

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MODULO DE ALCANTARILLADO
PLUVIAL DEL LIBRO DE CÁLCULO DE REDES DE ALCANTARILLADO
"CALALC".**

**ESTUDIANTE
LUIS CARLOS PAIPILLA QUEVEDO**

**DIRECTOR
JORGE ALBERTO VALERO FANDIÑO I.C, MS.c**

**PROYECTO DE APLICACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C 2014**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MODULO DE ALCANTARILLADO
PLUVIAL DEL LIBRO DE CÁLCULO DE REDES DE ALCANTARILLADO
"CALALC".**

ESTUDIANTE

LUIS CARLOS PAIPILLA QUEVEDO

CODIGO 20111085050

DIRECTOR

JORGE ALBERTO VALERO FANDIÑO I.C, MS.c

**PROYECTO DE APLICACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C 2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

NOTA CALIFICACIÓN PROYECTO DE APLICACIÓN

DIRECTOR

JURADO 1

JURADO 2

BOTOTÁ D. C. DICIEMBRE 2014

Agradezco a quienes fueron mi fuerza y mi guía a través del gran túnel por el que pasa cada estudiante, especialmente a quienes por más turbio que pareció el panorama nunca dejaron de creer...

AGRADECIMIENTOS

En la vida nos enfrentamos a diversas vicisitudes que ponen a prueba la razón por la cual estamos aquí, en pie, mirando al frente y buscando un lugar para dar el siguiente paso. Hubo personas que me apena no poder recordar sus nombres, más, hoy recuerdo sus rostros, sus manos algunas aun con el polvo de su quehacer diario y otras tan cálidas, suaves y tersas que simplemente al contacto con mis mejillas me hacían olvidar un mal día; a todos ellos gracias. Agradezco a mi familia, a Andres y David que han sido mis motores, mis más grandes inspiraciones, mis más implacables competidores, mis amigos y por sobre todo mis hermanos... a mi Padre, en una sola palabra, por **creer** y a mi Madre gracias por sus cuidados y atenciones.

De las cosas que no pretendo lograr con este proyecto es llegar a entender a un santandereano, solo quiero disfrutar y aprender de quien se convirtió en algo más que un profesor, en mi consejero Jorge Valero a quien hoy agradezco el confiarme este proyecto y guiarme por lo que para alguien de 20 años aún está en tinieblas.

Por ultimo agradezco a mis amigos esas personas que siempre estuvieron dispuestos a brindarme una mano llena de gomitas para hacerme reír.

Gracias

A mis santos...

ABSTRAC

TITULO: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL LIBRO DE CÁLCULO DE REDES DE ALCANTARILLADO "CALALC" EN EL MODULO PLUVIAL

RESUMEN

"CALALC", es un libro de cálculo programado en Excel que pretende obtener los parámetros necesarios para el diseño de un alcantarillado este proyecto evaluó la segunda fase del mismo, el módulo de alcantarillado pluvial, para lo cual fue necesario definir los protocolos de cálculo, obtener los parámetros de evaluación y finalmente comprobar a exactitud y precisión en los resultados a la luz de la normativa colombiana legal vigente.

La metodología de evaluación se basó en el análisis y comparación de dos bloques de información referencial, en contraste a otros dos de resultados experimentales, el primer bloque fue suministrado por el libro "Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados" de Ricardo Alfredo López y el segundo de por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB)

TITLE: PERFORMANCE EVALUATION OF THE BOOK OF CALCULATION OF SEWER NETWORKS "CALALC" MODULE IN THE RAIN

ANSWER

"CALALC" is a book scheduled Excel spreadsheet that seeks to obtain the necessary parameters for the design of a sewer project evaluated the second phase of the module storm sewer, for which it was necessary to define protocols calculation obtain the benchmarks and finally check accuracy and precision in the results in light of the Colombian legal regulations in force.

The evaluation methodology was based on the analysis and comparison of two blocks of reference information, in contrast to two other experimental results, the first block was supplied by the book "Design elements for water and sewage" Ricardo Alfredo Lopez and second by the Water and Sewerage Company of Bogotá (EAAB)

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	12
1.1.	ANTECEDENTES	12
1.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUTIFICACIÓN	14
2.	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo General	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3.	MARCOS DE REFERENCIA	17
3.1	Generalidades de las redes de alcantarillado	17
3.1.1	Sistema separado de aguas residuales	17
3.1.2	Sistema separado de aguas pluviales	17
3.1.3	Sistema combinado.....	17
6.1.2	Alcantarillado Pluvial	18
3.2	PROTOCOLO DE DISEÑO DE UNA RED DE ALCANTARILLADO	18
3.2.1	Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)	19
3.2.2	Factor de reducción	19
3.2.3	Frecuencia de diseño de tuberías de alcantarillado pluvial	19
3.2.4	Cálculo de áreas de drenaje	20
3.2.5	Cálculo de coeficiente de escorrentía.....	20
3.2.6	Calculo del tiempo de entrada	20
3.2.7	Tiempo de tránsito en los colectores	21
3.2.8	Tiempo total de concentración.....	22
3.2.9	Velocidad mínima.....	22
3.2.10	Velocidad máxima.....	22
3.2.11	Diámetro mínimo	22
3.3	DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS DE MODELACIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO MÁS UTILIZADOS	23
3.3.1	Método del hidrograma de chicago	23
3.3.2	EPA SWMM.....	23
3.3.3	ILLUDAS	23
3.3.4	HAYA	24
3.3.5	CALALC	24
3.3.5.2	Hoja "caudal Pluvial"	25

3.3.5.3	Hoja "Flujo Pluvial"	25
3.3.5.4	Hojas complementarias "Tablas del RAS general"	26
3.3.5.5	Hoja complementaria "Tablas RAS Pluvial"	26
3.4	Resultados ofrecidos por el libro de cálculo CALALC en el módulo de alcantarillado pluvial	27
3.4.1	Bondades del libro de cálculo.....	27
4.	METODOLOGÍA.....	28
4.1	Recopilación de la información.....	28
4.2	Organización de la información	28
4.3	Estudio de las consideraciones necesarias para realizar el diseño de alcantarillado pluvial.....	28
4.4	Comparación entre los resultados	28
4.5	Elaboración del informe final	28
5.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL LIBRO DE CÁLCULO CALALC. MODULO DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.	29
5.1	Modelación de la red de alcantarillado Pluvial presentada en el libro "Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados" utilizando CALALC.....	29
5.2	Ejemplo de alcantarillado pluvial en el libro de López Cualla	29
5.2.1	Parámetros de diseño	30
5.2.1	Comparación de Resultados.....	31
5.3	Modelación de la red de alcantarillado Pluvial presentada en las memorias de cálculo del proyecto SMA – 761 de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, utilizando CALALC.....	32
5.3.1	Parámetros de diseño para la red de alcantarillado pluvial SMA – 761	33
5.3.2	Comparación de resultados	34
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
6.1	Conclusiones	35
6.2	Recomendaciones	36
7.	REFERENCIAS.....	37
8.	ANEXOS	38

Lista de Tablas

TABLA 1	CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS DE LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL (LÓPEZ CUALLA, 2003).....	30
TABLA 2	TABLA COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS PRESENTADOS POR LÓPEZ CUALLA Y CALALC EN EL DISEÑO DE LA RED DE EJEMPLO DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	iError! Marcador no definido.
TABLA 4	CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS DE LA RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL (SMA – 761)	33
TABLA 5	COMPARACION ENTRE LOS DATOS DE LAS MEMORIAS DE CÁLCULO DEL PROYECTO SMA-761 Y CALACL.....	34

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 EJEMPLO DE DISEÑO DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL CONVENCIONAL PRESENTADO EN EL LIBRO DE LÓPEZ CUALLA.....	33
Ilustración 2 LOCALIDAD 1° USAQUÉN.....	33
Ilustración 3 PARTE DEL PROYECTO SMA-761 HECHO POR EL ACUEDUCTO DE BOGOTÁ LA LOCALIDAD USAQUÉN	34

Lista de Anexos

1. Plano 1.*
2. Plano 2.*
5. Memorias del contratista DISEÑO_PLUVIAL_AV_9 *

*Anexo presentado en formato digital.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este documento el lector encontrará la serie de metodologías y herramientas en que se basó la evaluación del módulo de alcantarillado pluvial del libro de cálculo CALALC; consecuentemente en el primer gran bloque del documento hallará el por qué hacer un software con protocolos de cálculo para un alcantarillado y en el segundo se indicará acerca de cómo se hizo la evaluación del software.

En el transcurrir del tiempo la humanidad ha buscado recorrer distancias más largas en menor tiempo, llegar más alto y lejos, más profundo, y entre otras cosas, ofrecer mayor seguridad y confianza a sus poblaciones. En dicha tarea la tecnología ha jugado un papel crucial en diversos campos como: la evaluación de costos, el análisis de tiempos, cuantificación de los riesgos y para este caso específico, simulación de estructuras.

En todos los casos mencionados anteriormente a la tecnología le ha interesado específicamente reducir la incertidumbre de los resultados usados para la toma de decisiones, cuando esta no se tiene en cuenta, las consecuencias a asumir se hacen, por lo general, muy costosas.

Los estudios para el diseño de redes de alcantarillado, habitualmente, son costosos y tardan mucho tiempo dado la cantidad de cálculos a ejecutar, por lo anterior, CALALC no pretende ser más que un programa creado para reducir la incertidumbre al momento de diseñar de redes de alcantarillado sanitario y pluvial, para comunidades con bajos recursos, ofreciendo a los usuarios seguridad y confianza a la hora de su uso.

Finalmente, CALALC demuestra ser un software confiable que con un uso adecuado es de gran ayuda para el diseño de redes de alcantarillado, además, al ser un programa que muestra cálculos intermedios, permite dar interpretación a los resultados e ir identificando el cambio de las variables en cada etapa del diseño.

1.1. ANTECEDENTES

Actualmente contamos con herramientas que permiten calcular parte del diseño de la red de alcantarillado como HCanales, un software que permite resolver los problemas más frecuentes que se presentan en el diseño de canales y estructuras hidráulicas; no obstante, como se

mencionó anteriormente solo permitirá el cálculo de algunos aspectos relacionados con del diseño de la red; otro ejemplo es "CLOACAS" y "DREN- URBAN" estos son programas privados, que deben funcionar paralelamente pero ofrecen una interfaz agradable, que, con el adecuado adiestramiento puede ser de gran utilidad, sin embargo, al no ser software's nacionales usan parámetros y valores que no contemplan las normas colombianas.

Ahora, CALALC es un software cuyos parámetros se basan en el Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico (RAS).

A continuación se presentan algunos de los aspectos más relevantes en cuanto a las redes de alcantarillado y la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB)

Eventos relacionados con el alcantarillado en Bogotá:

- El 2 de julio de 1888 entró en servicio el primer tramo de tubería de hierro en el centro de Bogotá.
- "En 1584 el Cabildo ordenó la construcción de la primera fuente de la Bogotá colonial, el Mono de la Pila, cuyas aguas eran conducidas hasta allí desde el río San Agustín. La cañería que transportaba el agua atravesaba una arboleda de laureles por lo que se llamó el acueducto de los Laureles. Durante los siguientes 100 años se construyeron otras fuentes de agua, igualmente rudimentarias.
- En 1955 el acueducto se desvinculó del tranvía y se unió al sistema de alcantarillado, creando la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -EAAB-, mediante el acuerdo 105 del Concejo Administrativo de la ciudad. Se empezó el desarrollo de estudios para traer más agua a Bogotá y comenzó la construcción de la planta de tratamiento Tibitoc que terminó en 1959 con una capacidad inicial de 3.5 metros cúbicos por segundo. Las 2 ampliaciones posteriores permiten hoy contar con una capacidad de 10.4 metros cúbicos por segundo. Esta planta se constituyó en el primer sistema de gran envergadura de la ciudad. Se surte de las aguas del río Bogotá que llegan por bombeo a la planta.
- Desde la década de los 60, la Empresa elaboró un plan maestro de alcantarillado, decidiendo mantener el sistema de alcantarillado combinado en la parte antigua de la

ciudad y adoptar para los futuros desarrollos el sistema separado o semi-combinado.” (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2014).

- En el 2013 se desarrolló la evaluación del primer módulo de CALALC que trato sobre el diseño de redes de alcantarillado sanitario, donde se concluyó la utilidad del software para economizar tiempo y agilizar el proceso de diseño, además de su capacidad para simular situaciones reales en la modelación de dichos alcantarillados. (Fernandez, 2013)

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUTIFICACIÓN

En la actualidad se recomienda que las comunidades diseñen sus acueductos paralelamente al diseño del alcantarillado, básicamente porque la norma a estandarizado que el índice de retorno del acueducto al alcantarillado es de aproximadamente el 80%, es decir que por cada 100 litros de agua que entran a un domicilio por el acueducto, 80 litros saldrán por el drenaje; y si no se tiene un sistema eficaz para la recolección de estas, la proliferación de vectores y enfermedades tenderán a amentar. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2011)

Históricamente, es bien sabido que la mala disposición de los residuos líquidos es la principal razón de afecciones respiratorias, además de actuar como focos de cultivo para microorganismos y vectores.

Los planes de gestión municipal, son la herramienta por excelencia que tiene un municipio para lograr desarrollo en su comunidad en cuanto a salud pública e infraestructura, pero, en este gobierno se destinan más recursos a aquellos municipios que han sabido invertir el presupuesto y, paralelamente, a los que no lo ejecutan de una forma adecuada, se designa menor capital; al final de cada legislatura se evalúa la ejecución de los proyectos y dependiendo de ello se calculara la cantidad de dinero asignado para el siguiente periodo; esto hace caer a los municipios en círculos viciosos en donde cada vez se tiene menor capital y más gastos por cubrir.

Aún así, los planes de gestión municipal deben reflejar al interior del presupuesto de gastos el mantenimiento de las redes de acueducto y alcantarillado y, en muchos casos la creación del sistema. Pero, los estudios, el diseño y la puesta en marcha son cotosos eso sin hablar de

los problemas de corrupción por los que debe atravesar el dinero para finalmente ser ejecutado en un proyecto.

Ahora bien, Con la realización de este trabajo de grado se busca optimizar 2 cosas, recursos y tiempo durante el proceso de diseño de redes de alcantarillado pluvial:

- Recursos, usando una plataforma donde los cálculos sean exactos y precisos, donde la aplicación de la misma sea práctica, y con ello los costos del calculista se reduzcan empleando una persona con la adecuada instrucción en el manejo del programa para que pueda diseñar la red.
- Tiempo, al no tener que hacer cálculos de forma manual dado que automáticamente el programa sin despreciar decimales lo hace; cálculos como: las iteraciones, los despejes en las formulas, coeficientes de tablas, entre otros cálculos necesarios para el diseño.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar la calidad de los resultados de la hoja de cálculo de alcantarillados "CALALC" diseñada por el profesor Jorge Alberto Valero Fandiño la cual facilita la comprensión de los conceptos relacionados con el diseño de redes de alcantarillado.

2.2 Objetivos Específicos

- Revisar los aspectos técnicos y normativos relacionados con el diseño de redes de alcantarillado pluvial.
- Recopilar información de un proyecto de redes de alcantarillado pluvial aprobado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).
- Cargar en la hoja de cálculo "CALALC" y en un programa de control, el proyecto de alcantarillado pluvial aprobado por la EAAB para comparar el desempeño de la hoja de cálculo "CALALC".
- Identificar deficiencias, problemas o errores de la hoja de cálculo "CALALC" y proponer alternativas de solución.

3. MARCOS DE REFERENCIA

Para el diseño de un alcantarillado se usa una serie de fórmulas y conceptos propios del lenguaje del diseño, a continuación se mencionaran algunos de ellos haciendo un paneo desde lo general (conceptos) a lo específico (fórmulas) respectivamente.

3.1 Generalidades de las redes de alcantarillado

Existen tres tipos de sistemas de alcantarillado que adquieren su denominación por la naturaleza de las aguas que transportan y para lo cual fueron expresamente proyectados

- Sistema separado de aguas residuales
- Sistema separado de aguas pluviales
- Sistema combinado

3.1.1 Sistema separado de aguas residuales

Es aquel que se diseña únicamente para recibir los aportes de agua residuales, tanto domésticas como industriales, con el fin de alejarlas del municipio hasta un sitio adecuado y previamente seleccionado, donde serán tratadas para posteriormente verterlas a una corriente natural, o volver a usarlas en riego de jardines y servicios diversos, en la industria o en la agricultura cuando su calidad lo permite. (Témez, 1978)

3.1.2 Sistema separado de aguas pluviales

Es aquel que se proyecta exclusivamente para captar las aguas lluvia, lo que puede lograrse de dos maneras: la primera, proyectando conductos por todas las calles del municipio que se pretende atender con este servicio y auxiliándose de sus respectivas estructuras de captación, para recibir las aguas lluvias y conducir las hasta un sitio en que no produzcan molestias ni daños al municipio. La segunda alternativa es proyectar solo interceptores para conducir las aguas lluvias previamente capturadas por medio de estructuras de captación, evitando así que se acumulen y tomen fuerza de arrastre, lo que causa molestia y daños a la comunidad. (López Cualla, 2003)

3.1.3 Sistema combinado

Es aquel sistema de alcantarillado que sirve para captar y conducir por la misma red de conductos, tanto las aguas residuales como las aguas de origen pluvial.

6.1.2 Alcantarillado Pluvial

Este trabajo se enfatizará en el cálculo de un alcantarillado pluvial, por ello se presenta a continuación una serie de acotaciones con respecto a este tipo de redes.

"Los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias pueden proyectarse cuando las condiciones propias de drenaje de la localidad requieran una solución a la evacuación de la esorrentía pluvial. No necesariamente toda población o sector requiere un sistema pluvial.

Dependiendo de las condiciones topográficas, tamaño de la población, las características de las vías, la estructura y desarrollo urbano, entre otras, la evacuación de la esorrentía podría lograrse satisfactoriamente a través de las cunetas de las calles. Donde sea necesario, estos sistemas pueden abarcar la totalidad de la población o solamente los sectores con problemas de inundaciones.

Los sistemas de recolección y evacuación de aguas pluviales pueden ser proyectados y construidos para:

- 1. Permitir una rápida evacuación de la esorrentía pluvial de las vías públicas.*
- 2. Evitar la generación de caudales excesivos en las calzadas.*
- 3. Evitar la invasión de aguas pluviales a propiedades públicas y privadas.*
- 4. Evitar la acumulación de aguas en vías de tránsito.*
- 5. Evitar la paralización del tráfico vehicular y peatonal durante un evento fuerte de precipitación.*
- 6. Evitar las conexiones erradas del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.*
- 7. Mitigar efectos nocivos a cuerpos de agua receptores por contaminación de esorrentía pluvial urbana." (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2011)*

3.2 PROTOCOLO DE DISEÑO DE UNA RED DE ALCANTARILLADO

A continuación se describirá el protocolo para el diseño de una red de alcantarillado pluvial:

Primero, para la estimación del caudal de diseño, en este caso, se usó el método racional, el cual calcula el pico de las aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de esorrentía. La ecuación de método racional es:

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

Q = Caudal de diseño (LPS)

C = coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = Intensidad de la tormenta (IDF en mm/h)

A = Área de drenaje (Ha)

El método racional es adecuado para áreas de drenaje pequeñas menores a 700 Ha (Ras numeral D.4.3.2), cuando son relativamente grandes, puede ser más apropiado estimar los caudales mediante otros modelos de lluvia escorrentía que representen mejor los hietogramas de la precipitación e hidrógrafas de respuesta de las ares de drenaje y que eventualmente tengan en cuenta la capacidad de amortiguamiento de las ondas dentro de la red de colectores. En estos casos, es necesario justificar el método de cálculo. (Otero, 2006)

3.2.1 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Las curvas de Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) se construyen por medio puntos representativos de la intensidad media de precipitación para diferentes duraciones, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978). Mediante las curvas IDF es posible estimar la intensidad de tormentas intensas de distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno.

3.2.2 Factor de reducción

El factor de reducción modifica la intensidad en relación con el área de drenaje Tal como se expone en el RAS 2000 Título D Tabla D.D.4

3.2.3 Frecuencia de diseño de tuberías de alcantarillado pluvial

“El periodo de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, etc. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2011) Ver en el RAS 2000 tabla D.4.2

3.2.4 Cálculo de áreas de drenaje

El trazado de la red de drenaje de aguas lluvias debe, en general, seguir las calles de la localidad. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo a diseñar. El área aferente debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración. Las áreas de drenaje deben ser determinadas por la medición directa en planos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural. (Otero, 2006)

$$A_i = A_i' + \sum A_{ag}$$

A_i = Área total para cada tramo (He)

A_i' = Área propia de cada tramo (He)

A_{ag} = Área acumulada aguas arriba (He)

3.2.5 Cálculo de coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación que existe entre la cobertura del suelo y el agua que por su composición deja infiltrar, siendo así que el coeficiente ponderado es la suma de cada área por la constante de infiltración, dividida en el área total del terreno. (Lopez, 2008)

$$\bar{C} = \frac{\sum A_i \times C}{\sum A}$$

A_i = Área total para cada tramo (Ha)

\bar{C} = Coeficiente para cada cobertura (Ha) (Ver en el RAS 2000 tabla D.4.5)

C = coeficiente de escorrentía ponderado (adimensional)

3.2.6 Calculo del tiempo de entrada

Para la determinación del tiempo de entrada se adopta el criterio del Soil Conservation Service (SCS). Descrito al interior de la sección D.4.3.7.1 del RAS 2000 Título D (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2011) Pero, además de se usan las fórmulas de la F.A.A. y Kerby.

SCS:

$$T_i = \frac{L}{60 \times V}$$

Ti = Tiempo de concentración inicial (min)

L = longitud recorrida (m)

V = Velocidad superficial (m/s)

F.A.A.:

$$Ti = \frac{0.707 \times (1.1 - C) \times L^{0.5}}{S^{1/3}}$$

Ti = Tiempo de concentración inicial (min)

C = Coeficiente de escorrentía

S = Pendiente

L = Distancia del recorrido (m)

Kerby:

$$Ti = 1.44 \times \left(\frac{Lm}{S^{0.5}} \right)^{0.467}$$

Ti = Tiempo de concentración inicial (min)

m = Coeficiente de retardo (RAS 2000 tabla D.4.6)

S = Pendiente

Velocidad superficial:

$$V = a S^{1/2}$$

V = Velocidad superficial (m/s)

a = constante de velocidad superficial (adimensional) (RAS 2000 tabla D.4.7)

S = Pendiente del terreno

3.2.7 Tiempo de tránsito en los colectores

El tiempo de recorrido en un colector se puede calcular como

$$Tt = \frac{Lc}{60 \times V}$$

RAS 200 (D.4.8)

Es te tiempo se debe dar en minutos donde:

Lc = longitud del tramo

V = velocidad asumida

3.2.8 Tiempo total de concentración

“tiempo de concentración del área de drenaje aguas arriba del colector. Para los tramos iniciales, corresponde al tiempo de concentración inicial más el tiempo del recorrido del el colector. Para los demás tramos es igual al máximo valor entre la suma de los tiempos de concentración aguas arriba de los colectores concurrentes al pozo y su correspondiente tiempo de recorrido en el colector.” (Lopez, 2008)

$$T_c = T_e + T_t$$

T_c= Tiempo de concentración total (min)

T_e = Tiempo de entrada (min)

T_t = Tiempo de tránsito (min)

3.2.9 Velocidad mínima

“la velocidad mínima requerida en las alcantarillados pluviales se especifica con el objeto de tener una tubería autolimpiante y depende de la norma exigida para el proyecto. La norma del RAS en el numeral B.6.4.4.10 establece una velocidad mínima real de 0.5 m/s para el caudal de diseño. Otras normas, como por ejemplo la de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, especifica 1.0 m/s” (Lopez, 2008)

3.2.10 Velocidad máxima

“Los valores máximos permisibles para la velocidad media en los colectores dependen del material, en función de su sensibilidad a la abrasión. Los valores adoptados deben estar plenamente justificados por el diseñador en términos de la resistencia a la abrasión del material, de las características abrasivas de las aguas lluvias, de la turbulencia del flujo y de los empotramientos de los colectores.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2011). Ver en el RAS 2000 Tabla D.4.8

3.2.11 Diámetro mínimo

“Para la red de tuberías del alcantarillado pluvial convencional, se especifica el diámetro mínimo de 10” (250 mm). Sin embargo, con la debida justificación, es posible reducir el diámetro mínimo a 8” (200 mm) en los tramos iniciales de poblaciones pequeñas. ” (Lopez, 2008)

3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS DE MODELACIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO MÁS UTILIZADOS

Desde finales de los años 40, se ha dirigido considerable atención al desarrollo de modelos de los procesos de drenaje urbano basados en computadores. Estos modelos requieren más o menos una definición completa de los factores hidráulicos que afectan la descarga y son capaces de producir una gran cantidad de información valiosa, siempre y cuando estén bien calibrados. A continuación se expondrán algunos de los emuladores históricamente más usados:

3.3.1 Método del hidrograma de chicago

Una de las primeras técnicas empleadas en computación para el desarrollo y análisis de problemas de drenaje fue en METODO DEL HIDROGRAMA DE CHICAGO. Este, se desarrolla específicamente para el área de Chicago y no se puede usar en otras zonas a menos que se hicieran grandes modificaciones a la plataforma. (Témez, 1978)

3.3.2 EPA SWMM

El modelo de manejo de aguas pluviales o por sus siglas en inglés (Storm Water Management Model) SWMM ha sido desarrollado durante un largo periodo bajo los auspicios de la agencia de protección ambiental (EPA), y, al igual que algunos de los otros modelos analizados aquí, tiene capacidades sustanciales que superan el simple montaje agua-lluvia. (EPA, 2014)

La precipitación se introduce en la forma de hietogramas, los cuales pueden ser variados para diferentes sub-áreas. Las abstracciones se basan en el almacenamiento por detención e infiltración. Cuando la precipitación excede las pérdidas, el flujo sobre el terreno se calcula con la ecuación de Manning. El cálculo requiere especificación de un ancho característico para cada sub-cuenca al igual que rugosidad, pendiente y área. El flujo sobre el terreno es transitado mediante la ecuación de continuidad de la forma de almacenamiento, lo cual implica que la profundidad cambia uniformemente sobre la sub cuenca. ((EPA), 1982)

3.3.3 ILLUDAS

Es un modelo estadounidense que requiere que la cuenca este dividida en sub-áreas tributarias a las entradas del sistema de recolección, cada sub-cuenca esta sub-dividida en áreas pavimentadas conectadas directamente, áreas aportantes con pasto y áreas suplementarias con pasto (M. & J., 1974)

3.3.4 HAYA

“El software Haya (Herramienta para el diseño de acueductos y alcantarillados) es un programa diseñado por módulos independientes, orientados a servir como una herramienta de cálculo que facilite el análisis de los resultados, permitiendo la variación de diversos parámetros y observando de manera rápida los resultados obtenidos con dichas variaciones.” (López Ricardo, 2008, pág. 501).

“El software HAYA no pretende ser un programa de cálculo de redes de alcantarillado, sino una herramienta didáctica para evaluar la unión de colectores en un pozo con un máximo de tres tuberías entrantes a un pozo (ortogonal entre sí) y una tubería saliente.” (López Ricardo, 2008, pág. 512)

3.3.5 CALALC

CALALC es un software diseñado por el Ingeniero Jorge Valero, docente adjunto de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, cuyo propósito es proporcionar a los estudiantes, una herramienta útil y didáctica para que los estos puedan fortalecer y adquirir de destreza en los cálculos de una red de alcantarillado sanitario y pluvial.

Actualmente CALALC cuenta con 9 hojas; 3 para alcantarillado sanitario, 3 hojas para al diseño de alcantarillado pluvial; y tres hojas con información complementaria. A continuación se hará la descripción de las 3 hojas para diseño de alcantarillado pluvial.

Es necesario precisar que para todo el libro solo se deben diligenciar los espacios de color verde.

3.3.5.1 Hoja “Pozos Pluvial”

Esta hoja contiene tres columnas para el diligenciamiento de los datos de campo los cuales son: la identificación del pozo, la cual en principio es arbitraria pero debe mantenerse a lo largo de proceso de cálculo; la cota rasante suministrada por el plano del terreno y el diámetro del pozo. Anexo a esto se encuentra un botón de borrado de todo el libro. Las celdas de identificación de los pozos han de diligenciarse en **orden ascendente**.

Las columnas cota restante y diámetro han de diligenciarse con el número del pozo.

El botón de borrado (BORRAR TODO) sirve para eliminar todos los datos que se encuentran dentro del libro y así poder iniciar un nuevo proyecto.

3.3.5.2 Hoja "caudal Pluvial"

Esta hoja está diseñada con el propósito de dar al usuario un orden consecutivo en el cálculo de los diferentes parámetros del proyecto, en esta hoja encontramos apartados como la identificación de tramos según la dirección del flujo de agua, el diligenciamiento de los coeficientes de escorrentía por cobertura, entre otros, hasta llegar al cálculo del caudal de diseño.

- la descripción de los tramos debe hacerse en orden ascendente; identificando de que pozo se parte hasta cual llega dicho tramo, adicionalmente se debe informar al programa si se trata de un tramo inicial con un "1", o no con un "0", finalmente el programa pide informar sobre la longitud de los tramos, la cual la obtenemos del plano cartográfico.
- En la segunda sección informaremos al programa cual es el coeficiente de escorrentía, que según el título D del RAS son 12 diferentes por cada tipo de cobertura;
- La tercera sección de datos corresponde a las Áreas Propias por Cobertura, en la cual se debe indicar el valor (en hectáreas) de las áreas que cada tramo tiene con diferentes coberturas.
- La cuarta sección corresponde a la identificación de los tramos precedentes; además, en esta sección también se encuentra el botón "CALCULAR" que permite acumular las áreas siguiendo la dirección del flujo.
- La quinta sección concierne a las áreas acumuladas, por otro lado, se encuentra el coeficiente de escorrentía y el factor de reducción de intensidad; en esta sección nada es diligenciable, es solo un espacio para ver los cálculos y permitir la toma de decisiones.
- La sexta sección trata de la duración de la tormenta, a través de 16 columnas, de las cuales solo 8 son diligenciables, el programa mostrará los resultados de las ecuaciones de los tiempos de entrada, dando a escoger al usuario el valor que crea conveniente y posteriormente haciendo chequeos de los datos adoptados por el diseñador
- La séptima sección de esta hoja se enlaza con la hoja de "Flujo Pluvial" para hallar la velocidad para cada colector por medio de procesos de iteración con base en los diámetros y pendientes de los tramos del proyecto
- En la última sección de esta hoja el programa mostrara al usuario el caudal de diseño

3.3.5.3 Hoja "Flujo Pluvial"

La hoja de Flujo Pluvial está compuesta por 172 columnas, en esta se encuentran consignados los cálculos hidráulicos por empate por líneas de energía; esta hoja hará recomendaciones

sobre la construcción de cámaras de caída, profundidad de las cotas, pérdidas de energía, entre otras.

- La primera sección, corresponde a las columnas de identificación de pozos importadas de la hoja "Caudal Pluvial".

"En la segunda sección, Parámetros de diseño, se realizan los correspondientes cálculos de energía tomando como insumo la siguiente información para cada tramo: deflexión, tipo de rasante, longitud, coeficiente de Manning, diámetro interno y pendiente de la tubería (expresada en porcentaje). En esta sección se realizan los siguientes chequeos: Por diámetro, por pendiente, por profundidad hidráulica, por velocidad, por número de Froude y por esfuerzo cortante.

En la tercera y cuarta sección se realizan los cálculos de las pérdidas de energía teniendo en cuenta el régimen de flujo del tramo a diseñar y las consideraciones del RAS. En el caso del flujo subcrítico para estimar las pérdidas por cambio de dirección se hace necesario incluir la deflexión existente entre los tramos precedentes y el tramo de diseño.

En la quinta sección se presentan las cotas bateas superiores del tramo de salida que se obtienen para cada tubería de entrada al pozo. El diseñador debe escoger finalmente la cota batea superior de salida entre las recomendadas.

Finalmente en la última sección se presentan una serie de chequeos por profundidades de las tuberías y cámaras de caída."(Fernandez, 2013)

3.3.5.4 Hojas complementarias "Tablas del RAS general"

Contiene las tablas del nivel de complejidad, dotación por habitante según el nivel de complejidad y una última tabla con los Valores del coeficiente de rugosidad de Manning para colectores y drenajes de aguas residuales domésticas y aguas lluvia.

Esta hoja no tiene ninguna columna o celda para diligenciar, se presenta sólo para consulta y cuenta con un único botón "Retornar" que permite regresar a la hoja "Caudal Pluvial".

3.3.5.5 Hoja complementaria "Tablas RAS Pluvial"

Contiene las 7 tablas citadas en el RAS 2000 Titulo D necesarias para el diseño de un alcantarillado pluvial; las cuales son:

- Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad (RAS 2000 tabla D.4.5)
- Periodos de retorno o grado de protección (RAS 2000 tabla D.4.2)
- Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema (RAS 2000 tabla D.4.3)
- Curvas IDF (RAS 2000 tabla D.4.1)
- Coeficiente de retardo (RAS 2000 tabla D.4.6)
- Constante a de velocidad superficial (RAS 2000 tabla D.4.7)
- Factor de Reducción (RAS 2000 tabla D.4.4)

Esta hoja no tiene ninguna columna o celda para diligenciar, se presenta sólo para consulta y cuenta con un único botón "Retornar" que permite regresar a la hoja "Caudal Pluvial".

3.4 Resultados ofrecidos por el libro de cálculo CALALC en el módulo de alcantarillado pluvial

CALALC, permite al usuario obtener una serie de datos muy diversa en cuanto al diseño de redes de alcantarillado estos son:

- En la Hoja "Caudal Pluvial": CALALC permite estimar el área total acumulada, los coeficientes de escorrentía, los tiempos de entrada y concentración, la velocidad real y el caudal de diseño para cada tramo.
- En la Hoja "Flujo Pluvial": se permite estimar las velocidades en el colector, la necesidad o no de cámaras de caída y las profundidades de las diferentes cotas a usar en el proyecto.

3.4.1 Bondades del libro de cálculo

- CALALC puede calcular los parámetros de diseño para varios tramos paralelamente.
- En la hoja de flujo pluvial observamos que CALALC tiene la capacidad de manejar hasta 6 tramos precedentes por pozo.
- Para no usar las relaciones hidráulicas Q/Q_0 , V/V_0 , D/D_0 y hacer más preciso el cálculo del alcantarillado pluvial, CALALC usa métodos numéricos de empalme por línea de energía, lo cual ofrece una mayor fidelidad de los resultados.
- CALALC hace recomendaciones a cerca de la construcción de cámaras de caída.

4. METODOLOGÍA

A continuación se presentará al lector la metodología adoptada para llegar a concluir los objetivos planteados en la evaluación de CALALC.

4.1 Recopilación de la información

La información usada para el análisis en la comparación de los resultados obtenidos por medio de CALALC, en contraste con un ejemplo real, fue el mismo proyecto usado para la evaluación del módulo de diseño sanitario, llevado a cabo por el Saneador ambiental Jorge Fernández en su proyecto de grado "EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL LIBRO DE CÁLCULO DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL "CALALC""; esto, a fin de dar homogeneidad en el análisis global del libro de cálculo.

4.2 Organización de la información

Con las memorias de cálculo del proyecto SMA -761 de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá se buscó un protocolo de cálculos en donde la red a analizar tenga todos los pozos iniciales bien definidos y una recepción final asignada claramente en los planos, posteriormente los datos se procesan a través de libro de cálculo CALALC en su módulo pluvial para analizar los resultados obtenidos.

4.3 Estudio de las consideraciones necesarias para realizar el diseño de alcantarillado pluvial

Fue necesario volver a calcular cada uno de los ítems que interactúan en el diseño de una red de alcantarillado pluvial, a fin de comprender en profundidad el cómo se relaciona cada variable y cuáles son los datos esperados dada una información primaria o de entrada; la guía, en todo momento, fue el libro "Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados" de Ricardo Alfredo López Cualla, puesto que los resultados de los ejercicios allí propuestos son reproducibles y dan razón del proceso de diseño de una red pluvial.

4.4 Comparación entre los resultados

Se realizaron dos comprobaciones del funcionamiento del libro CALALC. La primera con los datos del libro de López Cualla y la segunda con los datos del proyecto SMA – 761 suministrado por la EAAB.

4.5 Elaboración del informe final

Después del proceso de comparación se analizó la información, para posteriormente presentar este informe a fin de dar razón del cumplimiento de los objetivos anteriormente propuestos.

5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL LIBRO DE CÁLCULO CALALC. MODULO DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.

En este capítulo se relatará explícitamente como se evaluó del libro de a través del ejercicio para alcantarillado pluvial planteado en el libro de López Cualla y el proyecto SMA – 761 de la EAAB.

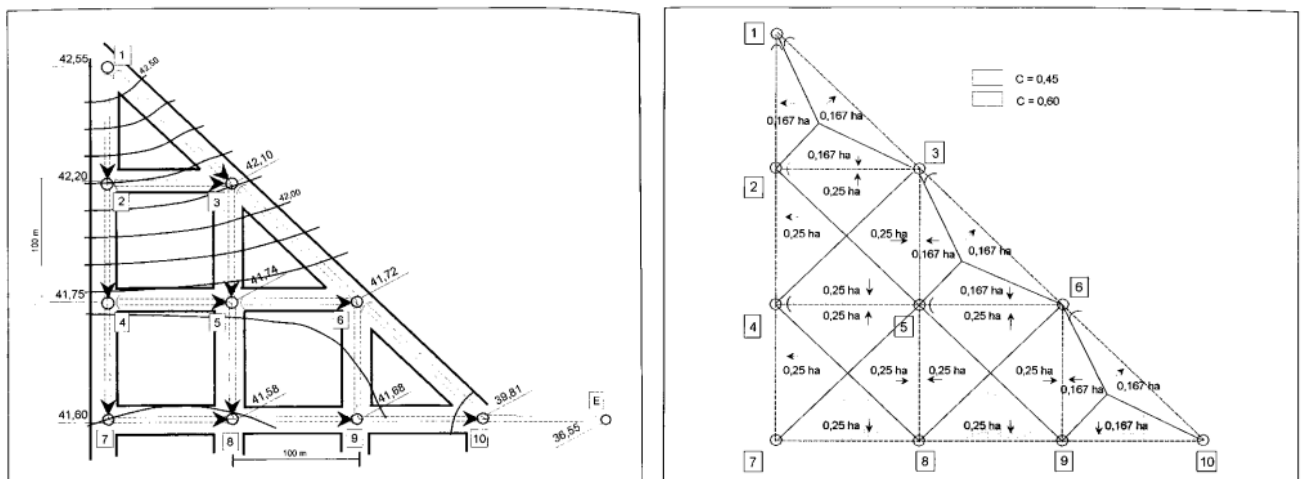
5.1 Modelación de la red de alcantarillado Pluvial presentada en el libro “Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados” utilizando CALALC.

Para comprender totalmente la naturaleza del diseño de un alcantarillado pluvial se inició por emular el ejercicio planteado en el numeral 16.4 del capítulo 16, Alcantarillado pluvial, del libro de López Cualla manualmente, de esta manera se asegura objetividad al momento de analizar los resultados obtenidos a través de CALALC.

5.2 Ejemplo de alcantarillado pluvial en el libro de López Cualla

Se inicia el ejercicio con el plano de una red de alcantarillado pluvial (Figura 1).

Ilustración 1 EJEMPLO DE DISEÑO DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL CONVENCIONAL PRESENTADO EN EL LIBRO DE LÓPEZ CUALLA Figura 16.7.



FUENTE (López Cualla, 2008)

5.2.1 Parámetros de diseño

En la tabla 1 se indica cuáles fueron los datos de entrada para el diseño de la red de alcantarillado pluvial.

Tabla 1 Características de los pozos de la red de alcantarillado pluvial (López Cualla, 2003).

Identificador del pozo	Cota rasante (m.s.n.m)	Diámetro del pozo (m)
1	42,55	1,20
2	42,20	1,20
3	42,10	1,20
4	41,75	1,20
5	41,74	1,20
6	41,72	1,20
7	41,60	1,20
8	41,58	1,20
9	41,68	1,20
10	39,81	1,20
11	36,55	1,20

Tabla 2 Características de los colectores de la red de alcantarillado pluvial

Tramo	Numera ción CALALC	Área de drenaje (ha)	Coefficiente de escorrentía	Longitud (m)	Número Manning	Diámetro (m)	Pendiente (%)
1-2	1	0,167	0,45	100	0,014	0,20	0,77
1-3	2	0,167	0,45	141,4	0,014	0,20	0,62
2-3	3	0,417	0,45	100	0,014	0,30	0,50
3-6	4	0,167	0,45	141,4	0,014	0,20	0,62
4-5	5	0,5	0,45	100	0,014	0,30	0,41
5-6	6	0,417	0,45	100	0,014	0,30	0,50
6-10	7	0,167	0,45	141,4	0,014	0,20	1,15
2-4	8	0,25	0,45	100	0,014	0,30	0,45
4-7	9	0,25	0,45	100	0,014	0,35	0,29
3-5	10	0,417	0,45	100	0,014	0,40	0,31
7-8	11	0,25	0,60	100	0,014	0,40	0,25
5-8	12	0,5	0,45	100	0,014	0,50	0,53
8-9	13	0,25	0,60	100	0,014	0,70	0,22
6-9	14	0,417	0,45	100	0,014	0,35	0,64
9-10	15	0,167	0,60	100	0,014	0,70	1,28
10- Entrega	16	0	0,45	100	0,014	0,70	3,12

5.2.1 Comparación de Resultados

Para la comparación de los datos obtenidos mediante el libro de cálculo; se usaron 2 redes de referencia en primer lugar la red presentada en el libro "Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados" de López Cualla y posteriormente la red presentada en las memorias del proyecto SMA – 761, se utilizó la medida resumen del error REMC (Raíz del Error Medio Cuadrático, por sus siglas en inglés), que es una métrica para calcular cuál es la diferencia resumida entre los valores de referencia (los propuestos por López Cualla y por el SMA – 761) y los valores estimados (en este caso por CALALC). La expresión para el cálculo de REMC es la siguiente:

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum(Oi - Ci)^2}{n}}$$

O_i = I-ésimo valor observado o de referencia.

C_i = I-ésimo valor calculado usando el programa "CALALC".

n = Número de datos comparados.

Tabla 3 TABLA COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS PRESENTADOS POR LÓPEZ CUALLA Y CALALC EN EL DISEÑO DE LA RED DE EJEMPLO DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.

Tramo	Q (LPS)		Profundidad del agua en los colectores. Y (m)		Energía total aguas abajo (m)		Cota Batea Superior para el tramo de salida (m.s.n.m)	
	López Cualla	CALALC	López Cualla	CALALC	López Cualla	CALALC	López Cualla	CALALC
1	19.2	19.31	0.14	0.126	40.955	40.95	41.55	41.55
2	18.6	18.53	0.15	0.132	40.85	40.84	41.55	41.55
3	48.1	48.5	0.22	0.196	40.858	40.85	41.1	41.1
4	18.6	18.53	0.15	0.132	40.4	40.39	41.1	41.1
5	57.7	58.04	0.27	0.241	40.551	40.5	40.65	40.65
6	48.1	48.5	0.22	0.196	40.398	40.39	40.64	40.64
7	18.8	18.96	0.12	0.1	38.571	38.31	40.03	40.3
8	44.7	44.73	0.22	0.193	40.505	40.49	40.705	40.71
9	66.9	66.7	0.3	0.263	40.215	40.2	40.179	40.19
10	102.9	104.05	0.35	0.316	40.525	40.52	40.445	40.46
11	94.3	94.08	0.35	0.319	39.952	39.94	39.816	39.83
12	215.6	216.41	0.39	0.353	39.985	39.94	40.037	40
13	326	325.52	0.53	0.477	39.722	39.67	39.353	39.35
14	104.9	105.63	0.31	0.279	39.744	39.73	40.005	40.01
15	436.3	435.92	0.37	0.36	38.425	38.48	39.114	38.81
16	445.9	445.34	0.29	0.26	35.016	35.17	37.432	37.43
	REMC:	0.49	REMC:	0.03	REMC:	0.08	REMC:	0.10

Cabe acotar que en el libro “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados” de López Cualla, los datos se calcularon con 6 decimales se presentan con 2, mientras CALALC trabaja con todos los decimales.

El REMC de los caudales es de 0,49 LPS lo cual evidencia la cercanía entre los datos calculados por CALALC a los presentados en la tabla resumen del libro “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados” de López Cualla. (Tabla 3)

Con respecto la altura del agua en el colector (Y) CALALC es preciso y consistente con los resultados del libro “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados” de López Cualla arrojando un REMC de 0,03 metros. (Tabla 3)

En la comparación de la energía total aguas abajo el REMC es de 0,08 metros dando cuenta de la exactitud de los cálculos realizado a través de CALALC. (Tabla 3)

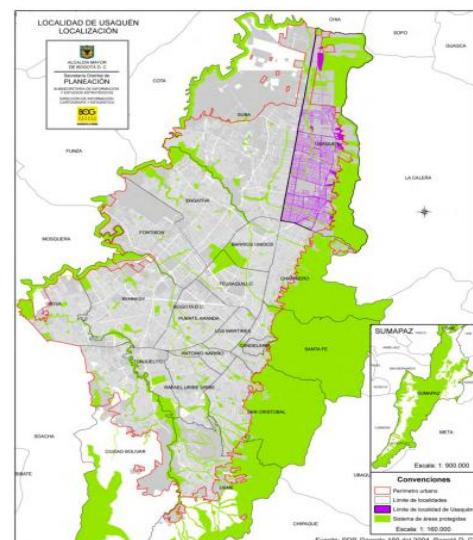
Finalmente, comparando las cotas bateas iniciales de los tramos obtenemos un REMC de 0,10 m.s.n.m. Lo cual es un resultado satisfactorio con el cual podemos constatar la correlación entre los datos presentados por el libro “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados” de López Cualla y los procesados por CALALC.

5.3 Modelación de la red de alcantarillado Pluvial presentada en las memorias de cálculo del proyecto SMA – 761 de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, utilizando CALALC.

El proyecto SMA – 761 se llevó a cabo en la localidad primera de Bogotá, Usaquén, esta localidad tiene una extensión total de 6.532 hectáreas (ha), de las cuales 3.807 se clasifican en suelo urbano y 2.724 se clasifican como áreas protegidas en suelo rural (Secretaría Distrital de Gobierno, 2014)

Ilustración 2 LOCALIDAD 1º USAQUÉN

Fuente: Secretaría Distrital de Planeación, 2009



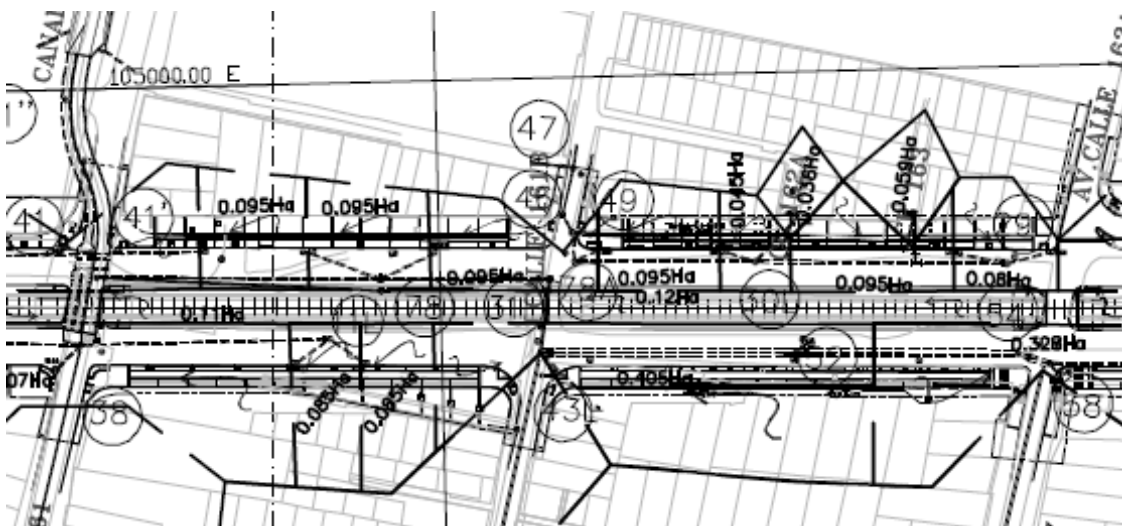
5.3.1 Parámetros de diseño para la red de alcantarillado pluvial SMA – 761

Tabla 4 Características de los pozos de la red de alcantarillado pluvial (SMA – 761)

Identificador del pozo	Cota rasante (m.s.n.m)	Diámetro del pozo (m)
71	2557,29	1,2
68	2557,06	1,2
65	2557,14	1,2
63	2557,07	1,2
58	2557,05	1,8
54	2557,01	1,8
52	2557,01	1,8
43	2556,67	1,8
77	2556,42	1,8
78	2557,18	1,8
41	2556,27	1,2

Estos parámetros fueron extraídos de las memorias de cálculo del proyecto SMA – 761 que se encuentra anexo como "DISEÑO_PLUVIAL_AV_9.xls" adicionalmente se encuentran los datos usados para la comparación de los resultados obtenidos a través de CALACL.

Ilustración 3 Parte del proyecto SMA-761 hecho por el acueducto de Bogotá en la localidad Usaqué



Fuente (Plano 1 EAAB)

5.3.2 Comparación de resultados

Para la comparación se tomaron como datos iniciales los presentados en las memorias de cálculo por contratista del proyecto SMA – 761.

Tabla 5 COMPARACION ENTRE LOS DATOS DE LAS MEMORIAS DE CÁLCULO DEL PROYECTO SMA-761 Y CALACL

Tramo	Q (LPS)		Profundidad del agua en los colectores. Y (m)		Energía total aguas abajo (m)		Cota Batea Superior para el tramo de salida (m.s.n.m)	
	SMA-EAAB	CALALC	SMA-EAAB	CALALC	SMA-EAAB	CALALC	SMA-EAAB	CALALC
1	81,85	81,97	0,27	0,25	0,33	0,32	2557,54	2557,29
2	176,84	177,56	0,38	0,41	0,45	0,42	2557,14	2557,06
3	234,06	234,15	0,43	0,38	0,49	0,46	2557,24	2557,14
4	294,13	294,86	0,48	0,45	0,56	0,54	2557,19	2557,07
5	2558,97	2559,97	0,73	0,70	1,29	1,31	2557,05	2557,05
6	2569,02	2569,23	0,73	0,71	1,27	1,21	2557,14	2557,01
7	2582,26	2583,04	0,77	0,80	1,31	1,33	2557,15	2557,01
8	4449,53	4449,34	0,85	0,77	2,46	2,55	2556,68	2556,67
9	4461,10	4461,01	1,21	1,11	3,72	3,79	2556,42	2556,42
10	4466,41	4466,22	1,27	1,21	1,64	1,62	2557,18	2557,18
	REMC:	0,42	REMC:	0,04	REMC:	0,04	REMC:	0,09

FUENTE (AUTOR)

Con respecto a los Caudales de diseño obtenemos un REMC de 0,42 L/S, cabe acotar, que los caudales en comparación son muy grandes dejando así un resultado bastante satisfactorio. (Tabla 5)

La profundidad de agua en la tubería dio un REMC de 0,04 m de desfase lo cual quiere decir que las estimaciones hechas por el programa CALALC son bastante semejantes a la del proyecto SMA – 761. (Tabla 5)

En la comparación de energía total aguas abajo el REMC es de 0,04 m lo cual evidencia la precisión de los cálculos obtenidos a través de CALALC. (Tabla 5)

Finalmente con la cota batea inicial cerramos con un REMC de 0,09 m mostrando la exactitud que los protocolos de cálculo de CALACL arrojan como resultados. (Tabla 5)

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Dado que CALALC es una interfaz donde los usuarios deben diligenciar los datos primarios, estos se deben cargar en la hoja de cálculo de forma adecuada, siguiendo las instrucciones del manual del mismo para llegar a obtener valores aceptables. (Fandiño, 2014)
- CALALC funciona usando como referencia los parámetros descritos en el Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico (RAS 2000), sin embargo, algunas entidades como la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá tienen sus propios parámetros para el diseño, en dicho caso, como el programa usa los datos del RAS 2000 solo como referencia, estos se pueden cambiar y usar los de la entidad en cuestión.
- Para todos los tramos iniciales en el ejercicio de López Cualla el tiempo de entrada a cada colector es igual a 13.27 minutos, dato que no se informa en el libro, este resultado es obtenido de la suma de los recorridos superficiales, calculados a través de fórmula de la **SCS**.
- La calidad de los cálculos de CALALC analizados a través del REMC da cuenta de precisión y exactitud de los mismos, además al ser un libro intuitivo que deja al usuario una sensación satisfactoria al final de la sesión.
- CALALC permite a los usuarios hacer simulaciones reales de una red de alcantarillado pluvial traspasando las fronteras de una herramienta meramente pedagógica; además, los cálculos obtenidos son de fácil interpretación y de gran valor para la toma de decisiones.

6.2 Recomendaciones

- **CALALC** necesita instrucción de uso dado que si se programan datos erróneos el programa calculará normalmente pero los resultados finales serán igualmente erróneos
- Sería agradable mejorar la interfaz gráfica del programa y pasarlo de la plataforma de Excel a una plataforma aplicativa que permita visualizar los modelos de la red diseñada.

7. REFERENCIAS

- (EPA), P. A. (1982). *Stormwater Management Model Users Manual*. Cincinnati.
- Bentley. (10 de 04 de 2014). *www.bentley.com*. Obtenido de *www.bentley.com: www.bentley.com/sewerGEMS*
- CHADWICK, E. (1842). *Report on the sanitary condition of the labouring population of Gread Britain*. Londres: COLECCIÓN DE TEXTOS HISTÓRICOS.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (27 de 02 de 2014). *Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá*. Obtenido de Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá:
http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portal!/ut/p/c5/hY09D4IwGIR_0nsUWmCsii0GqKZBgYUwGGwi4GD8_UJcXJS78bkPamj22L1c3z3dNHZ3qqgRbeTZ3IaawYRsh1QmSST84LCRYua1aLdK6iDMAMPOACu4PaG0PIJ_pX1Z_r4Siu9jpIbHmcmVB_AP_7e_cPyQBBV6Gq5UrqzUMVWCHkMFd7z1b4l1vLc!/dl3/d3/L0ID
- Environmental Protection Agency (EPA). (2005). *SWMM Modelo de Gestión de Aguas Pluviales*. Estados Unidos: Environmental Protection Agency (EPA).
- EPA. (12 de 08 de 2014). *EPA*. Obtenido de EPA:
<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/swmm.html>
- Fandiño, J. A. (2014). *Guía de diseño de redes de alcantarillado mediante el programa "CALALC"*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Fernandez, J. (2013). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL LIBRO DE CÁLCULO DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL "CALALC"*. Bogotá D. C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas .
- Lopez, R. (2008). Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. En R. Lopez, *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados* (págs. 430-453). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- M., L. T., & J., B. S. (1974). *The rIllios Urban Drenaje Simulation - ILLUDAS*. Water Survey : Urbana.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2011). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO TÍTULO D*. Bogotá.
- Otero, I. G. (2006). *Diseño de sistemas de acueducto y alcantarillado basados en la norma técnica Colombiana RAS 200*. Cali: Sello Editorial Javeriano.
- Secretaría Distrital de Gobierno. (23 de 08 de 2014). *Bogotá Humana*. Obtenido de Bogotá Humana:
<http://www.usaquen.gov.co/index.php/mi-localidad/conociendo-mi-localidad/historia>
- Témez, J. (1978). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid: Dirección General de Carreteras.

8. ANEXOS

1. Plano 1.*
2. Plano 2.*
5. Memorias del contratista DISEÑO_PLUVIAL_AV_9 *