

QVALC: Plugin QGIS para Validar Redes de Drenaje de Alcantarillado

AUTORES:

Andrés Felipe Díaz Sánchez.
Diego Alexander Muñoz R.

Proyecto para optar por el título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

DIRECTOR

Salomón Einstein Ramírez Fernández

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

Tabla de Contenido

1	Introducción	5
2	Problema	7
3	Justificación	9
4	Alcance	11
5	Objetivos	12
5.1	Objetivo General	12
5.2	Objetivos Específicos	12
6	Estado del Arte	13
6.1	Antecedentes	13
6.2	Marco Teórico	16
7	Metodología	18
8	Resultados	20
8.1	Requerimientos Funcionales	20
8.2	Requerimientos No Funcionales	22
8.3	Diseño Arquitectónico	23
8.3.1	Diagrama de Clases:	23
8.3.2	Diagrama de Secuencias:	24
8.3.3	Diagrama de Componentes	25
8.4	Implementación	26
8.5	Pruebas de Funcionalidad	28
	Conclusiones	33

Índice de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Metodología Scrum.	18
<i>Figura 2.</i> Diagrama casos de uso	22
<i>Figura 3.</i> Diagrama de clases.	23
<i>Figura 4.</i> Diagrama de secuencia CU01.	24
<i>Figura 5.</i> Diagrama de secuencia CU02.	25
<i>Figura 6.</i> Diagrama de componentes.	26
<i>Figura 7.</i> Interfaz QVALC.	27
<i>Figura 8.</i> Resultados verificación acueducto-alcantarillado.	29
<i>Figura 9.</i> Resultados verificación acueducto-alcantarillado.	29
<i>Figura 10.</i> Interfaz verificación distancia alcantarillado-vías.	30
<i>Figura 11.</i> Resultado verificación distancia alcantarillado-vías.	30
<i>Figura 12.</i> Resultado verificación distancia alcantarillado-vías.	31
<i>Figura 13.</i> Prueba verificación distancia alcantarillado vs cuerpos de agua.	31
<i>Figura 14.</i> Resultado verificación distancia alcantarillado vs cuerpos de agua.	32

1 Introducción

Las redes de alcantarillado durante siglos se han constituido en un servicio vital para la humanidad permitiendo el manejo hidrosanitario de las aguas residuales producto de sus actividades diarias los cuales son conducidos por gravedad hasta los cuerpos hídricos, la vida útil de los sistemas presenta distintas variables. Actualmente en Colombia se viene dando gran inversión en el mantenimiento, rehabilitación, ampliación y e instalación de nuevos sectores, permitiendo mejorar la planificación y funcionalidad de las redes.

En los sistemas de alcantarillado Las aguas residuales domesticas corresponden a las aguas servidas producto de las actividades diarias generadas en las viviendas, industrias y demás sitios donde los seres humanos desarrollan su diario vivir, estas actividades producen las llamadas aguas residuales, ya sea a la hora de ir al baño, cocinar, lavar ropa, lavar los vehículos entre otros que en su proceso de manejo son conducidos por las redes de alcantarillado para ser tratadas en los sistemas de tratamiento con el propósito de ser dirigidos a los cuerpos de agua y así continuar con el ciclo de vida.

El diseño de redes de alcantarillado corresponden a modelos de simulación que garanticen las condiciones ideales para el manejo adecuado de estos sistemas, los diseños creados por los especialistas en las áreas sanitarias e hidráulica desarrollan las actividades a partir de condiciones físicas donde se pretenda realizar este tipo de labores, las cuales tienen como objetivo principal la generación de sistemas a partir de flujo por gravedad garantizando las pendientes necesarias en todo el sistema para que no exista obstrucción en algún punto de la red, existen otros factores que condicionan el buen funcionamiento de las redes de alcantarillado como son la capacidad velocidad entre otros los cuales no serán tenidos en cuenta en el

desarrollo de este documento en vista que se realizara un prototipo para la evaluación de las redes.

Entre los aspectos topológicos es labor de los diseñadores presentar propuestas que tengan en cuenta las redes existentes, es decir aquellos sistemas existentes que brindan otro tipo de servicio a los seres vivos como lo son las conexiones a redes de gas, servicios de acueducto, redes telefónicas entre otro, lo cual permite garantizar la correcta planificación de los sistemas y brindar a las personas que toman las decisiones conocer la estructura de las instalaciones existentes, lo cual es fundamental para el desarrollo organizado de determinado sitio en el cual existan lo diferentes servicios que hoy se presentan en cualquier lugar del mundo.

Con la implementación de este complemento a partir de la evaluación de criterios físicos y topológicos se busca brindar una herramienta de fácil uso para los planificadores y personal encargado tomar las decisiones para velar por las necesidades básicas de los seres humanos a partir de una herramienta que permita conocer las condiciones de los diseños presentados evaluados con criterios técnicos de las normas estipulados en el RAS 2000, vigente para el territorio nacional.

El desarrollo se realiza basado funciones de geoprocésamiento mediante scripts de Python usando librerías del API de QGIS y de terceros compatibles con Python, en el cual se tuvo en cuenta las condicionales técnicas normativas para el diseño de sistemas de alcantarillado y redes de drenaje.

2 Problema

Los sistemas de alcantarillado corresponden a una infraestructura que permite coleccionar y transportar las aguas residuales producto de las actividades diarias a los afluentes (fuentes hídricas) que se encuentran cerca de las ciudades, municipios, corregimientos entre otros. Actualmente debido al crecimiento poblacional y déficit de la infraestructura existente en estos sistemas se requiere de planeación para optimizar y mejorar el servicio que prestan las entidades públicas como lo establecen las políticas nacionales contempladas en el Plan de Nacional de Desarrollo 2014 -2018 “Todos unidos por un país paz equidad educación”. A través de las metas correspondiente acceso y solución de los sistemas de alcantarillado.

Razón por la cual las entidades gubernamentales con el apoyo técnico de asesoría por parte de las empresas de consultoría privadas realizan los estudios de optimización, y diseño de las redes de alcantarillado; un trabajo vital para garantizar los estudios presentados por las consultorías consiste validar los diseños siendo esta una labor dispendiosa ya que se requieren conocer y aplicar muchas reglas técnicas por cada tramo y elemento de la red para que sea funcional. En Colombia las recomendaciones técnicas están dadas mediante el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000; los criterios principales que evalúa la norma corresponden a las velocidades que existen entre tramos, pendientes, longitud profundidad de los pozos, áreas de descarga y ubicación de las fuente o ríos que reciben toda el agua residual que se transporta en las redes, criterios constructivos entre otros.

Algunos de los aspectos que toman gran cantidad de tiempo en su evaluación son las distancias entre elementos de la red como tuberías, pozos, sumideros, cajas de inspección, su ubicación ideal respecto a otras redes de servicios públicos, validación del flujo en cada tramo de acuerdo al material y geometría de los elementos de la red y la pendiente.

Al realizar una contratación para la elaboración de este tipo de estudios se corre el riesgo de obtener diseños que no garantizan o cumplen con las recomendaciones técnicas del RAS, llevando a que la entidad pública o privada que contrata la elaboración de estos estudios pierda tiempo, dinero o al momento de realizar la construcción de dichos diseños sea necesario replantear lo que se propuso inicialmente y afecte a los habitantes generando un conflicto social y sanitario debido a la deficiencia en la prestación del servicio.

Una manera sencilla y útil para brindar apoyo técnico de validación con respecto a RAS 2000 es implementar una herramienta de software que muestre los resultados de la evaluación realizada al diseño presentado por el asesor, permitiendo identificar aquellas zonas que requieren alguna revisión, de esta forma el tomador de decisión de la entidad tendrá la oportunidad de verificar los aspectos necesarios para mejorar el diseño o solicitar justificación de los trabajos presentados. Esta herramienta puede extender la funcionalidad del diseño de redes de alcantarillado a partir de software de escritorio que integren los sistemas de información geográfica, permitiendo obtener una evaluación de los sectores donde se presentan deficiencias, esta herramienta también puede ser útil para los operadores de estos sistemas como los son las empresas prestadoras del servicio ya que tendrán una visualización espacial del estado del sistema de alcantarillado.

3 Justificación

Una condición para obtener mayor calidad básica de salubridad en una población, se encuentra mejorando la calidad de los cuerpos hídricos mediante el manejo adecuado de las aguas residuales y el tratamiento de estas.

En el informe sectorial los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado (2015), se menciona la importancia de la incorporación de recursos de inversión en infraestructura de captación, transporte y tratamiento de aguas residuales; las de redes de alcantarillado, estas inversiones van destinadas a mejorar a la cobertura existente, ampliación de redes o adecuación de la infraestructura para mitigar el riesgo de daño frente a eventos no previstos, como los debidos a emergencias a causadas por fenómenos naturales.

Se identifica la necesidad de establecer las mejoras a la cobertura existente, ampliación de redes o adecuación de la infraestructura en el caso que se presente algún evento no previsto, debido a alguna emergencia a causa de un fenómeno natural que pueda afectar los sistemas de recolección y transporte de aguas residuales.

Un proceso ampliación o de mejoras a las redes existentes de alcantarillado se ejecuta eficientemente cuando los especialistas y tomadores de decisión tienen certeza que los diseños de las redes cumplen con criterios técnicos normativos. Cuando el proceso de validación de los diseños de las redes se asiste mediante una herramienta que automáticamente evalúa los criterios principales de la red, como son los aspectos hidráulicos y topológicos con respecto a otras redes de servicios públicos, se consigue disminuir el error debido al cálculo manual, o demás aspectos humanos, si se presenta alguna carencia, ilustra espacialmente donde ocurre el evento y proporciona un resumen que corresponde a las carencias encontradas durante la validación.

Es decir que una vez se cuenta con la información base el usuario, identifica por medio de una herramienta de validación las zonas que presentan algún aspecto que se considera inconsistente, permitiendo tener criterios para solicitar aclaraciones o modificaciones a los trabajos presentados de forma rápida.

Así se garantiza que los estudios cuentan con un mayor grado de validez, tienen menores inconsistencias, y que es posible solucionar de manera oportuna problemas y no sobre la marcha en el caso de su implementación inmediata correspondiente a una fase constructiva. Los encargados de administrar, mantener y prestar el servicio en vista de la utilidad de esta herramienta pueden hacer uso constante, para revisar temas concernientes a la evaluación de las redes existentes, sin preocuparse por la complejidad de evaluar muchos cálculos tediosos permitiendo probar escenarios de diseño para tomar decisiones al momento de considerar cambios mejoras de infraestructura.

Los beneficios al utilizar herramientas para la planificación y toma de decisiones, influyen directamente a la población ya que estas actividades están enfocadas en mejorar los aspectos que afectan la calidad de vida y apoyan las actividades realizadas donde se evidencia la gestión realizada en pro del desarrollo y crecimiento de las localidades.

4 Alcance

La herramienta fue diseñada para uso en Colombia, ya que fue parametrizada para evaluar criterios puntuales de la normatividad local RAS 2000 en Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domesticas; por lo tanto, los resultados de las validaciones de los parámetros técnicos constructivos de redes de alcantarillado realizadas con la herramienta aplican en el territorio nacional o en países que compartan los mismos criterios de diseño y aspecto complementarios evaluados en el documento para los sistemas de drenaje.

Se implementó la validación de tres aspectos topológicos de una red de alcantarillado: con respecto a redes de acueducto, tramos viales y redes hidrológicas; y para la validación hidráulica, un aspecto, la pendiente para cada tramo de la red de alcantarillado.

Los criterios de validación implementados corresponden a una parte importante pero no completa para poder definir la total viabilidad de una red de alcantarillado de acuerdo a parámetros técnicos constructivos de RAS 2000, por lo tanto, este desarrollo es un prototipo de software vertical en donde son plenamente funcionales los aspectos implementados, pero se deben implementar más validaciones sobre criterios constructivos para completar una evaluación de viabilidad mayor.

5 Objetivos

5.1 Objetivo General

Implementar un complemento para un software que permita el uso y desarrollo de información geográfica, el cual sea funcional en cualquier ordenador en el que permita evaluar aspectos físicos y topológicos del diseño de una red de alcantarillado, a partir de los criterios establecidos en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000.

5.2 Objetivos Específicos

1. Identificar los requerimientos funcionales y no funcionales a implementar en la herramienta, estableciendo las prioridades de desarrollo de las funcionalidades encontradas.
2. Definir una arquitectura que permita implementar la funcionalidad requerida.
3. Implementar el sistema conforme a los requerimientos establecidos en un programa ejecutable.
4. Evaluar la funcionalidad realizando pruebas de aceptación de usuario.

6 Estado del Arte

6.1 Antecedentes

La validación de parámetros de diseño de redes de alcantarillado brinda confiabilidad a los usuarios que interactúan con la simulación de las redes sanitarias, los modelos de diseño actualmente vienen evolucionando en su fundamento con el propósito de ampliar los aspectos que permiten una modelación más aproximada a la realidad, contemplando el aporte las diferentes áreas de conocimiento como lo son las plataformas de Sistema de información Geográfica que han venido tomando gran empoderamiento para las actividades que corresponden a la toma de decisión.

El software libre QGIS en su repositorio de Plugin se encuentra un complemento creado en relación al tema referente de alcantarillado y redes de drenaje con funcionalidades particulares, QEsg (Plugin de diseño de redes de alcantarillado para sistemas de información geográfica) Es un complemento diseñado para el software QGIS con el fin de apoyar en temas relacionados con el diseño de redes de saneamiento. El plugin utiliza las instalaciones y los recursos inherentes a un SIG (Sistema de Información Geográfica) para apoyar la organización, desarrollo, diseño y presentación final del proyecto de una red de alcantarillado, permite al usuario tener interacción gráfica con las redes cargadas, editar modificar y ajustar los elementos de la red, cargar caudales y elaborar pendientes de los tramos presentes, este complemento fue creado por Jorge Almiro el 21 de enero de 2016 en Brasil, inicialmente como un proceso experimental. Actualmente se encuentra en la versión 1.4.5 y brinda a los usuarios interacción de las características y componentes de las redes de alcantarillado que se cargan en la plataforma («QGIS Python Plugins Repository», s. f.).

Otros softwares libres que implementa el desarrollo de análisis y diseño de las redes de alcantarillado y sistemas de drenaje urbano y pluvial que tienen gran aplicación son, **Storm Water Management Model (SWMM)** fue el primer programa de simulación de redes de alcantarillado, desarrollado entre 1969 y 1971 creado como modelo de gestión del agua y simulación de la calidad del agua y escorrentía de aguas pluviales («US EPA», s. f.). Su potente motor de cálculo y su gratuidad lo han convertido en el modelo más utilizado en todo el mundo para simular los procesos hidrológicos, hidráulicos y de calidad de aguas en el medio urbano. Actualmente se viene desarrollando herramientas que permitan comunicación con SIG mediante programas de intercambio de datos como lo son PCSWMM utilizado como complemento de apoyo para el diseño sistemas y modelado del agua siendo esta una herramienta de uso privado como las extensiones desarrolladas por la EPA (Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos) que se mencionan a continuación; XP-SWMM, SWMMDUET, MIKE SWMM (Lera, 2006) cada uno utilizado en un área específica del análisis hidrológico, adicionalmente se encuentra **GISWATER** el cual es un driver que conecta diferentes herramientas de análisis hidráulico de agua y bases de datos espaciales a través de las que se tiene acceso desde cualquier sistema de información geográfica (GIS). Es compatible con todos los elementos que componen un sistema de gestión de redes de abastecimiento o saneamiento, como EPANET software especializado para el análisis y distribución de agua potable, EPA SWMM software que permite realizar modelación y diseño de redes de drenaje urbano y temas relacionados con eventos de precipitación, GIS, WMS o SCADA y, por lo tanto, puede incorporarse al ecosistema informático de cualquier entidad o compañía dedicada a la gestión del agua y multiplicar sus prestaciones(Moyano, s. f.).

Respecto a herramientas desarrolladas en software comercial se cuenta con variedad de aplicativos que permiten diseñar y validar parámetros hidráulicos base que se contemplan a nivel mundial, entre el software implementado más utilizado se encuentran, **BENTLEY SEWERGEMS** es la primera y única plataforma multi-plataforma totalmente dinámica (GIS, CAD Y Stand-Alone) permite la solución de modelado de alcantarillado sanitario y combinado, permite analizar todas las medidas sanitarias los elementos del sistema de alcantarillado combinado en un solo paquete y tienen la opción de realizar los análisis con el algoritmo SWMM. Este software proporciona tres entornos en los que trabajar: Bentley SewerGEMS Modo v8 Modeler, AutoCAD Integrated Modey el modo integrado de ArcMap (Murugesh, Krishna, & Manoj, 2015).

Existen otras herramientas tecnológicas que brindan apoyo en relación a los diseños de redes sanitarias. El principal aspecto para el desarrollo de la herramienta en QGIS consiste en la implementación de conceptos hidráulicos y topológicos de la normativa RAS para la evaluación de los diseños presentados que permitan dar confiabilidad al usuario que procesa la información existente.

6.2 Marco Teórico

Las redes de alcantarillado corresponden a sistemas de recolección de drenaje urbano de gran infraestructura que permite el manejo y saneamiento básico de las aguas residuales, para el desarrollo del núcleo poblacional en determinada área. El diseño de los sistemas de recolección y conducción corresponde a una tarea de especialistas en el área hidráulica, quienes garantizan el funcionamiento y condiciones de las redes a través de diferentes parámetros (Colombia Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2012).

La implementación de herramientas que permitan evaluar los parámetros de diseño brinda grandes aportes para la concepción del funcionamiento de estos sistemas de recolección. Existen diferentes tipos de metodologías de implementación para los diseños con el fin de garantizar la seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad técnica, eficiencia de operación, sostenibilidad de los sistemas (EPM, 2009).

La metodología de diseño de las redes de acueducto corresponde a una estructura determina que permite a los diseñadores planificar la funcionalidad del sistema a partir de aspectos hidráulicos, físicos, para el diseño de las redes de alcantarillado. El RAS 2000 presenta la guía de buenas prácticas de ingeniería que permite realizar o evaluar las condiciones de las redes de drenaje y demás estructuras que componen el sistema como se presentan en el numeral 3.3 Parámetros de Diseño, donde establecen las recomendación y parámetros como las condiciones de pendiente en los tramos de tubería el cual no debe corresponder a un valor negativo, profundidades de instalación de tuberías según el tipo de vía, capacidad de tubería entre otros (Colombia Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2012).

Además de los aspectos técnicos que contribuyen a los diseños de las redes de alcantarillado, se presentan otros aspectos que se deben tener en cuenta al momento de planificar la construcción de las redes de alcantarillado esto a razón de los componentes que se encuentran en el medio físico, como lo son otras redes existentes, condiciones de terreno, tipos de vías, drenajes, zonas de riesgo o amenaza que puedan vulnerar los sistemas existentes como se presenta en el numeral 2.7 Aspectos Complementarios del Título D del RAS para los Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domesticas y Aguas Lluvias donde presentan los criterios como distancia mínima entre otras redes 1.5 m, distancia mínima entre cuerpos de agua según consideraciones que se establezcan en plan de ordenamiento territorial, distancia mínima horizontal a paramentos distancia mayor a 0.5 m de la acera, distancia máxima entre las estructuras de conexión entre 100 y 200 metros. Consideraciones importantes que representan un correcta planificación y diseño de los sistemas de alcantarillado(Colombia Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2012).

El desarrollo e implementación de herramientas de apoyo de Sistemas de Información Geográfica - SIG, permiten un enfoque de gran importancia para los diseños drenajes esta aplicación está ampliando las vías de investigación para desarrollar posibles aplicaciones de esta herramienta dentro del campo de la hidrología urbana. En un futuro, los SIG se utilizarán para la como soporte a las herramientas de dimensionamiento de la red o como soporte para el mantenimiento de las mismas (Lera, 2006).

7 Metodología

El desarrollo de la herramienta se basó en un proceso incremental de desarrollo de software usando la metodología Scrum, como se muestra en la *Figura 1*, en la cual los requerimientos son implementados en entregas progresivas con la funcionalidad requerida, donde el software es entregado en cortos incrementos rápidos, de 2 a 4 semanas por incremento. La razón principal para escoger esta metodología es que se tuvo un plazo de entrega de 2 meses.

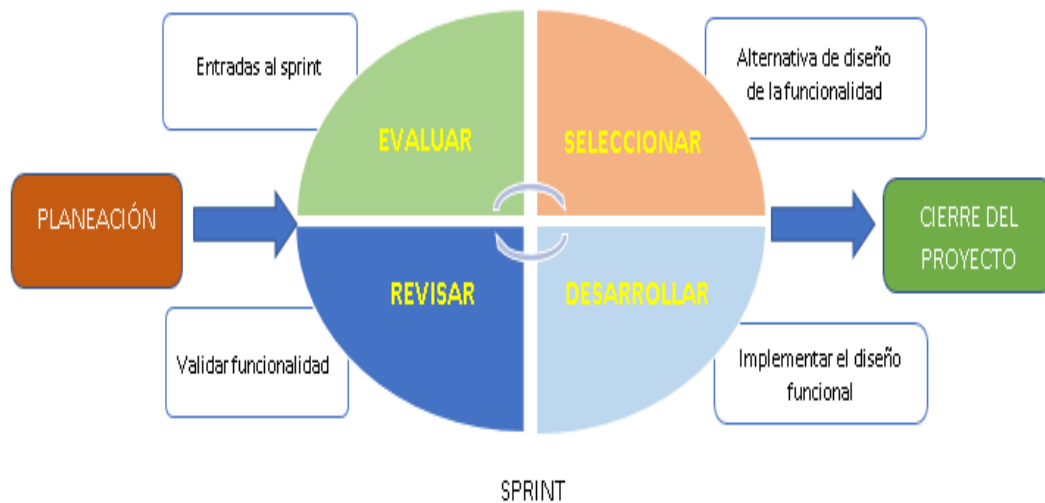


Figura 1. Metodología Scrum.

Fuente: Elaboración propia.

Plan de trabajo inicial: se describieron los primeros objetivos claros del proyecto en un primer análisis de requerimientos donde se establecieron unas prioridades para desarrollo de cada objetivo y se puso en manifiesto las variables que afectan el desarrollo del proyecto, en este caso el tiempo aprendizaje de sistemas de desarrollo de software que empleen funciones de procesamiento espacial y tiempo de desarrollo de la herramienta.

Como parámetros de entrada del primer Sprint con duración de una semana se hizo una primera fase levantamiento de requerimientos y una primera evaluación de la complejidad del diseño arquitectónico que implica el desarrollo de la funcionalidad de los requerimientos identificados, de acuerdo al tiempo de entrega y de aprendizaje; luego se seleccionó una primera funcionalidad identificada como primordial: Verificación topológica de la red de alcantarillado, esta se dividió en tres (3) Sprint cada uno con una duración de una semana para diseñar, desarrollar y validar en el siguiente orden de prioridad:

1. Verificación interferencia tramo acueducto con tramo alcantarillado
2. Verificación distancias tramo alcantarillado a drenajes
3. Verificación distancias tramo alcantarillado a tramo vial

Para el siguiente sprint con duración de 1 semana se validó y corrigió la funcionalidad aplicada hasta el momento de tal manera que estuviera conforme al objetivo; en seguida se hizo la evaluación de los requerimientos para la implementación del siguiente requerimiento: Evaluación física del sistema la cual se desarrolló como un sprint en dos (2) semanas. Luego se cerró el proyecto integrando finalmente todas las funcionalidades y documentando el software.

8 Resultados

El resultado final producto de la última iteración sprint realizada de la metodología Scrum para cada funcionalidad identificada lo compone: la definición final de los requerimientos funcionales y no funcionales, la selección de un diseño arquitectónico final, el cual describe por medio de diagramas la arquitectura del software, la implementación desarrollada de cada funcionalidad en el orden establecido de acuerdo al diseño arquitectónico seleccionado y la revisión del cumplimiento de la respectiva funcionalidad implementada de acuerdo con los requerimientos identificados.

8.1 Requerimientos Funcionales

El usuario puede ejecutar una o varias funcionalidades de validación a una red de alcantarillado, para ejecutar cada funcionalidad de interés debe seleccionar los datos necesarios para su ejecución los cuales son capas vectoriales de tipo Shapefile previamente cargadas en el aplicativo SIG, se deben seleccionar atributos de las capas si son necesarios según la funcionalidad. Las funcionalidades de validación para redes de alcantarillado identificadas son:

Verificación interferencia tramo acueducto con tramo alcantarillado, en esta funcionalidad el usuario selecciona la capa de alcantarillado, acueducto y los atributos correspondientes a al diámetro del tramo de la tubería de alcantarillado, las cotas bateas iniciales y finales de cada una de las capas de los tramos del acueducto y alcantarillado; el sistema realiza una operación espacial de intersección de los tramos de alcantarillado con el área de seguridad horizontal de los tramos del acueducto, en seguida si se intercepta se comprueba la interferencia o intersección vertical para cada tramo de acueducto y alcantarillado, una vez se comprueba que existe interferencia o no se procede a registrar la calificación por medio de atributos en una tabla,

los cuales califican su validez: valido o no valido, la razón de la calificación y el número de identificación del tramo de acueducto con el que se intercepto.

Verificación distancias tramo alcantarillado a tramos viales, en esta funcionalidad el usuario selecciona la capa de alcantarillado y la capa de vías; el sistema realiza operaciones espaciales de contención, áreas de influencia, intersección para establecer si la distancia de un tramo de acueducto está a una distancia segura de las aceras de una vía, una vez identifica los tramos de acueducto que están a la distancia segura, califica cada tramo como válido si está dentro de la zona segura o invalido sino, esta calificación se guarda como un atributo nuevo en la capa de alcantarillado junto con otro atributo que explica la razón de la calificación.

Verificación distancias tramo alcantarillado a cuerpos de agua superficiales, en esta funcionalidad el usuario selecciona la capa de cuerpos de agua superficiales y de alcantarillado, opcionalmente ingresa un valor numérico de la distancia establecida en el Plan de Ordenamiento territorial, el sistema busca para cada tramo de alcantarillado los cuerpos hídricos más cercanos de acuerdo a la distancia ingresada, sino ingreso distancia hace la búsqueda de acuerdo a parámetros por defecto de acuerdo a la normatividad, luego realiza una clasificación de acuerdo a criterios de riesgo bajo, medio o alto , el cual se guarda como un atributo nuevo en la capa de alcantarillado junto con otro atributo que indica la distancia mínima si incumple la normatividad.

Verificación pendiente por tramo de alcantarillado, en esta funcionalidad el usuario selecciona la capa de alcantarillado y los atributos correspondientes a cotas batea inicial y final, y la longitud de la tubería; tiene como fin establecer si existe una pendiente positiva que permita el flujo de líquidos por medio de la acción de la aceleración gravitacional. El sistema realiza los cálculos

para cada tramo y adiciona un atributo nuevo en la capa de alcantarillado en el cual indica su calificación: valido o invalido y otro atributo que indica la razón de esa calificación.

La interacción entre el usuario y las funcionalidades de la herramienta está dada por un único usuario el cual es una persona interesada en realizar la evaluación a su capa de alcantarillado, como se evidencia en la *Figura 2*.

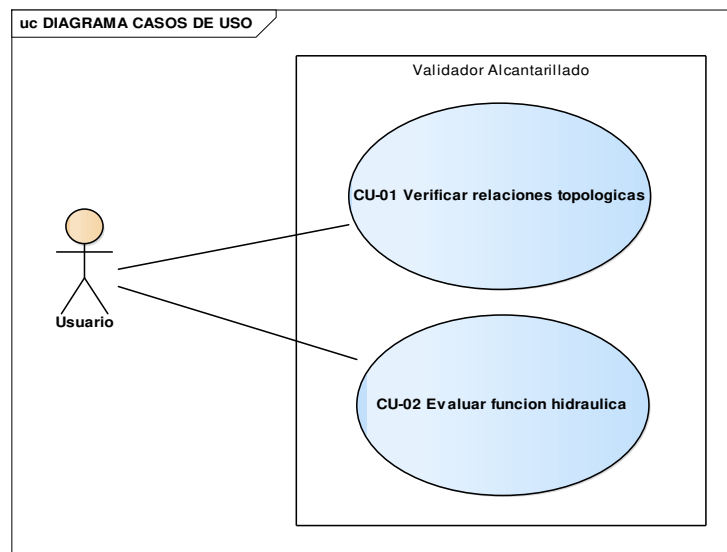


Figura 2. Diagrama casos de uso

Fuente: Elaboración propia.

8.2 Requerimientos No Funcionales

Se estableció que para implementar la funcionalidad en un sistema SIG, la herramienta debe ser un componente Plugin ya que este permite el uso de funciones propias del API (interfaz de programación de aplicaciones) del sistema SIG cuyas librerías proveen funcionalidades para el análisis geográfico, interfaz de usuario y manejo de archivos geográficos Shapefile requeridos para implementar la funcionalidad de la herramienta.

Los datos necesarios para los procesos de validación no pueden tener errores topológicos, deben tener un mismo sistema métrico: metros, para todos los datos numéricos su formato debe ser sin separación de miles y deben tener el mismo sistema de proyección espacial.

8.3 Diseño Arquitectónico

El diseño de la arquitectura seleccionada se describe por medio de los siguientes diagramas:

8.3.1 Diagrama de Clases:

Es usado para representar el diseño arquitectónico del sistema por medio del paradigma de orientación a objetos, de acuerdo a los requerimientos no funcionales aclarados en la fase anterior, se representa por medio de la *Figura 3*, en donde la clase de objeto (ValidadorQVALCDialog) corresponde a la interfaz gráfica de la herramienta donde el usuario escoge la funcionalidad del sistema identificada en los requerimientos funcionales que desea ejecutar; tiene como responsabilidad adicional cargar las capas, mostrar mensajes de advertencia y permitir la salida de la aplicación. La clase de objeto (ValidadorQVALC) implementa la funcionalidad, la lógica de negocio identificada de validación topológica de interferencia de redes de alcantarillado y validación hidráulica de redes de alcantarillado.

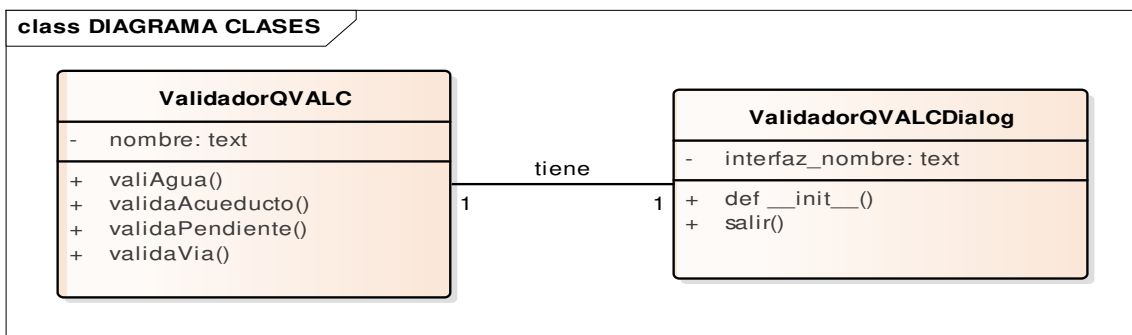


Figura 3. Diagrama de clases.

Fuente: Elaboración propia.

8.3.2 Diagrama de Secuencias:

Describe el comportamiento de las clases de objetos definidas y como colaboran entre ellas para implementar la funcionalidad requerida en cada caso de uso identificado; representan peticiones o mensajes entre objetos. En la *Figura 4*, se identifica que el usuario da inicio a la ejecución de la herramienta desde el programa Qgis, y posteriormente se inicializa la interfaz de usuario ValidadorQVALCDialog donde se cargan las capas seleccionadas por el usuario además se muestran mensajes de validación de la distancia según POT (Plan de Ordenamiento Territorial) donde indica si es válido el valor ingresado o no, si es válido ejecuta el proceso de validación respectivo. La clase ValidadorQVALC recibe de la clase interfaz ValidadorQVALCDialog las capas y datos de las capas necesarios para ejecutar las funcionalidades de validación de la red de alcantarillado.

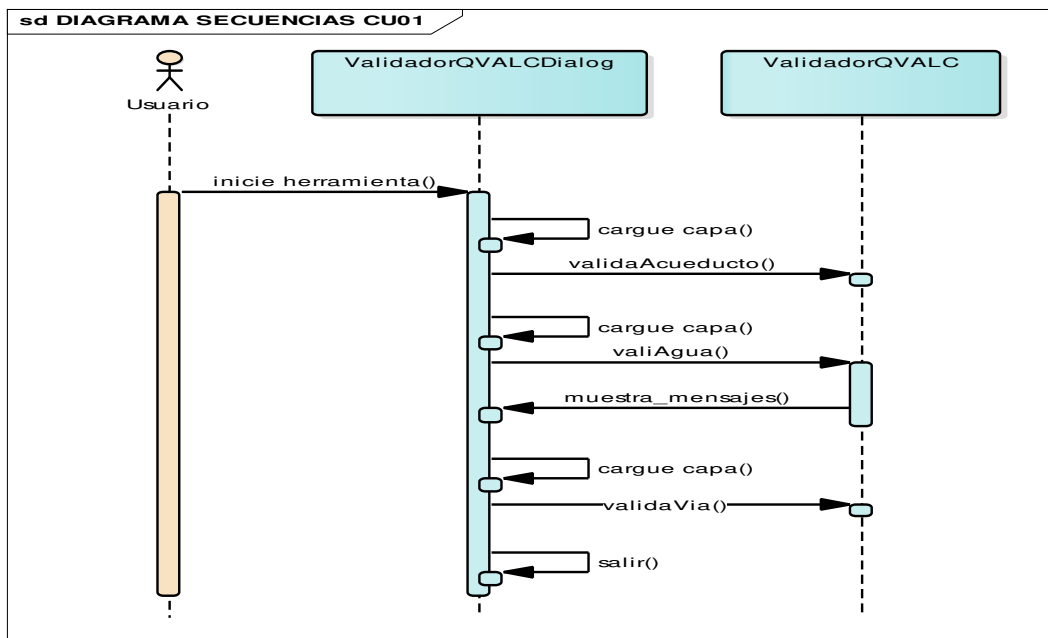


Figura 4. Diagrama de secuencia CU01.

Fuente: Elaboración propia.

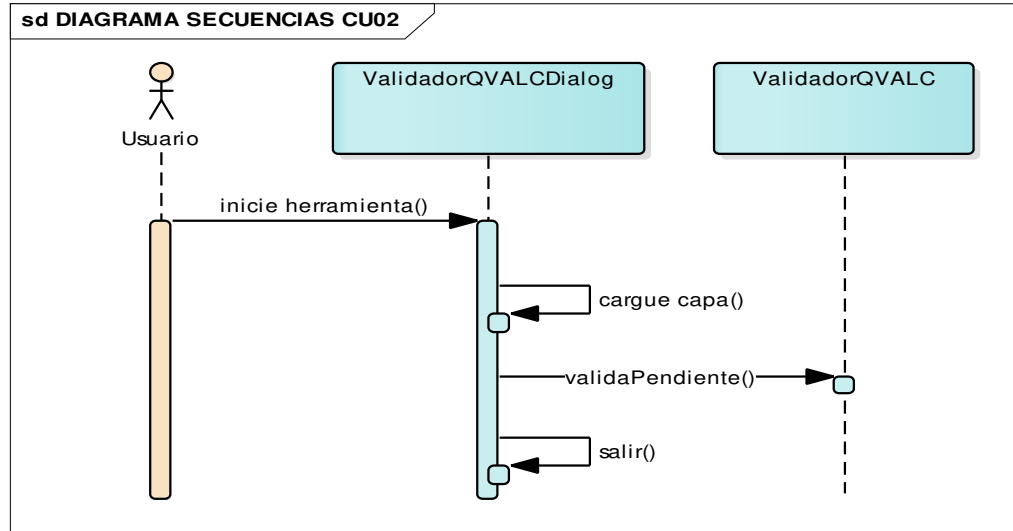


Figura 5. Diagrama de secuencia CU02.

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma en la *Figura 5* se muestra que para el segundo caso de uso, en la clase ValidadorQVALC se encuentra la función de cálculo del aspecto hidráulico de la pendiente: validaPendiente(), la cual se invoca desde la clase interfaz de usuario ValidadorQVALCDialog.

8.3.3 Diagrama de Componentes

Encapsula el comportamiento de la herramienta en componentes reemplazables como se evidencia en la *Figura 6*, por tres componentes: interfaz de usuario, Validador Sistemas Hidráulicos y Sistema SIG.

En Interfaz de Usuario, el usuario ingresa los parámetros necesarios para realizar la validación de su interés; Sistema SIG envía a la interfaz de usuario los datos de las capas cargadas y también recibe el resultado de la operación de validación realizada por medio del componente Validador Sistemas Hidráulicos como una capa nueva donde el usuario puede ver y manipular el resultado de la validación.

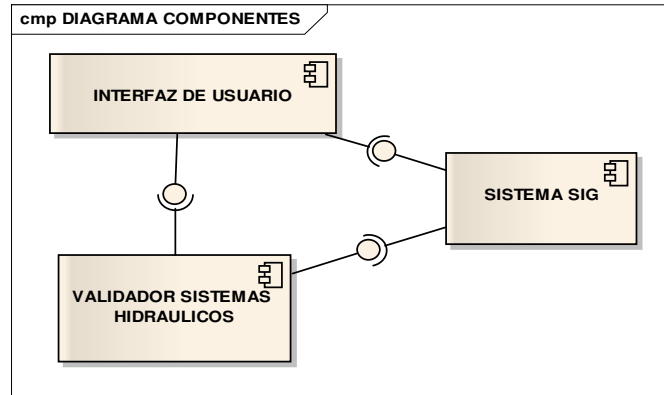


Figura 6. Diagrama de componentes.

Fuente: Elaboración propia.

8.4 Implementación

Según (Jacobson, Booch, & Rumbaugh, 2000) en la implementación se empieza con el resultado del diseño y se implementa el sistema en términos de artefactos, es decir, ficheros de código fuente, scripts, ficheros de código binario y similares.

Por lo tanto, la implementación consistió en llevar el diseño arquitectónico a una implementación física a través de código fuente usando un lenguaje de programación compatible en el contexto de la arquitectura escogida para la herramienta.

El contexto incluye el desarrollo de una interfaz y una lógica de negocio que funcione en el sistema SIG en este caso QGIS por lo tanto se utilizó su API (interfaz de programación de aplicaciones) que permitió desarrollar la interfaz gráfica utilizando la librería PyQt4 y la lógica del negocio con la librería PyQGIS cuyo lenguaje de programación anfitrión es Python.

Para desarrollar la plantilla grafica de la interfaz *Figura 7* se usó como entorno de trabajo QtDesigner, el cual genero el archivo (qvalc_dialog_base.ui), que contiene todos los elementos

gráficos que se ejecutan en la interfaz por medio de la clase ValidadorQVALCDialog contenida en el archivo (qvalc_dialog.py).

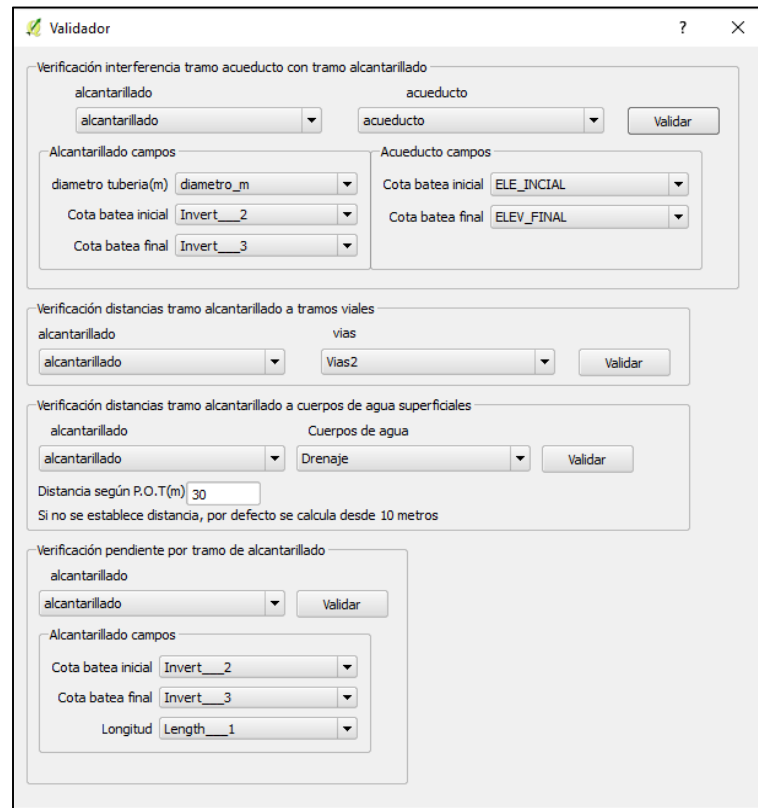


Figura 7. Interfaz QVALC.

Fuente: Elaboración propia.

La implementación de la lógica de los procesos de validación de la red de alcantarillado se realizó por medio de la edición de la clase ValidadorQVALC, y de su archivo contenedor (qvalc.py), allí se crearon las funciones que conectan con la interfaz gráfica y obtienen los datos necesarios para realizar los procesamientos requeridos.

8.5 Pruebas de Funcionalidad

Consistió en realizar ensayos sobre la funcionalidad implementada usando datos reales para verificar que el resultado es conforme a los requerimientos establecidos; en este caso se usó el diseño preliminar de una red de alcantarillado en una zona rural de Mosquera, Cundinamarca, como se muestra en la *Figura 8*, en color gris.



Figura 8. Zona de estudio Mosquera Cundinamarca.

Fuente: SAS Planet 2016.

Para la funcionalidad Verificación interferencia tramo acueducto con tramo alcantarillado, se seleccionó los datos requeridos en la interfaz gráfica como se muestra en la *Figura 9*.

alcantarillado		acueducto	
alcantarillado		acueducto	Validar
Alcantarillado campos		Acueducto campos	
diametro tubería(m)	diametro_m	Cota batea inicial	ELE_INICIAL
Cota batea inicial	Invert__2	Cota batea final	ELEV_FINAL
Cota batea final	Invert__3		

Figura 9. Interfaz verificación acueducto-alcantarillado.

Fuente: Elaboración propia.

En la *Figura 8* se aprecia el resultado de la operación el cual fue registrado en la tabla adicionada, efectivamente el tramo de acueducto con ID 22 se interseca con el tramo de alcantarillado con ID 0 y su calificación es inválida lo cual es correcto de acuerdo al cálculo manual, se comprueba el resultado gráficamente en la *Figura 9*.

	ID_Alcant	ID_acued	validez	razon	dist_iniA	dist_finA
1	0	22	INVALIDO	batea inicial o final alcantarillado a menos de 0.5m batea inicial ...	-0.08159999999...	0.008400000000...
2	1	20	INVALIDO	batea inicial o final alcantarillado a menos de 0.5m batea inicial ...	0.038399999999...	0.078399999999...

Figura 8. Resultados verificación acueducto-alcantarillado.

Fuente: Elaboración propia.

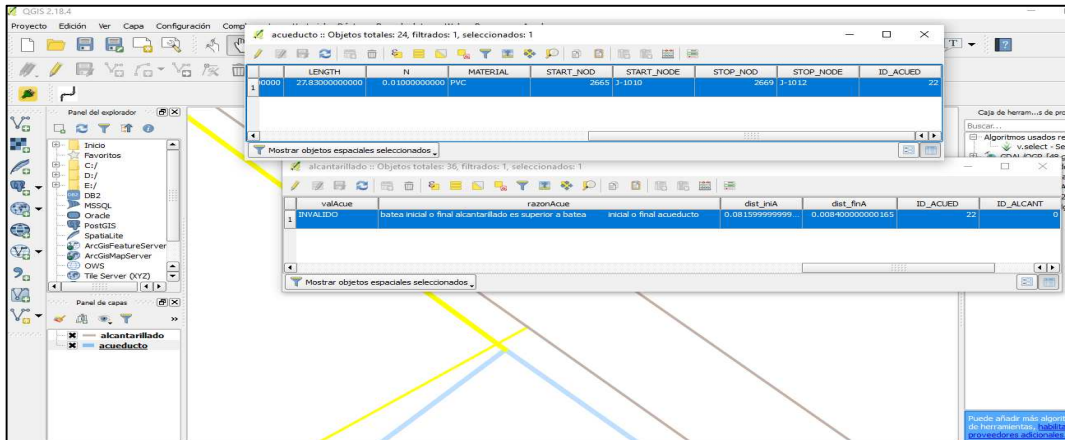


Figura 9. Resultados verificación acueducto-alcantarillado.

Fuente: Elaboración propia.

Para la prueba de la funcionalidad Verificación distancias tramo alcantarillado a tramos viales se seleccionaron los datos requeridos de la interfaz de usuario como se muestra en la *Figura 1012*, al hacer clic en validar se realizó el procesamiento.

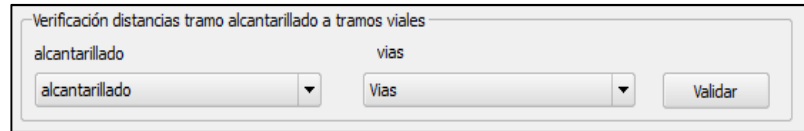


Figura 10. Interfaz verificación distancia alcantarillado-vías.

Fuente: Elaboración propia.

Se tomó una muestra de 2 tramos de alcantarillado para comprobar la validación realizada, como se aprecia en la *Figura 11*, el tramo de alcantarillado seleccionado es invalido porque está dentro de la vía a menos de la medida de seguridad de la acera estimada en la normatividad, se comprueba realizando una medida de distancia al vuelo desde la acera de la vía más cercana al tramo de alcantarillado a casi 1 metro, lo cual lo hace invalido.

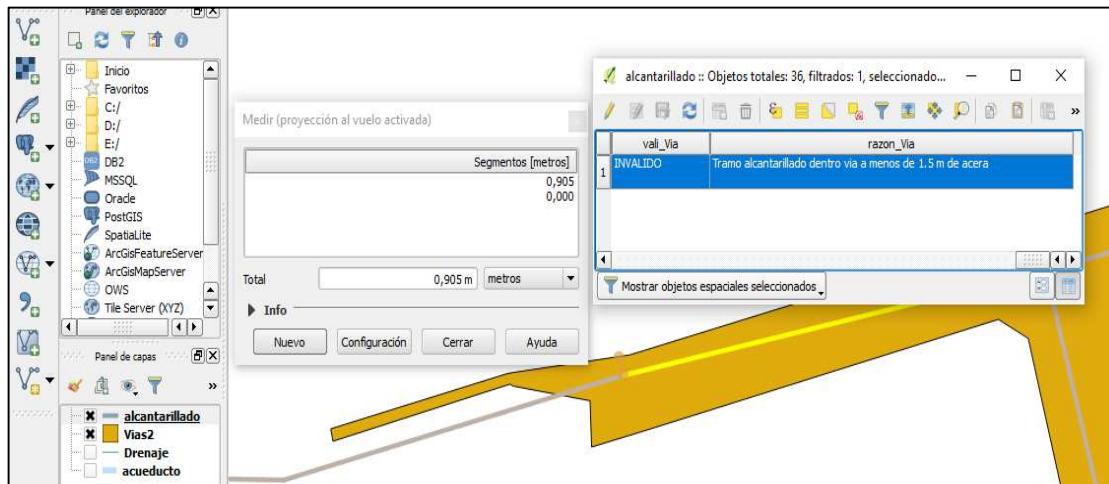


Figura 11. Resultado verificación distancia alcantarillado-vías.

Fuente: Elaboración propia.

Se tomó un tramo de alcantarillado representado en la *Figura 12*, en la cual se aprecia que algunos puntos del tramo incumplen con la normatividad, al estar muy cerca de la acera de la vía

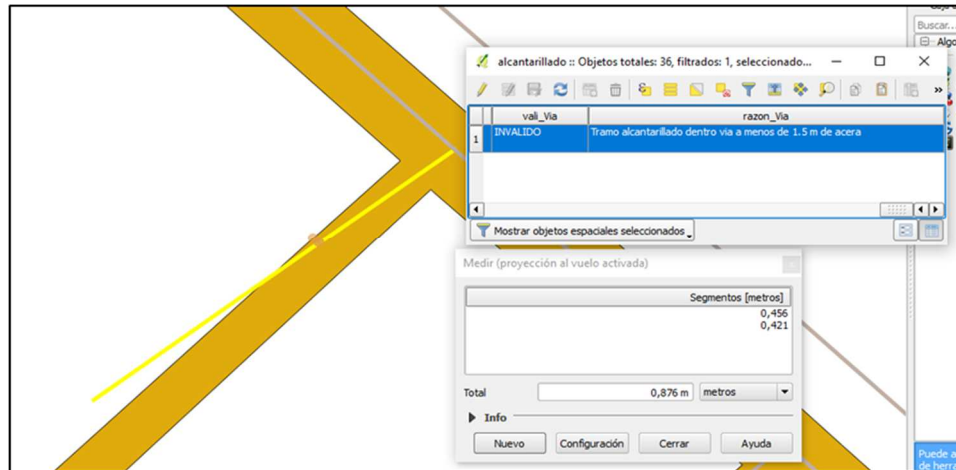


Figura 12. Resultado verificación distancia alcantarillado-vías.

Fuente: Elaboración propia.

Para la prueba de la funcionalidad Verificación distancias tramo alcantarillado a cuerpos de agua superficiales, se tomó una muestra cómo se ilustra en la *Figura 13*

	ID_ACUED	ID_ALCANT	val_dren	dis_a_dre
28	16	27	riego bajo	5.912261576437...
29		28	riesgo alto	0.000000000000...
30		29	riesgo alto	0.000000000000...
31		30	no hay riesgo	

Figura 13. Prueba verificación distancia alcantarillado vs cuerpos de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Para el tramo con ID 27, se encontró usando la herramienta de medida de QGIS como se muestra en la *Figura 14*, donde la distancia más corta desde el tramo de alcantarillado hasta un cuerpo de agua más cercano es de 5.95 siendo muy cercano al valor calculado automáticamente 5.91 y guardado en el atributo dis_a_dre, por lo tanto, es válida la calificación del riego de acuerdo a la normatividad.

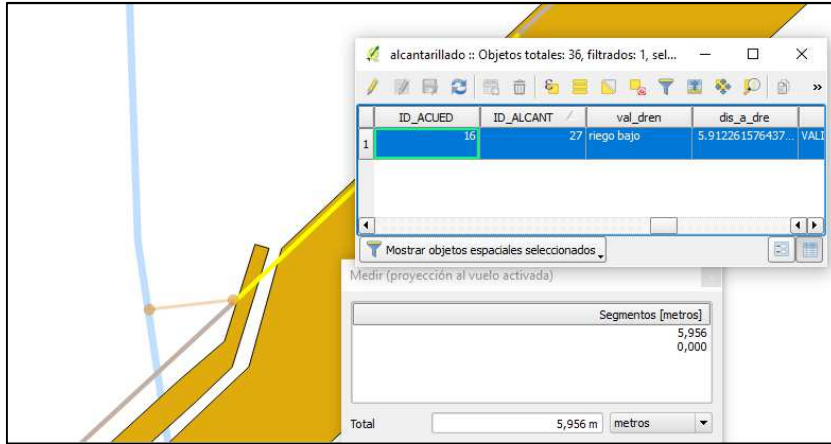


Figura 14. Resultado verificación distancia alcantarillado vs cuerpos de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

- En el proceso de desarrollo fue de gran importancia la plena identificación de los requerimientos funcionales y no funcionales ya que estos fueron la base para alcanzar los objetivos trazados en el proyecto del Plugin “QVALC”; este proceso de levantamiento de requerimientos inició a partir de la identificación de parámetros técnicos puntuales de diseño de redes hidrosanitarias contemplados en el reglamento técnico de estas redes RAS 2000 cuyo proceso de verificación en una red candidata a implementarse es dispendioso ; por lo tanto se estableció desarrollar una herramienta que validara estos aspectos puntuales conforme a esta legislación de forma expedita y que entregue una calificación sobre los parámetros técnicos evaluados.
- De la elicitación de requerimientos se concluyó que para la toma de decisiones es clave presentar el resultado de la validación de los elementos de una red de alcantarillado, pero también explicar el por qué se asignó la respectiva calificación a cada elemento es muy importante porque permite conocer la causa puntual del problema o el por qué está bien diseñado el elemento de la red; por eso este aspecto fue implementado en la herramienta.

Fue posible realizar una validación de una parte puntual de la normatividad contenida en el RAS 2000 sobre redes hidrosanitarias de forma automatizada y parametrizada por medio de funciones del API de QGIS y librerías propias de Python y de terceros.
- Fue posible automatizar procesos de validación de aspectos técnicos constructivos de RAS 2000 para redes hidrosanitarias por medio de la programación de Plugins como se evidenció en el desarrollo de la implementación, en donde con un solo clic es posible evitar realizar múltiples tareas de geoprocésamiento de forma manual y realizar verificación atributiva manual entre varias capas de datos espaciales a la vez, lo cual permite tomar una decisión en

menor tiempo y sin error humano asociado a la manipulación manual de datos numéricos o cualitativos.

- Fue posible implementar toda la funcionalidad requerida para el proyecto y de acuerdo a los resultados de las pruebas de funcionalidad se concluyó que la implementación es conforme a los requerimientos establecidos.
- Con los resultados obtenidos en la implementación del complemento para la validación de los diseños de redes de alcantarillado es posible considerar que el desarrollo de este tipo de herramientas permite a los usuarios obtener más confiabilidad al momento de realizar la evaluación de los parámetros establecidos por el reglamento técnico, para lo cual se recomienda generar un modelo más robusto que permita contemplar los demás criterios establecidos en la norma.

Referencias

- Colombia Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2012). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TITULO_D*. Recuperado a partir de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf
- EPM. (2009). *Normas de Diseño de Alcantarillado*. Recuperado a partir de https://www.epm.com.co/site/portals/documentos/aguas/2012/normas_diseno_alcantarillado.pdf
- Jacobson, I., Booch, G., & Rumbaugh, J. (2000). *El proceso unificado de desarrollo de software.pdf*. Addison Wesley. Recuperado a partir de <ftp://april.frm.utn.edu.ar/METODOLOGIA%20DE%20SISTEMAS%20-%20TSP/LIBROS/El%20proceso%20unificado%20de%20desarrollo%20de%20software.pdf>
- Lera, J. M. G. (2006). *Métodos e instrumental de los Planes Directores de Saneamiento*. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports. Recuperado a partir de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3292/53984-9.pdf?sequence=9>
- Moyano, J. (s. f.). HOME. Recuperado 29 de mayo de 2017, a partir de <https://www.giswater.org/>
- Murugesh, K., Krishna, B. M., & Manoj, K. B. (2015). *Design of Sanitary Sewer Network using Sewer GEMS V8i Software - IJSTE V2I1052.pdf, 02*. Recuperado a partir de <http://ijste.org/articles/IJSTE V2I1052.pdf>
- QGIS Python Plugins Repository. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2017, a partir de <https://plugins.qgis.org/plugins/QEsg/>
- US EPA. (s. f.). Recuperado 30 de mayo de 2017, a partir de <https://www.epa.gov/>