645656
COVRTS-45	51	41.5871575	41.7262294	0.019340988
COVRTS-46	52	61.1196001	61.1971669	0.006016619
COVRTS-51	53	11.0224728	11.1077335	0.007269392
COVRTS-53	54	18.8892003	18.9696897	0.006478551
COVRTS-54	55	32.1036459	32.1161386	0.000156069
COVRTS-55	56	29.8140904	29.9027818	0.00786616
COVRTS-56	57	13.6344075	13.6437414	8.71218E-05
COVRTS-57	58	11.8559055	11.8875712	0.001002714
COVRTS-58	59	25.4120459	25.424051	0.000144122
COVRTS-59	60	25.0948319	25.137964	0.001860374
COVRTS-60	61	40.2241928	40.312853	0.007860639
COVRTS-61	62	62.1515114	62.1598093	6.88546E-05
COVRTS-62	63	56.2224873	56.4629012	0.057798862
COVRTS-64	64	11.2714678	11.2823169	0.000117701
COVRTS-48	65	23.4019533	23.422321	0.000414841
RCEM				0.073308309

Tabla 6-8. RECM Cotas bateas CALALC vs EAAB

RECM Cotas Bateas (m)				
LABEL EAAB	LABEL CALALC	Cota Batea (m)	Cota Batea (m)	(Obs-Calc) ²
Colector	Colector	EAAB	CALALC	
COVRTS-01	1	3119.237	3119.237	0
COVRTS-02	2	3128.462	3128.462	0
COVRTS-03	3	3134.795	3134.795	0
COVRTS-04	4	3154.316	3154.316	0
COVRTS-05	5	3169.132	3169.132	0
COVRTS-16	6	3105.427	3105.427	0

COVRTS-17	7	3120.666	3120.666	0
COVRTS-18	8	3131.903	3131.903	0
COVRTS-19	9	3155.202	3155.202	0
COVRTS-20	10	3171.165	3171.165	0
COVRTS-25	11	3138.348	3138.348	0
COVRTS-32	12	3121.347	3121.347	0
COVRTS-33	13	3134.603	3134.603	0
COVRTS-34	14	3139.977	3139.977	0
COVRTS-35	15	3171.917	3171.917	0
COVRTS-38	16	3156.267	3156.267	0
COVRTS-47	17	3105.027	3105.027	0
COVRTS-49	18	3149.527	3149.527	0
COVRTS-50	19	3145.162	3145.162	0
COVRTS-52	20	3171.717	3171.717	0
COVRTS-63	21	3101.709	3101.709	0
COVRTS-06	23	3166.706	3166.724	0.000324
COVRTS-07	24	3155.663	3155.647	0.00026684
COVRTS-08	25	3153.038	3152.981	0.0032178
COVRTS-09	26	3141.979	3141.866	0.01279306
COVRTS-10	27	3132.694	3132.516	0.03181827
COVRTS-11	28	3129.916	3129.675	0.05811999
COVRTS-12	29	3124.412	3124.095	0.10045256
COVRTS-13	30	3120.852	3120.459	0.15445771
COVRTS-14	31	3115.776	3115.597	0.03217968
COVRTS-15	32	3109.79	3109.516	0.07501372
COVRTS-21	33	3168.032	3168.050	0.000324
COVRTS-22	34	3158.963	3158.952	0.00012875
COVRTS-23	35	3153.866	3153.808	0.00341416
COVRTS-24	36	3139.312	3139.203	0.01196735
COVRTS-26	37	3134.245	3134.072	0.02991448
COVRTS-27	38	3130.963	3130.728	0.05515604
COVRTS-28	39	3127.612	3127.307	0.09308646
COVRTS-29	40	3125.291	3124.917	0.14008385
COVRTS-30	41	3118.837	3118.725	0.01251325
COVRTS-31	42	3112.026	3111.821	0.04215191
COVRTS-36	43	3170.465	3170.480	0.000225
COVRTS-37	44	3160.83	3160.815	0.00023076
COVRTS-39	45	3153.702	3152.920	0.611524
COVRTS-40	46	3145.55	3144.715	0.69802985
COVRTS-41	47	3137.698	3136.796	0.81419508
COVRTS-42	48	3135.296	3134.332	0.9298292

COVRTS-43	49	3131.253	3130.214	1.07961993
COVRTS-44	50	3129.28	3128.162	1.24914908
COVRTS-45	51	3120.166	3119.405	0.57903125
COVRTS-46	52	3112.798	3111.936	0.74302179
COVRTS-51	53	3142.966	3142.951	0.00022861
COVRTS-53	54	3162.425	3162.397	0.00080557
COVRTS-54	55	3156.067	3156.141	0.00541303
COVRTS-55	56	3146.935	3146.948	0.00017844
COVRTS-56	57	3139.027	3138.962	0.00420161
COVRTS-57	58	3137.072	3136.934	0.01915004
COVRTS-58	59	3135.385	3135.178	0.04303776
COVRTS-59	60	3134.403	3134.260	0.0204322
COVRTS-60	61	3129.665	3129.432	0.05449439
COVRTS-61	62	3121.147	3120.962	0.034377
COVRTS-62	63	3109.299	3109.003	0.08741251
COVRTS-64	64	3099.033	3098.628	0.16411212
COVRTS-48	65	3100.959	3100.191	0.58940905
			RECM	0.36626

C. Anexo: Resultados diseño de alcantarillado CALALC vs modelación SWMM

Tabla 6-9. RECM Alturas de flujo CALALC vs SWMM

RECM Alturas de flujo ($Y(m)$)					
LABEL	LABEL CALALC	$Y(m)$	$Y(m)$	$(Obs-Calc)^2$	
Colector	Colector	SWMM	CALALC		
COVRTS-01	1	0,01	0,009106941	0,00000	
COVRTS-02	2	0,01	0,010492237	0,00000	
COVRTS-03	3	0,01	0,014493406	0,00002	
COVRTS-04	4	0,01	0,014831799	0,00002	
COVRTS-05	5	0,02	0,017842693	0,00000	
COVRTS-06	23	0,02	0,01974854	0,00000	
COVRTS-07	24	0,03	0,031778257	0,00000	
COVRTS-08	25	0,03	0,026825594	0,00001	
COVRTS-09	26	0,03	0,02969874	0,00000	
COVRTS-10	27	0,04	0,041385035	0,00000	
COVRTS-11	28	0,04	0,03816494	0,00000	
COVRTS-12	29	0,04	0,044847569	0,00002	
COVRTS-13	30	0,04	0,042639536	0,00001	
COVRTS-14	31	0,04	0,03979257	0,00000	
COVRTS-15	32	0,04	0,040962929	0,00000	
COVRTS-16	6	0,01	0,011713897	0,00000	
COVRTS-17	7	0,01	0,011634902	0,00000	
COVRTS-18	8	0,01	0,010056128	0,00000	
COVRTS-19	9	0,01	0,012648974	0,00001	
COVRTS-20	10	0,01	0,014580811	0,00002	
COVRTS-21	33	0,02	0,019214391	0,00000	
COVRTS-22	34	0,03	0,026045616	0,00002	
COVRTS-23	35	0,03	0,026870999	0,00001	

COVRTS-24	36	0,03	0,030520123	0,00000
COVRTS-25	11	0,01	0,013550692	0,00001
COVRTS-26	37	0,04	0,039867834	0,00000
COVRTS-27	38	0,04	0,041995698	0,00000
COVRTS-28	39	0,05	0,049565613	0,00000
COVRTS-29	40	0,04	0,040047907	0,00000
COVRTS-30	41	0,04	0,038570154	0,00000
COVRTS-31	42	0,04	0,038811253	0,00000
COVRTS-32	12	0,01	0,013448013	0,00001
COVRTS-33	13	0,01	0,012875078	0,00001
COVRTS-34	14	0,02	0,016735564	0,00001
COVRTS-35	15	0,02	0,016036194	0,00002
COVRTS-36	43	0,02	0,019953395	0,00000
COVRTS-37	44	0,02	0,02391264	0,00002
COVRTS-38	16	0,01	0,011204708	0,00000
COVRTS-39	45	0,03	0,028075982	0,00000
COVRTS-40	46	0,03	0,031319269	0,00000
COVRTS-41	47	0,04	0,044155378	0,00002
COVRTS-42	48	0,04	0,041019637	0,00000
COVRTS-43	49	0,05	0,048487065	0,00000
COVRTS-44	50	0,04	0,04027565	0,00000
COVRTS-45	51	0,04	0,039113712	0,00000
COVRTS-46	52	0,04	0,035738941	0,00002
COVRTS-47	17	0,01	0,009575981	0,00000
COVRTS-48	65	0,05	0,049214402	0,00000
COVRTS-49	18	0,01	0,011363185	0,00000
COVRTS-50	19	0,01	0,010601448	0,00000
COVRTS-51	53	0,02	0,022213286	0,00000
COVRTS-52	20	0,02	0,017601676	0,00001
COVRTS-53	54	0,02	0,024510388	0,00002
COVRTS-54	55	0,03	0,027870127	0,00000
COVRTS-55	56	0,03	0,03251715	0,00001
COVRTS-56	57	0,05	0,049021297	0,00000
COVRTS-57	58	0,05	0,054987428	0,00002
COVRTS-58	59	0,04	0,043177786	0,00001
COVRTS-59	60	0,04	0,044700074	0,00002
COVRTS-60	61	0,04	0,039793846	0,00000
COVRTS-61	62	0,04	0,035693604	0,00002
COVRTS-62	63	0,04	0,037690014	0,00001
COVRTS-63	21	0,01	0,011793139	0,00000
COVRTS-64	64	0,06	0,064358852	0,00002

REMC **0,00261**

Tabla 6-10. RECM Velocidad de flujo CALALC vs SWMM

RECM Velocidad de flujo (V (m/s))					
LABEL EAAB	LABEL CALALC	V (m/s)	V (m/s)	(Obs-Calc) ²	
Colector	Colector	SWMM	CALALC		
COVRTS-01	1	1,06	1,065028266	0,00003	
COVRTS-02	2	1,22	1,223029892	0,00001	
COVRTS-03	3	0,95	0,993198124	0,00187	
COVRTS-04	4	0,53	0,532766603	0,00001	
COVRTS-05	5	1,17	1,15466336	0,00024	
COVRTS-06	23	2,46	2,436956214	0,00053	
COVRTS-07	24	1,76	1,761444157	0,00000	
COVRTS-08	25	3,05	3,01617093	0,00114	
COVRTS-09	26	3,06	3,034304443	0,00066	
COVRTS-10	27	2,19	2,184437593	0,00003	
COVRTS-11	28	2,71	2,703194738	0,00005	
COVRTS-12	29	2,4	2,394125044	0,00003	
COVRTS-13	30	2,75	2,744909773	0,00003	
COVRTS-14	31	3,26	3,243188305	0,00028	
COVRTS-15	32	3,28	3,259582197	0,00042	
COVRTS-16	6	0,85	0,851133628	0,00000	
COVRTS-17	7	0,78	0,783596246	0,00001	
COVRTS-18	8	1,11	1,117611043	0,00006	
COVRTS-19	9	0,67	0,669510296	0,00000	
COVRTS-20	10	1,11	1,1079159	0,00000	
COVRTS-21	33	2,22	2,200382926	0,00038	
COVRTS-22	34	2,14	2,127011822	0,00017	
COVRTS-23	35	3,1	3,062975247	0,00137	
COVRTS-24	36	2,75	2,736442027	0,00018	
COVRTS-25	11	1,39	1,388812203	0,00000	
COVRTS-26	37	2,28	2,277379147	0,00001	
COVRTS-27	38	2,31	2,309523657	0,00000	
COVRTS-28	39	2,04	2,044830062	0,00002	
COVRTS-29	40	2,96	2,9543458	0,00003	
COVRTS-30	41	3,35	3,329049475	0,00044	
COVRTS-31	42	3,48	3,454886821	0,00063	
COVRTS-32	12	0,63	0,629423145	0,00000	
COVRTS-33	13	1,21	1,21747424	0,00006	
COVRTS-34	14	1,13	1,12148509	0,00007	
COVRTS-35	15	0,82	0,814528329	0,00003	
COVRTS-36	43	2,25	2,247500367	0,00001	

COVRTS-37	44	2,46	2,447461572	0,00016
COVRTS-38	16	0,74	0,733533258	0,00004
COVRTS-39	45	2,79	2,7711062	0,00036
COVRTS-40	46	2,78	2,768259695	0,00014
COVRTS-41	47	2,07	2,066373493	0,00001
COVRTS-42	48	2,51	2,50458768	0,00003
COVRTS-43	49	2,18	2,176488948	0,00001
COVRTS-44	50	3,14	3,131501395	0,00007
COVRTS-45	51	3,51	3,488524225	0,00046
COVRTS-46	52	4,24	4,168664581	0,00509
COVRTS-47	17	1,16	1,171784477	0,00014
COVRTS-48	65	2,7	2,701567833	0,00000
COVRTS-49	18	1,77	1,776481164	0,00004
COVRTS-50	19	1,17	1,16713698	0,00001
COVRTS-51	53	1,66	1,651368049	0,00007
COVRTS-52	20	2,22	2,180928837	0,00153
COVRTS-53	54	2,2	2,191383129	0,00007
COVRTS-54	55	2,93	2,908366407	0,00047
COVRTS-55	56	2,89	2,873056815	0,00029
COVRTS-56	57	2,06	2,060783296	0,00000
COVRTS-57	58	1,95	1,954504373	0,00002
COVRTS-58	59	2,77	2,762568898	0,00006
COVRTS-59	60	2,77	2,760834018	0,00008
COVRTS-60	61	3,46	3,437551501	0,00050
COVRTS-61	62	4,27	4,200466434	0,00483
COVRTS-62	63	4,09	4,035942637	0,00292
COVRTS-63	21	0,97	0,924325131	0,00209
COVRTS-64	64	1,94	1,944593475	0,00002
REMC				0,02104

Tabla 6-11. REMC Froude CALALC vs SWMM-

		FROUDE (F)			$(\text{Obs-Calc})^2$
LABEL EAAB	LABEL CALALC	F	F		
Colector	Colector	SWMM	CALALC		
COVRTS-01	1	4,122071205	4,342258406	0,048482403	
COVRTS-02	2	4,744270633	4,641778966	0,010504542	
COVRTS-03	3	3,694309099	3,199404731	0,244930334	
COVRTS-04	4	2,061035603	1,696160525	0,133133822	
COVRTS-05	5	3,197147817	3,345216686	0,02192439	
COVRTS-06	23	6,722208231	6,702602773	0,000384374	
COVRTS-07	24	3,899990366	3,787518394	0,012649945	

COVRTS-08	25	6,758506033	7,08385597	0,105852582
COVRTS-09	26	6,780665069	6,759205382	0,000460518
COVRTS-10	27	4,170997468	4,085656037	0,00728316
COVRTS-11	28	5,161371296	5,278358819	0,013686081
COVRTS-12	29	4,570956129	4,289288048	0,079336908
COVRTS-13	30	5,237553898	5,052694593	0,034172963
COVRTS-14	31	6,208882076	6,19396243	0,000222596
COVRTS-15	32	6,246973377	6,129963413	0,013691332
COVRTS-16	6	3,305434457	3,054976923	0,062728976
COVRTS-17	7	3,033222208	2,822231803	0,044516951
COVRTS-18	8	4,316508526	4,333814638	0,000299502
COVRTS-19	9	2,605460102	2,311227959	0,086572554
COVRTS-20	10	4,316508526	3,558040061	0,575274413
COVRTS-21	33	6,066383037	6,137610508	0,005073353
COVRTS-22	34	4,742033741	5,072552518	0,109242662
COVRTS-23	35	6,869301214	7,187473563	0,101233644
COVRTS-24	36	6,093734948	6,009545824	0,007087809
COVRTS-25	11	5,405357524	4,629511233	0,601937468
COVRTS-26	37	4,342408323	4,345056823	7,01455E-06
COVRTS-27	38	4,399545274	4,285969842	0,012899379
COVRTS-28	39	3,446092281	3,470685843	0,000604843
COVRTS-29	40	5,637512559	5,623162891	0,000205913
COVRTS-30	41	6,38029293	6,464140105	0,007030349
COVRTS-31	42	6,627886387	6,686348478	0,003417816
COVRTS-32	12	2,449910245	2,106267487	0,118090345
COVRTS-33	13	4,705383168	4,165218766	0,291777581
COVRTS-34	14	3,087843618	3,357217015	0,072562027
COVRTS-35	15	2,240736077	2,492034146	0,063150719
COVRTS-36	43	6,148361186	6,148886314	2,75759E-07
COVRTS-37	44	6,722208231	6,100441958	0,386593298
COVRTS-38	16	2,877672351	2,692864102	0,034154089
COVRTS-39	45	6,182371092	6,356131683	0,030192743
COVRTS-40	46	6,160212056	5,997876987	0,026352675
COVRTS-41	47	3,942449662	3,733151066	0,043805902
COVRTS-42	48	4,780458285	4,706650888	0,005447532
COVRTS-43	49	3,682588811	3,738540133	0,00313055
COVRTS-44	50	5,980334269	5,942398383	0,001439131
COVRTS-45	51	6,685023339	6,723692598	0,001495312
COVRTS-46	52	8,075355828	8,427377201	0,123919047
COVRTS-47	17	4,510945847	4,657745156	0,021550037
COVRTS-48	65	4,56100449	4,603119027	0,001773634

COVRTS-49	18	6,883081164	6,475358499	0,166237771
COVRTS-50	19	4,549833312	4,406483493	0,020549171
COVRTS-51	53	4,536124253	4,275566641	0,067890269
COVRTS-52	20	6,066383037	6,3625419	0,087710072
COVRTS-53	54	6,011730938	5,392941091	0,382900875
COVRTS-54	55	6,492597599	6,696531552	0,041589057
COVRTS-55	56	6,403961454	6,103838827	0,090073591
COVRTS-56	57	3,4798775	3,51881049	0,001515778
COVRTS-57	58	3,294058798	3,134116573	0,025581515
COVRTS-58	59	5,275645199	5,051175356	0,05038671
COVRTS-59	60	5,275645199	4,955044816	0,102784606
COVRTS-60	61	6,589795086	6,565052697	0,000612186
COVRTS-61	62	8,13249278	8,497352478	0,133122599
COVRTS-62	63	7,78967107	7,933162292	0,020589731
COVRTS-63	21	3,772084028	3,306359009	0,216899793
COVRTS-64	64	2,963729625	2,855679496	0,01167483
REMC				0,280077077

Tabla 6-12. REMC Profundidad hidráulica CALALC vs SWMM

RECM Profundidad hidráulica ($PH(m)$)				
LABEL EAAB	LABEL CALALC	$PH(m)$	$PH(m)$	(Obs-Calc) ²
Colector	Colector	SWMM	CALALC	
COVRTS-01	1	0.00674355	0,00613478	3.70605E-07
COVRTS-02	2	0.00674355	0,00707968	1.12977E-07
COVRTS-03	3	0.00674355	0,00982747	9.51051E-06
COVRTS-04	4	0.00674355	0,01006116	1.10065E-05
COVRTS-05	5	0.01365697	0,01214983	2.27146E-06
COVRTS-06	23	0.01365697	0,01348083	3.10262E-08
COVRTS-07	24	0.02076856	0,02205649	1.65876E-06
COVRTS-08	25	0.02076856	0,0184876	5.20277E-06
COVRTS-09	26	0.02076856	0,0205511	4.72875E-08
COVRTS-10	27	0.0281136	0,02915169	1.07763E-06
COVRTS-11	28	0.0281136	0,02674638	1.8693E-06
COVRTS-12	29	0.0281136	0,03177103	1.33768E-05
COVRTS-13	30	0.0281136	0,03009665	3.93248E-06
COVRTS-14	31	0.0281136	0,02795859	2.40278E-08
COVRTS-15	32	0.0281136	0,02883475	5.20058E-07
COVRTS-16	6	0.00674355	0,00791567	1.37386E-06
COVRTS-17	7	0.00674355	0,00786154	1.24988E-06

COVRTS-18	8	0.00674355	0,00678186	1.46732E-09
COVRTS-19	9	0.00674355	0,00855731	3.2897E-06
COVRTS-20	10	0.00674355	0,00988781	9.88633E-06
COVRTS-21	33	0.01365697	0,01310708	3.02379E-07
COVRTS-22	34	0.02076856	0,0179306	8.05402E-06
COVRTS-23	35	0.02076856	0,01852007	5.05572E-06
COVRTS-24	36	0.02076856	0,02114449	1.41327E-07
COVRTS-25	11	0.00674355	0,00917751	5.92414E-06
COVRTS-26	37	0.0281136	0,02801482	9.75741E-09
COVRTS-27	38	0.0281136	0,02961111	2.24254E-06
COVRTS-28	39	0.03573672	0,03539908	1.14E-07
COVRTS-29	40	0.0281136	0,02814942	1.28288E-09
COVRTS-30	41	0.0281136	0,0270475	1.13658E-06
COVRTS-31	42	0.0281136	0,02722687	7.8629E-07
COVRTS-32	12	0.00674355	0,00910681	5.585E-06
COVRTS-33	13	0.00674355	0,00871269	3.87748E-06
COVRTS-34	14	0.01365697	0,01137984	5.18531E-06
COVRTS-35	15	0.01365697	0,01089463	7.63053E-06
COVRTS-36	43	0.01365697	0,01362432	1.06634E-09
COVRTS-37	44	0.01365697	0,01641411	7.6018E-06
COVRTS-38	16	0.00674355	0,00756692	6.77923E-07
COVRTS-39	45	0.02076856	0,01938334	1.91883E-06
COVRTS-40	46	0.02076856	0,02172334	9.11611E-07
COVRTS-41	47	0.0281136	0,03124458	9.803E-06
COVRTS-42	48	0.0281136	0,0288773	5.83239E-07
COVRTS-43	49	0.03573672	0,03456344	1.37658E-06
COVRTS-44	50	0.0281136	0,02831978	4.25075E-08
COVRTS-45	51	0.0281136	0,02745212	4.37557E-07
COVRTS-46	52	0.0281136	0,02495268	9.99144E-06
COVRTS-47	17	0.00674355	0,00645434	8.36423E-08
COVRTS-48	65	0.03573672	0,03512655	3.72307E-07
COVRTS-49	18	0.00674355	0,00767541	8.68358E-07
COVRTS-50	19	0.00674355	0,00715431	1.68716E-07
COVRTS-51	53	0.01365697	0,01521278	2.42053E-06
COVRTS-52	20	0.01365697	0,01198201	2.80549E-06
COVRTS-53	54	0.01365697	0,01683811	1.01197E-05
COVRTS-54	55	0.02076856	0,01923563	2.34986E-06
COVRTS-55	56	0.02076856	0,02259386	3.33172E-06
COVRTS-56	57	0.03573672	0,03497688	5.77358E-07
COVRTS-57	58	0.03573672	0,03965985	1.5391E-05
COVRTS-58	59	0.0281136	0,03050348	5.71154E-06

COVRTS-59	60	0.0281136	0,03165873	1.2568E-05
COVRTS-60	61	0.0281136	0,02795955	2.37334E-08
COVRTS-61	62	0.0281136	0,0249193	1.02035E-05
COVRTS-62	63	0.0281136	0,02639401	2.95699E-06
COVRTS-63	21	0.00674355	0,00796999	1.50414E-06
COVRTS-64	64	0.04369527	0,04728755	1.29045E-05
RCEM				0.001898052

Tabla 6-13. REMC Energía específica CALALC vs SWMM

RECM Energía Específica ($E(m)$)				
LABEL EAAB	LABEL CALALC	$E(m)$	$E(m)$	(Obs-Calc) ²
Colector	Colector	SWMM	CALALC	
COVRTS-01	1	0,06729145	0,06694323	1,21263E-07
COVRTS-02	2	0,08589231	0,08676198	7,56317E-07
COVRTS-03	3	0,05601774	0,06479131	7,69755E-05
COVRTS-04	4	0,02432286	0,02930458	2,48175E-05
COVRTS-05	5	0,0897991	0,0858239	1,58022E-05
COVRTS-06	23	0,32856618	0,32256088	3,60637E-05
COVRTS-07	24	0,18794412	0,18998168	4,15166E-06
COVRTS-08	25	0,50432694	0,4906889	0,000185996
COVRTS-09	26	0,50744238	0,49915639	6,86576E-05
COVRTS-10	27	0,28454926	0,2846936	2,08355E-08
COVRTS-11	28	0,41446971	0,4107563	1,37894E-05
COVRTS-12	29	0,33369774	0,33710918	1,1638E-05
COVRTS-13	30	0,42560575	0,4268191	1,47222E-06
COVRTS-14	31	0,58189272	0,57611066	3,34322E-05
COVRTS-15	32	0,5885621	0,58271676	3,41681E-05
COVRTS-16	6	0,04683969	0,04865192	3,28417E-06
COVRTS-17	7	0,04102182	0,04294344	3,69262E-06
COVRTS-18	8	0,07282378	0,0737444	8,47543E-07
COVRTS-19	9	0,03288905	0,03550457	6,84098E-06
COVRTS-20	10	0,07282378	0,0771689	1,88801E-05
COVRTS-21	33	0,27129513	0,26608799	2,71143E-05
COVRTS-22	34	0,2635101	0,25672985	4,59717E-05
COVRTS-23	35	0,52000612	0,50524227	0,000217971
COVRTS-24	36	0,41560575	0,41233304	1,07106E-05
COVRTS-25	11	0,10851621	0,11189861	1,14406E-05
COVRTS-26	37	0,30506221	0,30432101	5,49366E-07

COVRTS-27	38	0,31208342	0,31396692	3,54756E-06
COVRTS-28	39	0,26219661	0,26276824	3,2676E-07
COVRTS-29	40	0,48674689	0,48508967	2,74637E-06
COVRTS-30	41	0,61222619	0,60366145	7,33548E-05
COVRTS-31	42	0,65749949	0,64743062	0,000101382
COVRTS-32	12	0,03023761	0,03364858	1,16347E-05
COVRTS-33	13	0,08465327	0,08845348	1,44415E-05
COVRTS-34	14	0,0851081	0,08086614	1,79942E-05
COVRTS-35	15	0,05428513	0,0498653	1,95349E-05
COVRTS-36	43	0,27813278	0,27751295	3,8419E-07
COVRTS-37	44	0,32856618	0,32934136	6,00905E-07
COVRTS-38	16	0,03792168	0,03864051	5,16723E-07
COVRTS-39	45	0,42690496	0,41962348	5,30199E-05
COVRTS-40	46	0,42406486	0,42206278	4,00831E-06
COVRTS-41	47	0,25848358	0,26187409	1,14956E-05
COVRTS-42	48	0,361237	0,36087276	1,32669E-07
COVRTS-43	49	0,29232103	0,29002817	5,2572E-06
COVRTS-44	50	0,54273302	0,540291	5,96348E-06
COVRTS-45	51	0,66819192	0,65964203	7,31008E-05
COVRTS-46	52	0,95666327	0,92181708	0,001214257
COVRTS-47	17	0,07861105	0,07958816	9,54735E-07
COVRTS-48	65	0,4217112	0,42135741	1,25163E-07
COVRTS-49	18	0,16974403	0,17227922	6,42718E-06
COVRTS-50	19	0,0797991	0,08005937	6,77383E-08
COVRTS-51	53	0,16050581	0,16126165	5,71283E-07
COVRTS-52	20	0,27129513	0,26012924	0,000124677
COVRTS-53	54	0,26678768	0,26936864	6,66134E-06
COVRTS-54	55	0,4677371	0,45916705	7,34458E-05
COVRTS-55	56	0,45586682	0,45340515	6,0598E-06
COVRTS-56	57	0,26637773	0,26556361	6,62793E-07
COVRTS-57	58	0,2438864	0,24977059	3,46237E-05
COVRTS-58	59	0,43123496	0,43231642	1,16956E-06
COVRTS-59	60	0,43123496	0,43335011	4,47386E-06
COVRTS-60	61	0,65042219	0,64232089	6,56311E-05
COVRTS-61	62	0,96968081	0,93534271	0,001179105
COVRTS-62	63	0,89295227	0,86824442	0,000610478
COVRTS-63	21	0,05797573	0,05535713	6,85707E-06
COVRTS-64	64	0,25190292	0,25717161	2,77591E-05
			REMC	0,00849505

7. Bibliografía

- Aguirre, A. (1994). *Introducción al tratamiento de series temporales*. Madrid, España: Diaz de Santos S.A.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw-Hill.
- Deepak, P., & Satish, T. (2020). Investigating the hydrological performance of green roofs using storm water management model. *Materials Today Proceedings*.
- EAAB. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (13 de 11 de 2009). Norma Técnica de Servicio, NS-085. Bogotá D.C., Colombia.
- EPA. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. Cincinnati, OH 45268 : National Risk Management Research Laboratory.
- Fernández, J. A. (2013). *1.1 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL LIBRO DE CÁLCULO DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL "CALALC" (Tesis de pregrado)*. Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Lopez Cualla, R. A. (2008). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá D.C, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (13 de Marzo de 2015). Resolución 0631 de 2015. *Por el cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*. Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (24 de Enero de 2011). Resolución 075 de 2011. *Por el cual se adopta el formato de reporte sobre el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público*. Bogotá D.C, Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (08 de Junio de 2017). Resolución 0330. *Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS*. Bogotá, Colombia.

- Mora, G., & Jiménez, W. (2016). *COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OFRECIDOS POR EL PROGRAMA CALALC Y EL PROGRAMA EPA SWMM V 5.1 EN LA ETAPA DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADOS*. Bogotá D.C.
- Paipilla, L. C. (2014). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MODULO DE ALCANTARILLASO PLUVIAL DEL LIBRO DE CÁLCULO DE REDES DE ALCANTARILLADO "CALALC" (Tesis de pregrado)*. Bogotá.
- Riestra , J. A. (2012). *Estadística la experimentacion y evaluacion educativa*. Madrid, España: Diaz de Santos.
- Rincón, J. C., & Muñoz, M. F. (2013). Diseño hidráulico de sistemas de drenaje dual a través del modelo SWMM. *Ingeniería Hidraulica y Ambiental*.
- Valero, J. A. (2014). *GUÍA DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO MEDIANTE EL PROGRAMA "CALALC"*. Bogotá D.C.

