



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**“METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILLADO SANITARIO”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

**Elaborado por**

Br. María Jocabed Gutiérrez García

Br. Itsamary García Rivera

**Tutora**

Ing. María Elena Baldizón Aguilar

Managua, Abril 2021

2.- Hoja de respeto

### 3- Carta aval del tutor

4- Carta del Decano (aprobación de protocolo) si hay prorroga incluirla también.

## **Dedicatoria**

Este trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, es un orgullo y privilegio ser su hija, son los mejores padres.

A mis padres María Jesús y Manuel quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Además, a la memoria de mi hermano Marlon Eduardo Garcia, quién me apoyó en vida para que este momento llegara. A mis maestros por su paciencia y su entrega a la enseñanza, por la sabiduría y los conocimientos que me compartieron durante mi formación profesional, en especial a mi tutora de monografía Ing. María Elena Baldizón, en general a todos los que me compartieron sus conocimientos.

A mis compañeros y amigos, quiénes me han acompañado durante muchos años y me han dado su soporte y ayuda cuando lo he necesitado.

Itsamary García Rivera

## **Dedicatoria**

Este trabajo monográfico está dedicado a Dios, el único y soberano dueño de mi vida, de mis sueños, mis anhelos y triunfos. Ese amigo fiel que ha estado para mí durante todos los años de mi vida, ayudándome a crecer, a mantener mi fe en medio de las dificultades y quien me ha sostenido en cada paso que doy. Dedico mi trabajo a él, porque ha sido fiel cada día de mi vida, ha demostrado su misericordia sin límites y me ha hecho sentir su amor y su dirección en cada paso que doy. Además, sin él yo no sería nada, todo se lo debo a él.

Dedico de igual forma, a mi amada familia. Mi madre, María Dolores García Ortiz, quién con todo su amor ha dedicado los dulces años de su vida a mi crecimiento y cuidado, quien no ha escatimado en su apoyo para que yo pueda cumplir mis sueños, por acompañarme en cada desvelo, por ser mi mejor amiga y refugio cuando las cosas no salen bien, por ser la mejor madre que Dios pudo haberme dado. A mi padre, Jairo Gutiérrez Cruz, quién no solo ha sido un guía en mi vida, sino también ese compañero y amigo fiel cuando lo he necesitado, por acompañarme en todas mis locuras y ayudarme a sobrepasar todos los nervios que mis sueños han causado en mí, por ser sin dudas, un padre excepcional y amoroso. A mi hermano, Jairo Misael, quién ha sido mi mentor y consejero durante los largos años de estudios, ese amigo eterno que Dios me ha dado para vivir todas mis experiencias, mi protector en momentos difíciles y la ayuda oportuna en mis estudios.

A mis abuelitas Eneyda Ortiz, Aida Cruz y mi tía Martha Mercado. Tres mujeres llenas de amor, que me han enseñado a ser feliz en toda ocasión, quienes me han cuidado a lo largo de los años y me han apoyado con su especial cuidado y soporte. A mi numerosa y amada familia, mis tíos, tías, primos, primas, abuelos y sobrinos.

A todos los maestros que he conocido a lo largo de mi vida, sin ayuda de todos ellos y los valiosos conocimientos que me han transmitido no sería quién fuera en estos momentos, muy en especial a la Ing. María Elena Baldizón, una excelente

tutora y amiga, quién confió en mis capacidades y se ha convertido en un ángel que Dios ha puesto en mi camino.

A mis compañeros y amigos, quiénes me han acompañado durante muchos años y me han dado su soporte y ayuda cuando lo he necesitado.

Y dedico este trabajo a mí, aunque suene raro, por haber sido fuerte y perseverante, por haber dedicado mis mejores esfuerzos a mi proceso formativo y por siempre luchar por mis sueños. Se la dedico a mi yo de años posteriores, para que sepa que puede luchar por sus sueños y que con ayuda de Dios, si es su voluntad, se harán realidad. Igual a todos los que lean este texto, sepan que Dios es bueno, que les ama y que con su ayuda pueden llegar a cumplir todos los anhelos de su corazón.

*Y sabemos que a los que aman a Dios, todas las cosas les ayudan a bien, esto es, a los que conforme a su propósito han sido llamados.*

*Romanos 8:28*

*María Jocabed Gutiérrez García*

## **Agradecimiento**

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto; por haberme dado salud, ser el manantial de vida y darme lo necesario para seguir adelante día a día para lograr mis objetivos, a mi familia que han sido un gran apoyo para lograr culminar mi carrera profesional. Además, agradezco infinitamente a mis maestros por darme las bases necesarias para culminar con éxito este gran proyecto monográfico.

Mi más cordial reconocimiento y agradecimiento a todos y cada uno de los Ingenieros de la Facultad, porque de alguna manera supieron brindarme su gama de experiencia profesional. Mi agradecimiento al ing. Erick Lazo por su colaboración y orientación en la realización del presente trabajo de investigación. Mi agradecimiento a todos mis compañeros, amigos en especial a María Jocabed quien es mi compañera de monografía y fue un apoyo incondicional durante toda la carrera, a mi novio Enmanuel Rocha, por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias a todos, siempre los llevo en mi corazón.

Agradezco al Ing. Miguel Santeliz e Ing. Rafael Hernández quienes me han apoyado y me han compartido sus conocimientos, los cuales han adquirido durante su experiencia, realmente han sido un gran apoyo.

Realmente estoy muy agradecida con todas las personas que de cualquier manera me han apoyado durante todo mi proceso de formación tanto académica como personal.

.

Itsamary García Rivera

## **Agradecimiento**

No puedo dejar de agradecer a Dios, pues sin su ayuda no hubiera logrado este gran paso en mi vida académica y profesional. Le agradezco por haberme fortalecido cada día de mi vida y por ayudarme, por su amor incondicional y misericordia.

Agradezco a mis padres y mi hermano, María Dolores, Jairo y Jairo Misael por ser los principales pilares en mi vida, por estar conmigo para apoyarme, darme ánimos y creer en mi potencial, gracias por hacerme feliz en toda ocasión y por el dulce amor que me han mostrado siempre.

Agradezco a mi familia, mis abuelitas, abuelito, tías, tíos, primas y primos, quienes me han mostrado su amor y me han tratado con paciencia siempre que los he necesitado, por darme ánimos para que siga luchando, son los mejores.

Agradezco a mi mejor amiga, María Alejandra, quién a través de los años me ha acompañado y ha sido una hermana para mí, gracias por aconsejarme y alentarme siempre, por estar a mi lado a pesar de todas las dificultades.

Gracias a mis maestros, por el conocimiento que he alcanzado a lo largo de los años, por muchos triunfos y crecimiento académico. En especial a la Ing. María Elena Baldizón, quién muy amablemente nos apoyó en este trabajo monográfico y ha sido la ayuda oportuna cuando lo hemos necesitado.

Agradezco al equipo de Saneamiento de Enacal, especialmente a las Ing. Craudy Norori e Ing. Loyda Mendieta y al equipo de PROATAS, por su apoyo durante la realización de este trabajo monográfico, por el ánimo y la asesoría profesional que me han brindado.

Gracias a mis compañeros de universidad, a mi grupo de amigos durante los años de carrera con las cuáles viví muchas experiencias que jamás olvidaré, también

gracias por abrir las puertas de sus hogares para mí cuándo necesité quedarme en Managua por algún contratiempo, sus familias también están en mi corazón. Gracias a todos.

Muy en especial a mi sensei Adonis Alemán, mis compañeros de carrera Roberto Hernández y Josué Urbina, quienes compartieron conmigo sus conocimientos y me apoyaron cuando necesite de su ayuda. De igual forma a mis amigos más cercanos: Itsamary, Jael, Ericka, Aleska, Yaritza, Daniela y Nelson, y todas las personas que coincidieron conmigo en este camino, pues con ellos viví los mejores años de universidad que pude haber tenido, agradezco a Dios por sus vidas.

Agradezco a todos los que han sido parte de mi vida, a los que por alguna razón ya no lo son y a todos los que de alguna pequeña o gran forma, me ayudaron a llegar hasta este momento.

Que Dios les bendiga, les guardo con mucho amor en mi corazón.

*María Jocabed Gutiérrez García*

## Resumen del tema

El presente trabajo monográfico, titulado “**Metodología de Evaluación Hidráulica de Sistemas de Alcantarillado Sanitario**”, es presentado como una guía para la utilización dos softwares libres para la evaluación hidráulica de un sistema de alcantarillado sanitario, sea convencional o condominial, mediante el uso del programa EPASWMM para la realización de la simulación hidráulica y del programa QGIS como herramienta para la creación de una base de datos de dicho sistema para la gestión de información de manera digital. Esta guía puede ser utilizada por estudiantes o profesionales de la Ingeniería Civil con pocos o nulos conocimientos previos de los programas a usar, pues se explica paso a paso las diferentes utilidades de los mismos, para cumplir con los objetivos de este trabajo.

Por las propias características de ambos programas, para el manejo de la información gráfica del sistema, se deben prever condiciones iniciales de la información para que estos sean usados como herramientas de evaluación y gestión de la información. En el capítulo III se presenta la teoría utilizada para este trabajo relacionada a los conceptos generales de Guía metodológica, Redes de alcantarillado sanitario, sistemas de información geográfica y los softwares libres a usar en esta investigación, llamados EPASWMM en su versión 5.1 y QGIS en su versión 3.0.3. En el capítulo II, se aborda la descripción del área tomada como caso de estudio, que corresponde a la ampliación del alcantarillado sanitario de la ciudad de Jinotepe, Carazo.

Luego, en el capítulo IV el desarrollo de la metodología que presenta los pasos más importantes para la creación de las bases de datos en Excel y las mejoras a los planos disponibles de AutoCAD, para luego abordar de manera detallada el uso de los programas, desde las configuraciones iniciales hasta la simulación hidráulica en EPASWMM y la representación gráfica de los datos en QGIS, además, se presentan las diferentes normativas del país para definir los criterios de diseño y a la vez de evaluación de la red, los que a su vez servirían para el nuevo cálculo de una pequeña área de la red, para simular la reparación de los datos en caso de ser erróneos.

En el capítulo V se abordan los resultados de los procesos descritos anteriormente, es decir, la información levantada en Excel sobre el sistema, los cambios hechos a los planos de la red, los resultados hidráulicos de la simulación en EPASWMM, la información introducida en QGIS y el nuevo cálculo de un área de alcantarillado convencional y un área de alcantarillado condominial.

Para finalizar, en el capítulo VI se presentan las conclusiones generales más importantes de este trabajo y algunas recomendaciones útiles para trabajos posteriores.

## INDICE

I.	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes.....	3
1.3	Justificación.....	6
1.4	Objetivos.....	8
1.4.1	Objetivo general.....	8
1.4.2	Objetivos específicos.....	8
II.	Descripción del área utilizada como caso de estudio.....	9
2.1.	Localización y límites geográficos.....	9
2.2.	Servicios básicos.....	10
2.2.1.	Abastecimiento de agua.....	10
2.2.2.	Alcantarillado sanitario.....	11
2.2.3.	Drenaje pluvial.....	12
III.	Marco teórico.....	13
3.1.	Guía metodológica.....	13
3.1.1	Concepto.....	13
3.1.2	Importancia de las guías metodológicas.....	14
3.1.3	Estructura de una guía metodológica.....	14
3.2	Sistema de alcantarillado sanitario.....	16
3.2.1.	Manejo de información de redes de alcantarillado sanitario.....	16
3.2.2	Alcantarillado sanitario.....	16
3.2.3	Tipos de alcantarillado sanitario.....	17
2.	Alcantarillado condominial.....	19
3.2.4.	Información de Alcantarillados Sanitarios.....	20
3.3.	Sistemas de información geográfica.....	20

3.3.1. Información pública y privada que utilizan los softwares.....	21
3.3.2. Funcionamiento de un sistema de información geográfica .....	21
3.3.3. La creación de datos.....	22
3.3.4 Representación de los datos.....	23
3.4. Softwares libres con sistema de información geográfica a utilizar .....	24
3.4.1. EPASWMM 5.1 .....	25
3.4.2. QGIS 3.0.3 .....	26
IV Diseño metodológico .....	28
4.1 Tipo de investigación .....	28
4.2 Métodos .....	28
4.3 Técnicas e instrumentos de recopilación de información de datos .....	28
4.4. Etapas de la investigación .....	29
4.4.1 Planificación de la investigación .....	29
4.4.2 Trabajo de gabinete .....	29
4.4.2.1. Análisis.....	29
4.4.2.2. Proceso informativo .....	30
4.4.3 Procesamiento de datos.....	30
4.4.3.1 Microsoft Excel.....	30
4.4.3.2. AutoCAD .....	32
4.4.3.3. EPASWMM .....	34
4.4.3.4. QGIS .....	55
4.4.3.5 Evaluación hidráulica del sistema de alcantarillado sanitario.....	77
4.4.3.6. Nuevo cálculo de la red de alcantarillado sanitario .....	86
V Análisis e interpretación de resultados .....	87
5.1 Recopilación de información .....	87

5.2. Procesamiento de datos y elaboración de base de datos en Microsoft Excel	88
5.3. AutoCAD .....	89
5.4. EPASWMM .....	89
5.5. QGIS .....	98
5.6. Nuevo cálculo de la red de alcantarillado sanitario .....	102
VI Conclusiones y Recomendaciones .....	111
6.2 Recomendaciones .....	113
VII Bibliografía .....	115

## **INDICE DE IMÁGENES**

<i>Imagen 2.1. Macro y micro localización del proyecto .....</i>	9
<i>Imagen 2.2 Sectores de la Ampliación del Sistema de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe. ....</i>	10
<i>Imagen 3.1 Ejemplos de datos de formato ráster y vectorial.....</i>	23
<i>Imagen 3.2 Ejemplo de pantalla de Edición del programa EPA SWWMM 5.1 .....</i>	26
<i>Imagen 3.3 Ejemplo de pantalla de edición del programa QGIS 3.0.3.....</i>	27
<i>Imagen 4.1 Pozos de visita con datos diferentes .....</i>	33
<i>Imagen 4.2. Interfaz de EPASWMM.....</i>	36
<i>Imagen 4.3. Configuración inicial de un Proyecto de EPASWMM – ID Labels ....</i>	37
<i>Imagen 4.4. Configuración inicial de un Proyecto de EPASWMM – Subcatchments .....</i>	38
<i>Imagen 4.5. Configuración inicial de un Proyecto de EPASWMM – Nodes y Junctions.....</i>	38
<i>Imagen 4.6. Panel Visor de Información .....</i>	40
<i>Imagen 4.7. Configuración Nodo de desagüe .....</i>	41
<i>Imagen 4.8. Configuración nodo de almacenamiento o depósito.....</i>	42
<i>Imagen 4.9. Configuración de Nodos: PVS, CR y Accesorios .....</i>	43
<i>Imagen 4.10. Configuración de tuberías .....</i>	44

<i>Imagen 4.11. Configuración de Bomba</i> .....	45
<i>Imagen 4.12. Configuración básica para curva de la bomba</i> .....	46
<i>Imagen 4.13. Añadir fotos como fondo de mapa</i> .....	47
<i>Imagen 4.14. Añadir Complemento de Excel para añadir datos tabulares</i> .....	48
<i>Imagen 4.15. Excel como herramienta en el programa</i> .....	49
<i>Imagen 4.16. Convertir elementos de un tipo a otro</i> .....	50
<i>Imagen 4.17. Configuración general para simulación hidráulica</i> .....	51
<i>Imagen 4.18. Puesta en marcha de simulación hidráulica</i> .....	52
<i>Imagen 4.19. Gráficos del mapa con la opción Map</i> .....	53
<i>Imagen 4.20. Perfil hidráulico de una sección</i> .....	54
<i>Imagen 4.21. Interfaz de QGIS</i> .....	57
<i>Imagen 4.22. Propiedades del nuevo proyecto</i> .....	58
<i>Imagen 4.23. Definir el sistema de referencia de coordenadas del programa.</i> ..	59
<i>Imagen 4.24. Creación de una nueva capa</i> .....	60
<i>Imagen 4.25. Visualización de capas del proyecto</i> .....	61
<i>Imagen 4.26. Opción añadir capas al proyecto.</i> .....	62
<i>Imagen 4.27. Adición de una capa a partir de un archivo delimitado por texto</i> ..	65
<i>Imagen 4.28. Instalar mapas fuentes en QGIS</i> .....	67
<i>Imagen 4.29. Edición de símbolos en el proyecto</i> .....	68
<i>Imagen 4.30. Configuración de etiquetas de la capa</i> .....	69
<i>Imagen 4.31. Digitalización de un objeto espacial nuevo</i> .....	71
<i>Imagen 4.32. Herramienta de selección de los elementos</i> .....	74
<i>Imagen 4.33. Selección a través de la tabla de atributos</i> .....	75
<i>Imagen 4.34. Estadística básica del proyecto</i> .....	76
<i>Imagen 5.1 Resultados Finales de Simulación Hidráulica</i> .....	90
<i>Imagen 5.2 Tuberías con 4" de diámetro</i> .....	92
<i>Imagen 5.3 Tuberías con caudales menores a 1.5lps</i> .....	94
<i>Imagen 5.4 Tuberías con velocidades menores a 0.3m/s</i> .....	95
<i>Imagen 5.5 Tuberías con ocupación menor al 50% de su capacidad</i> .....	97
<i>Imagen 5.6 Información de Tuberías en QGIS</i> .....	99
<i>Imagen 5.7 Información de las cajas de Registro en QGIS</i> .....	99

<i>Imagen 5.8 Información de los Pozos de Visita y accesorios en QGIS.....</i>	100
<i>Imagen 5.9 Representación gráfica de la Ampliación del Sistema de alcantarillado Sanitario de Jinotepe en QGIS .....</i>	101
<i>Imagen 5.10 Sectores de estudio de alcantarillado condominial y convencional .....</i>	103
<i>Imagen 5.11 Área de Alcantarillado Convencional para nuevos cálculos. ....</i>	104
<i>Imagen 5.12 Área de Alcantarillado Condominial para nuevos cálculos. ....</i>	108

## **INDICE DE TABLAS**

<i>Tabla 4.1. Datos para instalación de complementos.....</i>	66
<i>Tabla 4.2 Distancias máximas entre pozos de visita.....</i>	79
<i>Tabla 4.3 Coeficientes K según tamaños de población .....</i>	83
<i>Tabla 4.4 Características de los dispositivos de inspección.....</i>	85
<i>Tabla 5.1 Longitud Total de tubería por diámetros.....</i>	91
<i>Tabla 5.1 Datos de caudales para un sistema convencional .....</i>	106
<i>Tabla 5.2 Cálculos hidráulicos sistema convencional .....</i>	106
<i>Tabla 5.3 Cálculos topográficos sistema convencional.....</i>	107
<i>Tabla 5.4 Revisión de caudales alcantarillado condominial .....</i>	109
<i>Tabla 5.6 Cálculos topográficos sistema condominial.....</i>	110

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO I.** Base de datos levantada como trabajo de gabinete.

**ANEXO II.** Planos de la ampliación de la Red de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe por Sectores Mejorados.

**ANEXO III.** Gráficos de EPASWMM del comportamiento hidráulico de la Red de Alcantarillado Sanitario.

**ANEXO IV.** Bases de datos de los elementos de la Red de alcantarillado Sanitario de QGIS.

**ANEXO V.** Fotos de visita de Campo realizada a la Red de Alcantarillado Sanitario existente de la ciudad de Jinotepe.

## **I. Introducción**

### **1.1. Generalidades**

Uno de los mayores problemas que se dan en una zona con emplazamientos urbanos, es el servicio de saneamiento, y refiriéndose más específicamente, a aquellos problemas ocasionados debido a una inadecuada deposición final de los desechos de origen sanitario producidos por esta población.

Partiendo de lo antes mencionado se puede hacer notar que una de las funciones del Ingeniero civil es dar una correcta evaluación de los sistemas existentes de saneamiento si es que estos existiesen, realizar estudios para su mejoramiento y ampliación, o la construcción total de los mismos.

Los estudios de saneamiento de un determinado emplazamiento urbano ameritan una gran inversión de tiempo, el cual puede ser reducido y administrado de una mejor manera mediante su digitalización con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los mismos que no solo favorecen un mejor manejo de los datos obtenidos, sino que además ayudan a realizar los respectivos cálculos, sean estos poblacionales, áreas de aporte o hidráulicos que se necesitan para lograr una correcta concepción de los proyectos de este tipo.

Los avances tecnológicos han permitido la agilización de procesos de diseño de la Ingeniería Civil, que en tiempos anteriores debían ser elaborados de manera manual y tediosa, por la gran cantidad de datos utilizados en los mismos. Dentro de dichos avances, está la creación de distintos softwares o programas para la Modelación Hidráulica de una zona, el Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario, la distribución de las aguas de un lugar de manera correcta, etc.

Haciendo referencia a la tesis “Aplicaciones para el Diseño de Alcantarillados del Programa AutoCAD Desarrollo de Urbanizaciones (Land Development Desktop R2.)”, donde se hace uso de un software para diseño, estos son la consolidación de las bases de las distintas ciencias que forman parte de la Ingeniería Civil, tomando en

cuenta desde aquellas teorías más básicas hasta las más complejas que se necesitan para la buena elaboración de dichos sistemas en el menor tiempo y de una manera sencilla, aunque claramente, el trabajo de estos softwares es de gran utilidad, es necesario que todo ingeniero civil tenga conocimientos previos para la buena interpretación de lo que está haciendo.

Este trabajo está destinado a la elaboración de una Metodología de Evaluación Hidráulica de Diseños de Sistemas de Alcantarillado Sanitario, utilizando softwares libres y usando como ejemplo, el Proyecto de Ampliación Propuesto en la ciudad de Jinotepe, Carazo, que fue aprobado el 02 de diciembre del 2017, por el área de Preinversión del Programa Integral Sectorial de Agua y Saneamiento Humano (PISASH).

No contar con planos, tablas de Excel y la modelación en algún programa de fácil acceso, impide el conocimiento de las personas acerca del sistema, un amplio y exhaustivo análisis de las redes conlleva mucho tiempo, por lo que empezar a dibujar las redes del país en este sistema sería un salto de desarrollo para la empresa, de esta forma se tendría control de lo existente y de las ampliaciones que quieran hacerse.

La elaboración de este trabajo servirá para proyectos propuestos futuros, se pretende que sea aplicable a cualquier Sistema de Alcantarillado Sanitario. Se tomará en cuenta información previa para la elaboración de este trabajo, como datos de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), aspectos del catastro de usuarios del casco urbano de la Ciudad de Jinotepe, elaboración de base de datos en QGIS (Quantum Geographic Information System, cuyo significado en español es Sistema de Información Geográfica Cuántico) y la evaluación hidráulica en EPA SWMM (Environmental Protection Agency's StormWater Management Model, cuyo significado en español es Modelo de Gestión de Aguas Pluviales de la Agencia de Protección Ambiental).

## 1.2 Antecedentes

Existe una diversidad de programas debido a la evolución de la tecnología; a cada cierto tiempo se crea una nueva versión y éstas varían en cuanto al entorno global (nuevas herramientas, secuencias o rutinas de comandos, opciones de personalización, etc.). El objetivo de los fabricantes de los programas es facilitar el trabajo a los usuarios y adecuar el entorno a sus aplicaciones. En temas de hidráulica, entre los programas más conocidos se pueden mencionar: SewerCAD, Hidra, AutoCAD Land Development Desktop & Civil Design, CivilCAD, EPA SWMM 5.0 y SewerGEMS.

En el medio universitario, se sabe que el alcance económico para la adquisición de los programas es la limitante más fuerte para su conocimiento y uso. Irónicamente dentro del campo de trabajo en la iniciativa privada y pública, a los Ingenieros Civiles se les exigen los conocimientos de estas herramientas. Las aplicaciones de estos programas pueden ser varios como: La planificación de la infraestructura, diseño estructural, dibujo arquitectónico, revisión de la capacidad hidráulica de la red, etc. Este trabajo estará concentrado en esta última actividad.

Muchos de estos programas pueden ser relacionados al término Sistema de Información Geográfica o SIG (GIS en su acrónimo inglés, *Geographic Information Systems*), que son softwares específicos que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio, conectando mapas con bases de datos.

El desarrollo de los SIG ha tenido varias etapas o fases:

- La primera fase corresponde al periodo comprendido entre la década de 1960 y a mediados de la década de 1970, donde unas pocas personas y organismos realizaron las investigaciones que permitieron el surgimiento de los SIG.

- La segunda fase, desde mediados de 1970 a principios de 1980, la tecnología SIG comenzó a ser adoptada por agencias y organismos nacionales, esto fue lo que permitió su desarrollo exponencial.
- La tercera fase, entre 1982 y finales de la década de los 80, consistió en el surgimiento y explotación del mercado comercial que rodea SIG.
- La última fase, desde finales de los 80 hasta hoy en día, donde se busca implementar mejoras en los SIG que permitan una mayor usabilidad y practicidad por parte del usuario.

Es un hecho contrastado que en las primeras etapas del desarrollo de los SIG durante el Siglo XX las investigaciones no gozaron de la colaboración internacional entre los diferentes organismos en busca de un desarrollo conjunto que permitiese un mayor avance. La unidad en el desarrollo de este no aparece hasta que se comenzó a comercializar la tecnología para un uso profesional y privado. La empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute), fundada en 1969, se convirtió en la referencia de los SIG bajo licencia. Se tuvo que esperar hasta 1985 para que apareciera el primer software SIG libre, GRASS, y hasta el 2002 para la primera versión de QGIS.

- **El primer SIG**

Durante la década de los 60, mediante el patrocinio del Departamento Federal de Energía y Recursos del Canadá, se desarrolló el primer SIG denominando CGIS (Canadian Geographical Information Systems), que tenía como objetivo trabajar con los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural.

A la vez que se realizaban los desarrollos en Canadá se producen avances en el Harvard Laboratory (USA) y en el Experimental Cartography Unit (Reino Unido) donde se crean softwares para crear y analizar la información geográfica. El Harvard Laboratory desarrolló en 1964 una aplicación denominada SYMAP que permitía representar la información espacial mediante puntos, líneas y áreas.

Durante la década siguiente, la tecnología SIG ha sido adoptada por todos los niveles de la administración (Gobiernos regionales, provinciales, ayuntamientos), al mismo ritmo que bajan los costes de uso y se extiende su uso a través de software libre como gvSIG y QGIS. Al mismo tiempo, la difusión de Internet proporcionó un medio para extender el uso de los mapas y su uso a través de los SIG. Elemento clave en este proceso de difusión ha sido el surgimiento de Google maps, en el 2005.

Otro programa usado, es el SWMM (*Stormwater Management Model*), una de las herramientas más útiles para el proyectista de sistemas de drenaje, es un software muy completo, capaz de simular el movimiento del agua de precipitación y los contaminantes por el suelo, tanto la escorrentía superficial como la infiltración que se produce hacia el subsuelo; y a través de las redes de colectores y canales que transportan el agua hacia instalaciones de almacenamiento y/o tratamiento.

Este modelo lleva más de cuarenta años de uso desde que se creó por la División de Abastecimiento de Agua y Recursos Hídricos de la EPA (Environmental Protection Agency o Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.) y como es evidente, a lo largo de tantos años, el programa ha ido evolucionando hacia versiones cada vez más avanzadas. La última en salir es la SWMM 5 que actualmente se encuentra en su versión 5.1.010.

Con el objetivo de realizar el ejemplo práctico con los programas a usar en este trabajo monográfico, se ha tomado como referencia el proyecto anteriormente realizado por ENACAL y titulado como “Estudio de Factibilidad y Diseño Final del Proyecto de Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe, Departamento de Carazo”, el que fue elaborado en el año 2017. Como resultado de análisis y datos levantados en el año 2015, dicho proyecto se realizó para un período de diseño de 20 años (2016-2037) con una tasa de crecimiento del 2.5%, con una población inicial del proyecto de 36,370 habitantes y una proyección para el año 2037 de 62,614.

### 1.3 Justificación

Según el Anuario Estadístico 2015 del Instituto Nacional de Información de Desarrollo al año 2015<sup>1</sup>, Nicaragua contaba una población de 6,262,703 habitantes, con una cobertura de Agua Potable del 89% y un 42.3% de Alcantarillado Sanitario<sup>2</sup>. Es por esto que se ha procurado la creación de nuevos proyectos para abastecer a aquellas personas que no cuentan con estos servicios, estos son diseñados por empresas consultoras, ya sean extranjeras o nacionales, que se encargan de hacer todos los estudios y llevar a cabo el trabajo de proyección del sistema, ya sean nuevas construcciones o ampliaciones.

En este país, los diseños realizados por dichas empresas, son revisados en las Etapas de Diagnóstico y Diseño, pero existe una gran cantidad de empresas, que en algunos casos con las licencias para el uso de los softwares que son de paga, lo que se convierte en una debilidad de la institución, ya que podría provocar que no se analice completamente el diseño, o que el análisis no pueda hacerse por no tener el software, etc. Como se puede ver, este problema, afectaría a las instituciones, y aún a la misma población, que sufriría los estragos causados por algún error presente en el Diseño Final del proyecto. Aunque, cabe resaltar, que esto no sucede en todos los casos.

Al tomar en cuenta esta dificultad, es imperante la necesidad de crear una Metodología para ENACAL y sus diferentes programas orientados a los proyectos de Alcantarillado Sanitario y para empresas dedicadas al tema, para la debida revisión de los planos y de los datos hidráulicos proporcionados en el informe final, con el uso de softwares que no requieren un pago para su uso.

Dicha guía se realizó con el propósito de servir como ejemplo de la utilización de dos softwares libres en la evaluación del caso de estudio, que es el sistema de alcantarillado sanitario propuesto a construirse en la ciudad de Jinotepe, Carazo, donde se hizo un análisis de la información brindada desde la obtención de los

---

<sup>1</sup> Se toma el año 2015, por ser fecha de diseño de la Ampliación del Sistema de Alcantarillado de Jinotepe, Carazo.

<sup>2</sup> Datos proporcionados por Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL).

mismos, hasta la utilidad de estos y así ENACAL o cualquier empresa externa, podrá tener un mejor control de los proyectos a realizarse.

No se puede obviar, el gran valor del trabajo realizado por las empresas contratadas, pero a la vez es necesario notar que éstas utilizan programas para hacer sus propios diseños, al tener una gran cantidad de datos, es posible el hecho de pasar por alto algún dato erróneo, es por esto que hay que tener presente que la calidad y cantidad de datos con los que se cuenten, influirán en los resultados a obtener en determinado software.

Es por esto que este trabajo, servirá a ENACAL Carazo, ENACAL Central y cualquier Empresa dedicada al Área de Diseño y Evaluación de Sistemas de Alcantarillado, para una mejor gestión y seguimiento de su propia información y así tener una mayor oportunidad para solucionar aquellos problemas que se presenten con agilidad y poca duración, también será de beneficio para la población de Jinotepe, que es el caso que se ha tomado como ejemplo, quienes son los principales beneficiados a través de la buena gestión de las autoridades de la zona.

Por otro lado, tomando en cuenta el contexto que se vive en el planeta sobre la pandemia COVID 19, la que ha venido a exigir un mejor control y gestión de los recursos para tener una mejor disponibilidad de agua. El uso de programas como los usados en este proyecto son una herramienta más que importante para tener mejores controles de las redes del país, garantizando de esta forma un mejor trabajo en aras del cumplimiento del OD6 de las Naciones Unidas que dicta: “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”.

Por lo antes mencionado, este trabajo busca el fortalecimiento institucional al ser una ayuda innovadora que puede ser replicada a otros proyectos de ENACAL, mejorando así la forma de evaluar los proyectos nuevos antes de que sean construidos para dar una mejor respuesta a la población, un aporte a la comunidad, buscando que se superen las deficiencias del control de los sistemas de alcantarillado sanitario que se viven en las diferentes zonas del país.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Realizar una Metodología de la Evaluación de Redes de Alcantarillado Sanitario propuestos con ayuda de los softwares libres QGIS y EPA SWWM, aplicados al sistema de alcantarillado de la ciudad de Jinotepe, Carazo.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Digitalizar la información topográfica e hidráulica del sistema propuesto para la ciudad de Jinotepe, Carazo.
2. Presentar resultados finales de la Evaluación Hidráulica del sistema de alcantarillado sanitario propuesto para la ciudad de Jinotepe, Carazo con el software libre EPA SWWM 5.1.
3. Elaborar una base de datos en el software libre QGIS versión 3.0.3.
4. Realizar una metodología ejemplificativa de pasos requeridos para la evaluación hidráulica de un sistema de alcantarillado analizado.

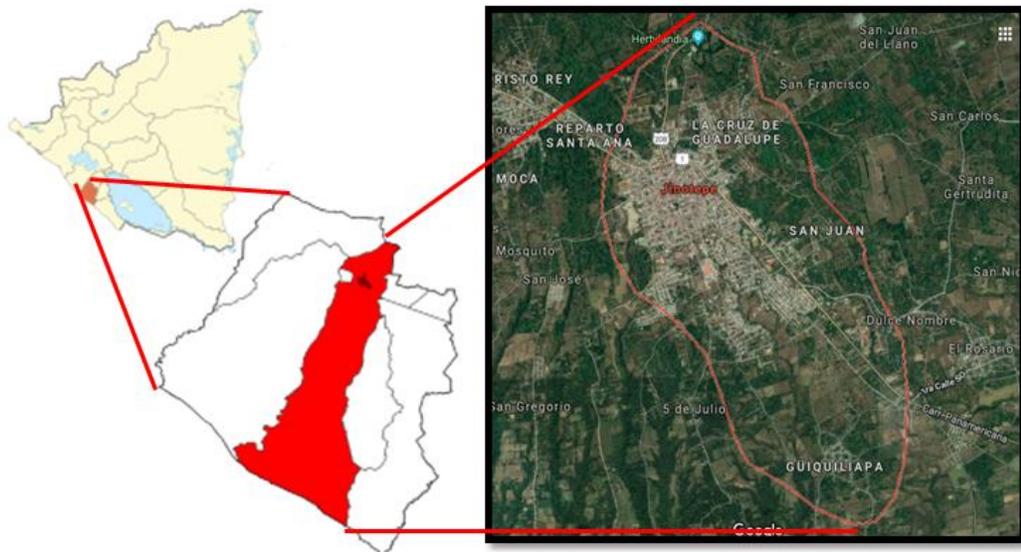
## II. Descripción del área utilizada como caso de estudio

### 2.1. Localización y límites geográficos

La ciudad de Jinotepe es la cabecera del departamento de Carazo, el cual está ubicado en la zona central de la Región del Pacífico, ocupando gran parte de la llamada Meseta de los Pueblos.

La ciudad de Jinotepe se localiza entre las coordenadas  $11^{\circ} 51'$  de latitud norte y  $86^{\circ} 12'$  de longitud oeste, encontrándose a 46 km de la ciudad de Managua y dentro del área de influencia metropolitana de esta última. Posee una extensión territorial aproximada de 938.48 Ha (9.38 km<sup>2</sup>). Limita al Norte con los municipios de San Marcos y Masatepe; al Sur con el Océano Pacífico; al Este El Rosario, Santa Teresa y La Conquista; y al Oeste con los municipios de Diriamba y Dolores. A continuación en la imagen 2.1 se puede apreciar la localización.

*Imagen 2.1. Macro y micro localización del proyecto*



*Fuente propia: Programa Google Earth.*

El sistema de alcantarillado propuesto de la ciudad está dividido en tres zonas, una que corresponde a la parte existente y las otras dos que son parte de la ampliación del sistema: Sector Central y Sector Bombeo. Estas dos últimas zonas son las que se

analizaron en este trabajo monográfico. A continuación, en la imagen 2.2 se aprecia la localización de ambas zonas.

*Imagen 2.2 Sectores de la Ampliación del Sistema de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe.*



*Fuente propia: programa QGIS 3.0.3*

## **2.2. Servicios básicos**

### **2.2.1. Abastecimiento de agua**

El sistema de agua potable de la ciudad utiliza como fuente de abastecimiento las aguas subterráneas de la zona. Este acueducto, al igual que otros de la Meseta de

Carazo, funciona como un sistema regional que brinda el servicio a los pobladores de la ciudad de Jinotepe, y también a comunidades rurales asentadas al sur, y principalmente a orillas de la Carretera Sur en el tramo hacia Nandaime.

El agua subterránea se extrae mediante diez (10) pozos perforados equipados con bombas sumergibles y de turbina vertical, con una producción estimada para el año 2014 de 385,174 m<sup>3</sup> promedio mensual de agua, estimándose que aproximadamente el 56 % del volumen producido constituye el Agua No Facturada (ANF).

Aunque la cobertura del sistema de agua potable se calcula en el 98.5%, la calidad del servicio que se presta a la población es deficitario, caracterizándose por su falta de continuidad, existiendo sectores que reciben agua durante pocas horas al día. El precario estado de la infraestructura y la configuración del sistema contribuyen a esta situación. Las instalaciones del acueducto son antiguas y no se han realizado ampliaciones o reforzamientos sustanciales. Las inversiones más recientes datan de la década de los años noventa.

### **2.2.2. Alcantarillado sanitario**

El sistema de alcantarillado sanitario existente, ha prestado servicio a 12,173 personas residentes en la zona central y la zona occidental de la ciudad hasta el 2015. Los habitantes de los barrios localizados en la parte Norte y Este carecen de este servicio, viéndose obligados a utilizar soluciones individuales (letrinas y sumideros) para la disposición de las excretas, vertiendo las aguas grises en patios, calles y cauces vecinos, que provocan un impacto negativo en el ambiente, exponiendo a múltiples riesgos sanitarios a la población.

El área de estudio del proyecto se refiere al área urbana de la ciudad de Jinotepe, cuyos límites geográficos se ajustan a los establecidos en el “Proyecto de Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la Ciudad de Jinotepe”. El área en cuestión tiene una superficie de 938.48 Ha, con tendencias de expansión hacia el Norte, al Noreste y Sureste de la ciudad, principalmente.

Hasta 2015, la ciudad de Jinotepe albergaba una población de 36,370 personas que habitan en 7941 viviendas. Analizadas las tendencias de crecimiento de la población observadas en los últimos veinte años, se ha estimado que a una tasa anual de crecimiento del 2.5%, a finales del periodo de diseño 2016-2037, la ciudad alcanzara una población de 62,614 habitantes, que aportaría un gasto de aguas servidas de unos 10,981 m<sup>3</sup> /d, es decir, unos 127lps.

El sistema de alcantarillado sanitario existente cubre parcialmente el área urbanizada, brindando el servicio a aproximadamente el 33.7% de la población que dispone de una conexión de agua potable. Para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, se dispone de las instalaciones de un sistema de Fosa-Filtro Anaeróbico, consistente en Tanques Imhoff seguidos de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).

### **2.2.3. Drenaje pluvial**

La ciudad cuenta con un buen sistema de drenaje pluvial que le permite la evacuación rápida de las aguas. La red de drenaje pluvial descarga mediante tuberías pluviales y canales hasta los cauces naturales que cruzan la ciudad.

En los barrios periféricos la situación es diferente, ya que estos en muchos casos no cuentan con esta infraestructura y las calles no son revestidas, generando problemas de inundación agravando aún más el problema.

### **III. Marco teórico**

#### **3.1. Guía metodológica**

##### **3.1.1 Concepto**

Se define como un “instrumento metodológico que contiene un conjunto de procesos educativos, conceptos, sugerencias e instrucciones para desarrollar de manera eficaz y sostenida diferentes actividades”.

También es el conjunto de principios pedagógicos, temas y pasos didácticos que deben tenerse en cuenta en un plan global de trabajo y hace referencia a algunos principios pedagógicos básicos que pueden ayudar en la toma de las decisiones para estructurar las distintas actividades que se llevarán a cabo.

En temas de evaluaciones hidráulicas para sistemas de alcantarillado sanitario, es importante conocer los procesos hidráulicos por los que pasan las aguas residuales a través de las tuberías por las cuáles son conducidas, además de conocer conceptos de hidráulica de alcantarillas, normativas utilizadas en el país y el método a utilizar, bien sea manual o con la ayuda de algún software. En este caso, es importante saber que el documento base a usar como criterio de evaluación seleccionado preliminarmente, será la Guía Técnica para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, y se hará uso de dos softwares detallados en este marco teórico.

Esta investigación es única en su clase, ya que, en nuestro país no existen guías oficiales de evaluación de los Proyectos que se realizan para el área de Agua y Saneamiento. A pesar de la poca disponibilidad de información acerca de trabajos con este énfasis, se pueden tomar algunas referencias para desarrollar una Guía Metodológica completa.

### **3.1.2 Importancia de las guías metodológicas**

Generalmente se asocia a las Metodologías con temas de Investigación, según el documento Generalidades sobre Metodología de la Investigación, de Manuel Cortés y Miriam Iglesias de la Universidad del Carmen en México, ésta es la ciencia que nos enseña a dirigir determinado proceso de manera eficiente y eficaz para alcanzar los resultados deseados y tiene como objetivo darnos la estrategia a seguir en el proceso.

Como se menciona anteriormente, con la ayuda de una Guía Metodológica se lograría realizar procesos de manera más eficiente, sean procesos operativos, de investigación, de producción, evaluación, etc. Tener una secuencia de procedimientos, permitiría una idea más clara de qué acciones realizar, cómo hacerlas, en qué momento y que recomendaciones dar en base a los resultados que se obtengan de dichas acciones.

### **3.1.3 Estructura de una guía metodológica**

La estructura de toda guía debe sostener y dar movilidad al desarrollo de capacitación y proporcionar los elementos básicos que garanticen la coherencia e identidad del proceso de acuerdo al plan y permitir la flexibilidad del diseño y la realización de las actividades. Esto quiere decir, que el proceso a determinar debe llevar una secuencia que abarque todos los aspectos que necesitan ser evaluados, además de determinar la finalidad del proceso y el beneficio del mismo.

Tomando como referencia la Guía Técnica para la elaboración de Manuales de Procedimientos, elaborado por la Universidad Veracruzana en el año 2004, podrían tomarse en cuenta los siguientes elementos para la elaboración de una Guía Metodológica, aunque cabe resaltar que con la realización del proceso de Evaluación, podrían definirse más o menos aspectos a tomar en cuenta que podrían hacer un mejor documento que abarque más puntos o procedimientos.

#### a) Introducción

Se refiere a la explicación que se dirige al lector sobre el panorama general del contenido del manual, de su utilidad y de los fines y propósitos que se pretenden cumplir a través de él. En síntesis, la introducción deberá:

- Señalarse el objetivo del documento.
- Incluir información acerca del ámbito de aplicación del documento.
- Ser breve y de fácil entendimiento.

#### b) Objetivo(s) de la guía metodológica

El objetivo deberá contener una explicación del propósito que se pretende cumplir; siendo lo más concreto posible y con una redacción clara y en párrafos breves; además, la primera parte de su contenido deberá expresar qué se hace; y la segunda, para qué se hace.

#### c) Guía metodológica

Constituye la parte central o sustancial, se integra por los siguientes apartados:

- **Propósito:** Describe la finalidad o razón de ser de la guía o bien que es lo que se persigue con su implantación.
- **Alcance:** Se describe el ámbito de aplicación de la guía, es decir, a que áreas involucra y que actividades, así como a qué no aplica.
- **Referencias o bibliografía:** Se enlista la documentación de apoyo que se utiliza: Manuales, Normatividad, etc.
- **Definiciones:** Son los términos de uso frecuente que se emplean con sentido específico o restringido en comparación al conjunto de definiciones del diccionario.
- **Descripción de actividades:** Es la narración cronológica y secuencial de cada una de las actividades concatenadas, que precisan de manera sistémica el cómo realizan una función o un aspecto de ella.

- d) **Anexos:** Son documentos de apoyo o adicionales de consulta que se deben tomar en cuenta al momento de llevar a cabo una actividad o trámite dentro del procedimiento.

Estos aspectos son abordados en la forma de la tesis original, por lo que no se considera estrictamente necesario volver a elaborarlos.

### **3.2 Sistema de alcantarillado sanitario**

El diseño de un sistema de alcantarillado requiere el conocimiento de los principios de hidráulica que se aplican al escurrimiento de los líquidos en conductos sin presión cerrada o abierta, es decir que las aguas residuales escurren dentro de las alcantarillas por gravedad. Sin embargo, en algunos casos y dependiendo de algunas condiciones topográficas pueden utilizarse eventualmente sistemas a presión por tramos cortos.

#### **3.2.1. Manejo de información de redes de alcantarillado sanitario**

Con este aspecto, se refiere a la disponibilidad de los datos relativos a cualquier proyecto de alcantarillado sanitario, lo que tiene una gran relevancia tanto para empresas estatales como privadas, para que puedan saber con exactitud el sitio donde se cuenta con este servicio, la ubicación exacta de la red bajo tierra, dimensiones, además de aspectos hidráulicos del mismo.

#### **3.2.2 Alcantarillado sanitario**

Tomando como base el documento elaborado por la Ing. María Elena Baldizón Aguilar, titulado “Apuntes de Ingeniería Sanitaria”, el Alcantarillado Sanitario se define como el conjunto de conductos, estructuras, instalaciones, equipos y elementos destinados a coleccionar, transportar o elevar por bombeo, las aguas u otros residuos líquidos para disponerlos adecuadamente de manera segura.

Los sistemas de alcantarillado, tienen como función el retiro de las aguas que ya han sido utilizadas en una población y por ende contaminadas, estas aguas reciben el nombre genérico de “aguas residuales”; también sirven para retirar las aguas

pluviales. El alcantarillado consiste en un sistema de conductos enterrados llamados alcantarillas.

La red de alcantarillado sanitario se considera un servicio básico, sin embargo la cobertura de estas redes en las ciudades de países en desarrollo está en íntima relación con la cobertura del agua potable. Esto genera importantes desarrollos para hacer frente a la problemática sanitaria.

### **3.2.3 Tipos de alcantarillado sanitario**

Principalmente existen dos tipos de sistemas de recolección: para aguas negras o aguas servidas y para las aguas de lluvia. Estas pueden ser separadas o combinadas, en el primer caso, las aguas servidas son conducidas de manera independiente de las aguas pluviales, en el segundo caso, ambos caudales de conducen en la misma tubería. Por otro lado, según las estructuras de registro, tipo de conexión domiciliar, diámetros, coberturas y ubicación de tuberías en los sistemas de redes se conocen cuatro tipos: Sistema convencional, alcantarillado condominial, Redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos y Redes de alcantarillado simplificado.

En esta investigación se abordarán los dos primeros debido a que fueron los utilizados en la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Jinotepe y a la vez, son los tipos de sistemas más utilizados a nivel nacional, cabe señalar que para el Alcantarillado Sanitario simplificado y las redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos el concepto usado en esta investigación es el mismo, sin embargo se recomienda se aborde en otra investigación.

#### **A. Alcantarillado convencional**

Son los sistemas tradicionales utilizados para la recolección y transporte de aguas residuales o lluvias hasta los sitios de disposición final, es el más utilizado en Nicaragua, está compuesto por tuberías, pozos de visita y conexiones domiciliarias con una caja de registro en cada vivienda. Todas las tuberías se diseñan únicamente para que pasen por la red pública en las calles.

- **Conexión domiciliar:** Son estructuras que transportan el agua residual doméstica desde la vivienda hasta la alcantarilla principal, la conexión domiciliaria consiste en una caja de registro (dentro o fuera de la edificación), una tubería de servicio y una conexión con la alcantarilla principal (puede ser con Tees, codos etc.).
- **Conductos:** Conjunto de tuberías que funcionan como conductos libres, reciben la contribución de las aguas recibe las aguas residuales en cualquier punto a lo largo de su longitud. Dependiendo de su ubicación pueden clasificarse en:
  - a. **Lateral:** Colecta las aguas de la vivienda, pero no recibe agua de otro conducto.
  - b. **Colector secundario:** Colector domiciliario de diámetro menor a 150 mm (6") que se conecta con un colector principal.
  - c. **Colector principal:** Capta el caudal proveniente de dos o más colectores secundarios domiciliarios.
  - d. **Interceptor:** Colector que recibe la contribución de varios colectores principales, localizados en forma paralela y a lo largo de las márgenes de quebradas y ríos o en la parte más baja de la cuenca.
  - e. **Emisario final o evacuador:** Colector que tiene como origen el punto más bajo del sistema y conduce todo el caudal de aguas residuales a su punto de entrega, que puede ser una planta de tratamiento o un vertimiento a un cuerpo de agua como un río, lago o el mar. Se caracteriza porque a lo largo de su desarrollo no recibe contribución alguna.
- **Registros o bocas de visita:** Son estructuras que se ubican convenientemente (según Normas y Criterios de Diseño) y que permiten la inspección y mantenimiento de la red de recolección. Dependiendo del tipo de red y su ubicación pueden ser cilíndricas con un cono superior (pozos de visita) o cuadradas (cajas de registro) etc.
- **Estaciones de bombeo:** Bajo ciertas circunstancias, se hace indispensable el diseñar estaciones de bombeo para extraer las aguas servidas de un determinado sector el

cual no puede ser drenado por gravedad. En todo caso debe realizarse un estudio económico a fin de contemplar las posibles alternativas de diseño por gravedad, aún a costos iniciales significativamente mayores.

- **Tratamiento o disposición final:** El objeto del sistema de tratamiento y disposición de las aguas residuales es la eliminación de impurezas contenidas en la misma, remover materia orgánica y eliminar agentes productores de enfermedades y además proteger la calidad de los recursos hídricos de una región, nación o continente.

### **B. Alcantarillado condominial**

Este sistema comprende las redes de alcantarillado en las propiedades horizontales dentro de una cuadra; dicho en otras palabras, las redes en régimen de condominio se proyectan por los solares o patios de las viviendas, con el fin de disminuir al máximo la longitud de las redes internas (dentro de la vivienda) y externas.

El sistema básico de recolección está diseñado como un alcantarillado de redes simplificadas. La derivación en régimen de condominio dentro de cada cuadra consiste en una tubería superficial de 100 mm y por lo general con una pendiente mínima superior al 1%.

Como el alcantarillado en régimen de condominio dentro de una cuadra se construye a lo largo de propiedades privadas sucesivas, se debe contar previamente con el consentimiento de los dueños. Por este motivo es primordial realizar programas de educación sanitaria, higiene personal y participación comunal con el fin de promover el proyecto, explicar el sistema, convencer a los interesados y asegurar la participación de la comunidad en la construcción, el mantenimiento y la operación del sistema.

Sus componentes son:

- El condominio corresponde a un agregado de casas, que son atendidas por un mismo ramal de alcantarillado.

- El ramal condominal es la tubería que recolecta las aguas residuales de un conjunto de lotes vecinos dentro de una misma manzana, que descarga a la red pública en el punto más bajo del condominio. Corresponde a la conexión colectiva de un condominio. Tiene que ubicarse de manera que sea posible la recolección de las aguas residuales de las viviendas del condominio por gravedad, preferencialmente en áreas protegidas (interna en los lotes, jardines o aceras).
- Microsistemas. Este concepto está relacionado al fraccionamiento del sistema de colecta de agua residual del alcantarillado sanitario en pequeños subsistemas. El límite de los microsistemas debe ser ajustado a las cuencas y sub-cuencas naturales de drenaje de la localidad, para minimizar los costos de las estructuras de transporte de agua residual.
- Red pública condominal. Está constituida por el conjunto de tuberías ubicadas en los puntos más bajos del condominio (manzanas) y reciben las aguas residuales de ramales condominiales o conexiones domiciliarias. Se ubican preferentemente en área protegida o aceras.
- Luego de la red pública condominal, los componentes pueden ser iguales a los de una red convencional.

#### **3.2.4. Información de Alcantarillados Sanitarios**

Hablar de información de alcantarillado se refiere a la información técnico comercial que puede tener, la cual puede estar alojada ya sea en un software de información geográfica (SIG), información en planos o croquis, o aquella que por experiencia se pueda tener del tiempo que se tiene de trabajar a una empresa.

#### **3.3. Sistemas de información geográfica**

Un **Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS**, en su acrónimo inglés [Geographic Information System]) es una integración organizada de *hardware*, *software* y *datos geográficos* diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.

Existen algunos softwares que funcionan como SIG, que nos pueden ayudar a tener nuestra información en una base de datos de ellas mismas, y que pueden ser subidas a la nube, y poder visualizarlas desde cualquier parte del mundo. Ejemplo de estos, son QGIS y ArcGIS, uno es libre y el otro requiere licencia de paga, si se quiere tener información que no provoque problemas de control a futuro, es recomendable el QGIS, el que es gratis y de código libre.

Ejemplos de información que se almacena de sistemas de alcantarillados sanitarios en estos softwares son: Planos de tuberías, detalles técnicos y comerciales, plantas de tratamiento con todos los detalles constructivos, etc.

### **3.3.1. Información pública y privada que utilizan los softwares**

Dentro de los softwares puede haber información pública como también privada, a la que solo tienen acceso personal autorizado de la empresa administradora del sistema. También se pueden administrar información por medio de planos o fichas de campo, y otras las manejan solamente los que andan en el campo, ellos pueden ver todo lo que pasa en las tuberías y pozos de visitas y lugares de descarga.

La información completa siempre está limitada, por seguridad de la empresa o los involucrados en un proyecto, no se cuenta con el servicio de acceso a todo el público, lo que puede ser una limitante para cualquier persona, pero a la vez se constituye en una buena manera de proteger la información.

### **3.3.2. Funcionamiento de un sistema de información geográfica**

Estos funcionan como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos), que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un Sistema de Información Geográfica es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas

temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, para poder generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. **Localización:** Se permite preguntar por las características de un lugar concreto.
2. **Condición:** Se puede revisar el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
3. **Tendencia:** Se podría hacer una comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
4. **Rutas:** Se permite el cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. **Pautas:** Hay acceso a la detección de pautas espaciales.
6. **Modelos:** Hay posibilidades de hacer una generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los SIG es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

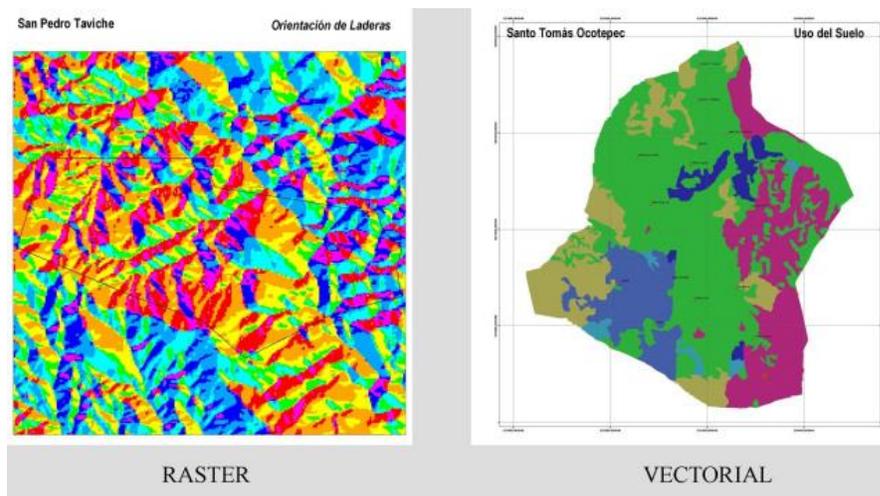
### **3.3.3. La creación de datos**

Las modernas tecnologías de estos sistemas, trabajan con información digital, para la cual existen varios métodos utilizados en la creación de datos digitales. El más utilizado es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital por el empleo de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georreferenciación.

### 3.3.4 Representación de los datos

Los datos representan los objetos del mundo real y se pueden dividir en dos abstracciones: Objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un Sistema de Información Geográfica: Ráster y vectorial. En la imagen 3.1 podemos ver ejemplos de este tipo de datos.

*Imagen 3.1 Ejemplos de datos de formato ráster y vectorial*



*Fuente:” Aplicación de Softwares libres en sistemas de Alcantarillado Sanitario en Nicaragua, tomando como estudio de caso el sistema de alcantarillado sanitario existente del casco urbano de la ciudad de Boaco en el período de octubre 2015 a mayo 2016”.*

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

Un ejemplo de datos raster para este proyecto son los mapas base de los programas donde las imágenes se muestran de manera pixelada para notar su resolución, mientras que los datos vectoriales son la representación gráfica de los PVS, tuberías, etc., donde la representación gráfica tiene una mejor resolución y contornos mejor formados.

### **3.4. Softwares libres con sistema de información geográfica a utilizar**

Una tesis elaborada en el año 2016 por el Ing. Ericks Lazo, titulada “Aplicación de Softwares libres en sistemas de Alcantarillado Sanitario en Nicaragua, tomando como estudio de caso el sistema de alcantarillado sanitario existente del casco urbano de la ciudad de Boaco en el período de octubre 2015 a mayo 2016”, un Software libre es aquel que respeta la libertad de los usuarios y la comunidad. A grandes rasgos, significa que los usuarios tienen la libertad de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software. Es decir, que en este caso es una cuestión de libertad y no de precio. Con estas libertades, los usuarios controlan el programa y lo que este hace. Cuando los usuarios no controlan el programa, decimos que dicho programa «no es libre», o que es «privativo». Un programa que no es libre controla a los usuarios, y el programador controla el programa.

#### *Las cuatro libertades esenciales*

Un programa es software libre si los usuarios tienen las cuatro libertades esenciales:

- La libertad de ejecutar el programa como se desee, con cualquier propósito (libertad 0).
- La libertad de estudiar cómo funciona el programa, y cambiarlo para que haga lo que usted quiera (libertad 1). El acceso al código fuente es una condición necesaria para ello.
- La libertad de redistribuir copias para ayudar a otros (libertad 2).
- La libertad de distribuir copias de sus versiones modificadas a terceros (libertad 3). Esto le permite ofrecer a toda la comunidad la oportunidad de beneficiarse de las modificaciones. El acceso al código fuente es una condición necesaria para ello.

El software libre ingresa al mercado sin restricción, elimina la dependencia y ofrece la libertad para que el operador decida cual se acopla mejor a sus condiciones de trabajo, no tiene costo alguno y se puede descargar desde cualquier sitio y en cualquier momento.

Con el software libre, podemos acceder a un manual para el usuario, referencia del manual (soporte técnico de software), guía de aplicación, ejemplos y videos que nos ayudan a la interacción operador-software dándonos una impresión de la facilidad de su uso además de la rapidez en generar resultados.

Esta investigación, está centrada en el uso de dos programas, EPA SWMM V5.1, para la modelación y evaluación hidráulica y QGIS V3.03, para la creación de una base de datos de las redes a evaluar, ambos con el propósito de tener la información necesaria para analizar, corregir y recomendar de la mejor manera.

#### **3.4.1. EPASWMM 5.1**

El modelo de gestión de aguas pluviales de la EPA (SWMM), cuyo funcionamiento puede ser conocido a través del sitio oficial de la Agencia de Protección Ambiental ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)), se utiliza en todo el mundo para la planificación, análisis y diseño relacionados con la escorrentía de aguas pluviales, alcantarillas combinadas y sanitarias y otros sistemas de drenaje en áreas urbanas. Hay muchas aplicaciones para sistemas de drenaje en áreas no urbanas también.

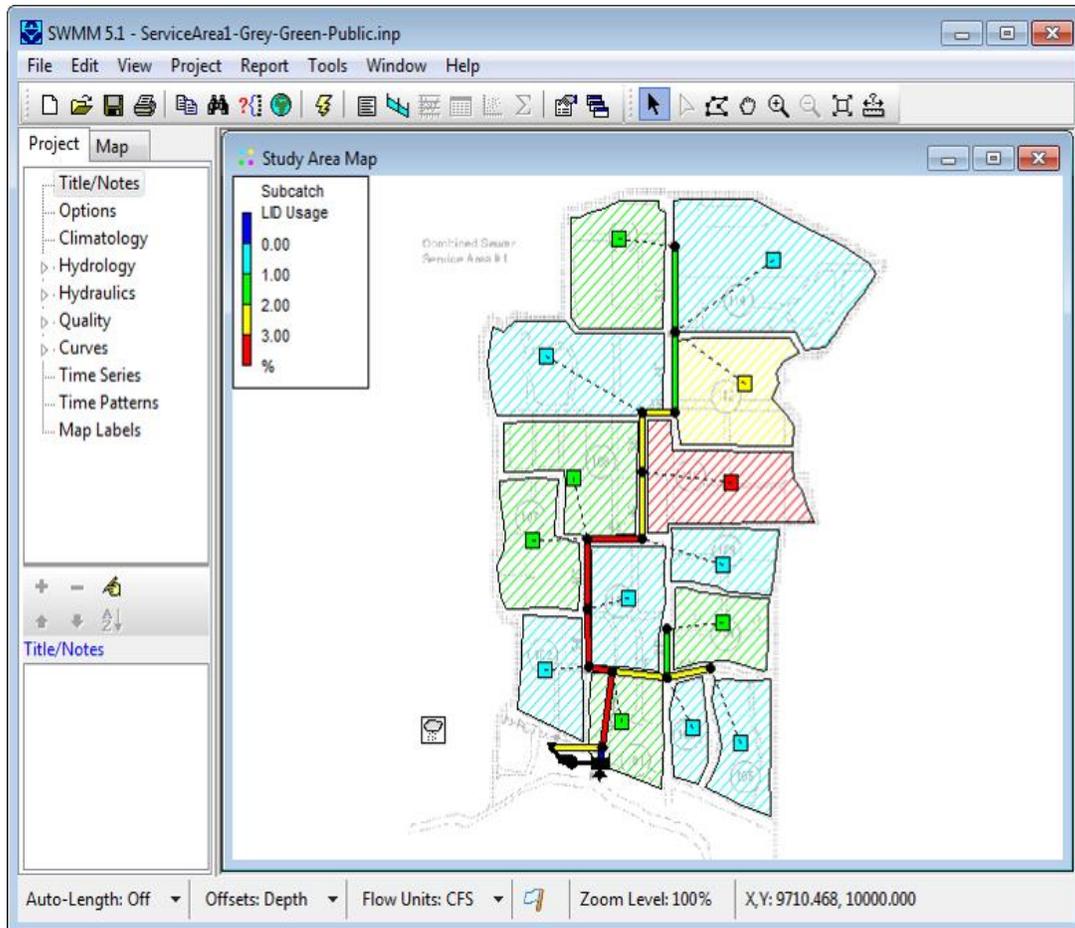
SWMM es un modelo dinámico de simulación de la calidad hidrológica-hidráulica del agua. Se utiliza para simulación de eventos únicos o de largo plazo (continua) de la cantidad y calidad de escorrentía de áreas principalmente urbanas. El componente de escorrentía opera en una colección de subcuencas que reciben precipitación y generan cargas de escorrentía y contaminantes. La porción de enrutamiento transporta esta escorrentía a través de un sistema de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento / tratamiento, bombas y reguladores.

SWMM rastrea la cantidad y la calidad de la escorrentía hecha dentro de cada subcuenca. Rastrea el caudal, la profundidad de flujo y la calidad del agua en cada

tubería y canal durante un período de simulación compuesto por múltiples pasos de tiempo.

La interfaz inicial del programa EPASWMM se logra apreciar en la Imagen 3.2. Los componentes de la interfaz serán abordados en el capítulo IV.

*Imagen 3.2 Ejemplo de pantalla de Edición del programa EPA SWWMM 5.1*



*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

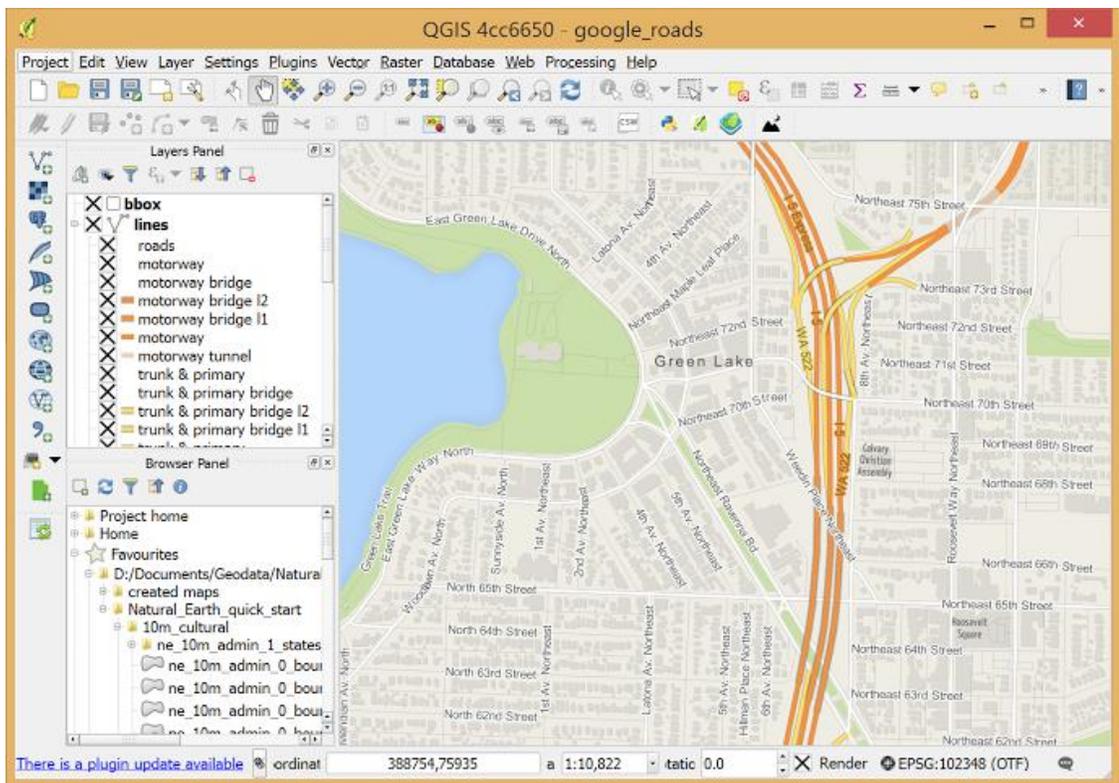
### **3.4.2. QGIS 3.0.3**

Es un software simple pero potente, que nos permite hacer análisis espacial y la caracterización de cuencas. QGIS es un Sistema de Información Geográfica de código abierto, que pretende ser un SIG amigable, proporcionando funciones y características comunes. El objetivo inicial del proyecto era proporcionar un visor de datos SIG. QGIS

admite diversos formatos de datos ráster y vectoriales, con el nuevo formato de ayuda fácilmente agregado usando la arquitectura del complemento. Este programa actualmente está adquiriendo un gran reconocimiento por su fácil uso, además, puede encontrarse un manual didáctico de uso en el sitio oficial del mismo programa ([www.qgis.org/es/site](http://www.qgis.org/es/site)).

La interfaz inicial del programa QGIS se logra apreciar en la Imagen 3.3. Los componentes de la interfaz serán abordados en el capítulo IV.

*Imagen 3.3 Ejemplo de pantalla de edición del programa QGIS 3.0.3*



*Fuente propia: Programa QGIS 3.03*

## **IV Diseño metodológico**

### **4.1 Tipo de investigación**

Esta investigación es del tipo analítica y explicativa, pues se pretende analizar un conjunto de datos, para poder determinar si estos, están previamente determinados de la manera correcta, a la vez, se explicarán los pasos que se siguen para hacer dicho análisis.

De igual forma, se tiene la intención de explicar los pasos a seguir para realizar lo anterior. Estos pasos serán expuestos de manera lógica y clara, a fin de que el lector comprenda lo que se pretende decir y sea capaz de realizarlo él mismo. A su vez, este trabajo se basa en una investigación mixta, pues se hace análisis cuantitativos y cualitativos de la información evaluada.

### **4.2 Métodos**

- Método bibliográfico: Mediante la recopilación de la teoría necesaria, en la bibliografía presentada, siendo un soporte científico para la investigación.
- Método de análisis: Este se utilizó para analizar y evaluar el sistema de alcantarillado propuesto, y explicar los principales resultados.

### **4.3 Técnicas e instrumentos de recopilación de información de datos**

Inicialmente, se hizo una investigación, para conocer la disponibilidad de los datos. Luego se escogió el caso a analizar y se obtuvieron, mediante investigación, la teoría, los documentos, registros, estudios realizados, planos, y toda la información competente. Para este caso, se creyó necesaria la realización de un levantamiento topográfico del lugar tomado como caso de estudio, pero estos datos se obtuvieron en la etapa de investigación de este trabajo monográfico.

## **4.4. Etapas de la investigación**

### **4.4.1 Planificación de la investigación**

El primer paso en este trabajo investigativo consistió en la recopilación, selección y análisis de la información bibliográfica relacionada con la evaluación del sistema de alcantarillado propuesto en la ciudad de Jinotepe, Carazo, este sistema se utilizó como caso de estudio para la aplicación y creación de la “Metodología de Evaluación de Sistemas de Alcantarillado Sanitario”, además de la investigación del uso de los softwares a tomar en cuenta. Esta base teórica sirvió de guía para enfocar adecuadamente el tema en estudio y su comprensión.

### **4.4.2 Trabajo de gabinete**

Esta etapa se concentró primeramente en la documentación acerca del tema, sus antecedentes, teoría involucrada, etc., luego, la preparación de los investigadores en el uso de los programas a tomar en cuenta. De igual forma, se analizó la información obtenida y se hizo la realización de hojas para la toma de datos en Microsoft Excel. Seguidamente se desarrolló la evaluación del sistema en el programa EPASWMM, tomando en cuenta los datos topográficos de los pozos de visita que conforman la red y los caudales que estos contienen.

Luego, se analizaron los datos obtenidos y se hizo una simulación de cómo corregir los problemas encontrados, con ayuda del programa QGIS donde se creó una base de datos del sistema se extrajo la información necesaria para realizar un nuevo cálculo y en todo caso redimensionamiento de las redes con el nuevo cálculo de caudales de una pequeña parte preseleccionada del sistema evaluado.

#### **4.4.2.1. Análisis**

En el proceso de análisis se pretendió procesar e interpretar los resultados obtenidos en el trabajo de gabinete, con el fin de presentar resultados, conclusiones y recomendaciones.

#### **4.4.2.2. Proceso informativo**

El proceso informativo es la presentación del estudio, para lo cual se presentan los resultados más relevantes de la investigación, además se puede presentar frente a otros compañeros, maestros y autoridades pertinentes, a quienes les servirá de primera mano este documento.

#### **4.4.3 Procesamiento de datos.**

En base a los datos recopilados y analizados del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Jinotepe, se trabajó con la información disponible para no solamente tener la información organizada, sino que, también poder contar con otros datos necesarios para ser introducidos en los programas a utilizar.

##### **4.4.3.1 Microsoft Excel**

Todo proyecto de alcantarillado sanitario debe contar con información digital para poder ser analizada antes, durante y después de ser construida. Como anteriormente se dijo, generalmente los diseñadores proveen la información en Microsoft Excel, AutoCAD y algún programa relacionado con el tema de aguas.

La información a levantar debe ser de índole topográfica, hidráulica y a la vez se debe contar con los datos de proyección de población y de caudales tomados en cuenta en el proyecto para una mejor revisión de los mismos. En este proyecto se levantaron los datos faltantes del Diseño de la Ampliación Sistema de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe. Previamente los datos disponibles eran:

##### **1. Información de tuberías**

- **Nodo Inicial:** Se refiere al Pozo de Visita Sanitario desde donde parte la tubería.
- **Nodo Final:** Pozo de Visita Sanitario a donde llega la tubería.
- **Elevación invertida de Nodo Inicial:** Se refiere a la elevación en msnm (metros sobre el nivel del mar) del fondo de la tubería aguas arriba.
- **Elevación Invertida de Nodo Final:** Elevación en msnm (metros sobre el nivel del mar) del fondo de la tubería aguas abajo.

- Longitud: Expresada en metros, extensión total de la tubería.
- Pendiente calculada: Es la diferencia de altura entre toda la longitud.
- Material: Puede ser de PVC, hierro, etc.
- n de Manning: Variante para el tipo de material de tubería usado.
- Diámetro: Expresado en milímetros.
- Velocidad: La distancia que recorre el agua residual por unidad de tiempo, en nuestro caso en metros por segundo.
- Depth / Rise o Capacidad: Expresada en porcentaje, es la ocupación de la tubería.
- Tractive Stress (Calculated) (Pascals) o Fuerza tractiva calculada.

## **2. Información de PVS**

No se contaba con información en Microsoft Excel de los Pozos de Visita, por lo que tuvo que hacerse una tabla de los datos extraídos de los planos en AutoCAD provistos, la información que debería ser recopilada es la siguiente:

- ID o nombre del PVS: Con la nomenclatura correcta, definiéndose está según el sentido del flujo.
- Profundidad: Es la distancia del fondo del PVS al Nivel de tapa.
- Nivel de tapa: Elevación de tapa del PVS.
- Niveles de entrada: Elevación de los niveles de entrada de las tuberías al PVS.
- Niveles de salida: Elevación de los niveles de salida de las tuberías al PVS.
- Coordenadas: Expresadas en UTM.

## **3. Información hidráulica**

La información de los cálculos hidráulicos solo se detalla en el informe final del diseño, en este se puede encontrar los cálculos de caudales para el sistema y la proyección de población. En hojas de Excel solo especifican:

- Caudal: Cantidad de aguas residuales que se conducen a través de la tubería por unidad de tiempo, en nuestro caso expresado en litros por segundo.

Además de este dato, se necesita conocer el caudal nodal o caudal entrante a cada pozo de visita, calculándose como:

$$Q_{nodal} = Q_{entra} - Q_{sale}$$

#### **4.4.3.2. AutoCAD**

La información encontrada del Sistema de alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe en cuanto a representaciones gráficas se refiere, abarca las redes en formato dwg, archivo de AutoCAD. Los planos originales contienen una amplia información, la cual fue de igual manera utilizada para crear la base de datos en Excel, ya que no se contaba con ningún registro de estos fuera de los planos.

Para mayor facilidad, el diseñador debería obtener y proveer la información la información topográfica o hidráulica del sistema, para evitar atrasos en el proceso de análisis por parte del evaluador.

En la información de los planos, se apreciaron los planos topográficos, planos generales, plantas-perfiles, ubicación, etc., debidamente georreferenciados. La revisión de dichos planos debe ser rigurosa, ya que a pesar de que se cuente con la información en alguna base de datos en otros programas, los planos son la herramienta utilizada para la construcción de los sistemas.

A pesar de contar con los planos originales, estos fueron mejorados en cuánto a la distribución de los elementos del dibujo por capas, depuración de elementos que no se utilizarían, unión de la ampliación en un solo archivo y además, se hizo una detallada revisión de los datos de cada dispositivo de inspección, esto con el fin de no tener información errónea en las siguientes etapas.

Se ordenaron los planos, ubicando los siguientes aspectos con los datos presentes en las hojas de base a utilizar:

- Tuberías diferenciadas por diámetros.
- Información de cada PVS y tubería.

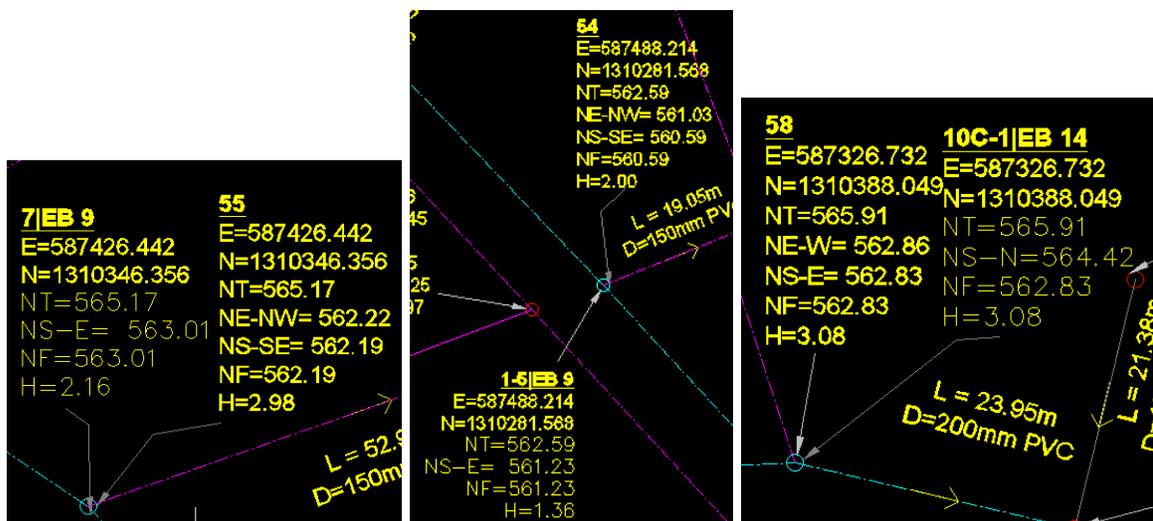
- Georreferenciación según coordenadas.

La falta de planos ordenados de manera correcta, lo que provocan es confusión en el personal involucrado, una información topográfica errónea en los planos constructivos, podría provocar grandes pérdidas económicas para el proyecto.

A la vez, se completó información no representada gráficamente, principalmente la hidráulica. Cabe recalcar que al hacerse la revisión de los planos se encontró algunos nombres para identificar los mismos, que no coincidían con los nombres utilizados en las tablas de datos hidráulicos con lo que se cuentan del proyecto.

Además, al hacer la unión de ambos sectores, se logró apreciar que aunque en ambos se utilizan pozos en común, al comparar la información tienen datos diferentes, sobre todo en las alturas de los pozos de Visita. Se presentan en la imagen 4.1, los pozos de visita con tal problema. Ejemplo de esto son los pozos 7|EB9 (sector bombeo) y el pozo 55 (sector central), como se logra apreciar tienen las mismas coordenadas, es decir que hablamos del mismo PVS, sin embargo la altura del pozo y los niveles son diferentes.

*Imagen 4.1 Pozos de visita con datos diferentes*



*Fuente propia: Programa AutoCAD*

#### **4.4.3.3. EPASWMM**

Como anteriormente se expresó, este programa fue utilizado para hacer la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado sanitario, en base a los planos y datos de diseño presentes en la base de datos elaborada en Excel. La modelación se abarcó por sectores separados y de igual manera, juntando tanto el sector de bombeo como el central. Se utilizó la versión 5.1 por ser un programa de fácil uso y amigabilidad para los tesisistas que elaboran este trabajo. Se tomaron en cuenta los siguientes pasos:

##### **A. Introducción**

A continuación, se presenta un paso a paso del uso del programa EPASWMM en su versión 5.1 aplicado a la Simulación de la red de Alcantarillado Sanitario Convencional y Condominial de Nicaragua, así como la línea de impulsión de la Estación de Bombeo de Aguas Residuales de la ciudad de Jinotepe, Carazo. Los pasos descritos están sujetos a cambios y variación según la actualización de las versiones del programa, de igual manera, el software está sujeto a requisitos legales de licencia del mismo por ser una marca registrada.

Tanto los datos utilizados, la información previa del sistema, los criterios técnicos, la forma técnica del uso del programa, los resultados obtenidos y su análisis han sido escritos, analizados y verificados por los autores bajo su capacidad técnica, sin embargo, se aclara que pueden existir mejoras en los pasos que a continuación se detallan.

Este paso a paso está basado en la experiencia de uso del programa y documentación elaborada referente al tema encontrada en la web con fines académicos, por lo que se especifica su uso y disponibilidad de mejoras.

SWMM se desarrolló por primera vez en 1971, habiendo experimentado desde entonces diversas mejoras. La edición actual, que corresponde a la 5ª versión del programa, es un código reescrito completamente a partir de ediciones anteriores. Funcionando bajo Windows, EPA SWMM 5.1 proporciona un entorno integrado que permite introducir datos de entrada para el área de drenaje, simular el comportamiento

hidráulico, estimar la calidad del agua y ver todos estos resultados en una gran variedad de formatos.

## **B. Creación de un nuevo proyecto en EPASWMM 5.1.**

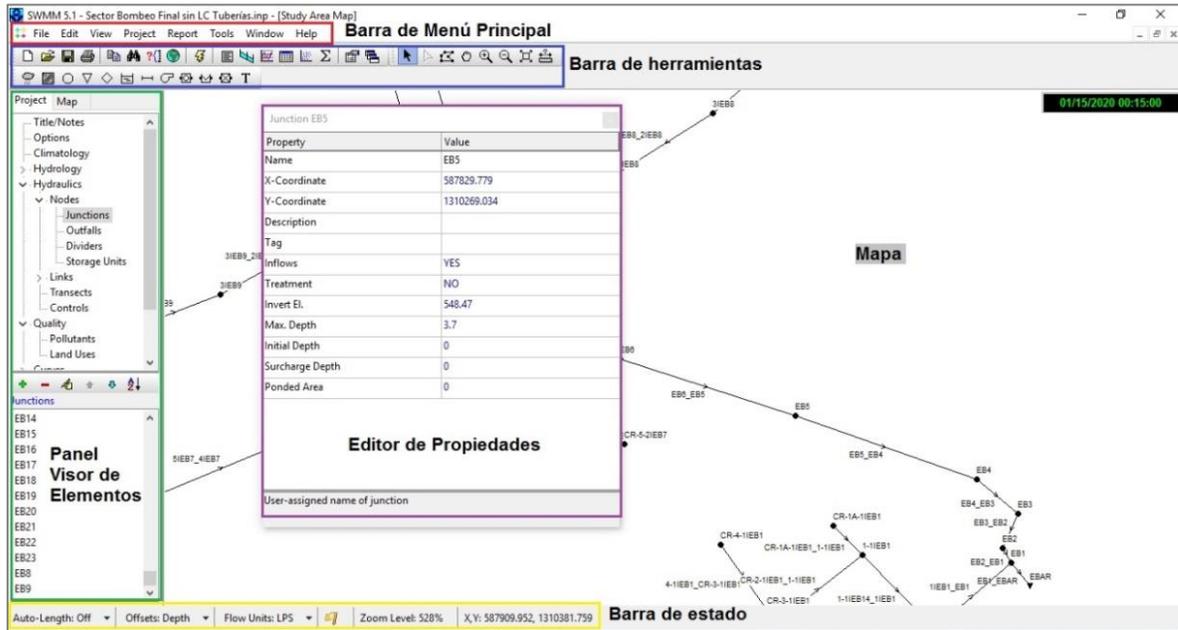
### **a) Uso de la interfaz del programa.**

El programa EPASWMM cuenta en su interfaz con 6 secciones, como una gran parte de los programas del tipo, a manera general, se usa:

1. Barra de menú principal: es la sección de la interfaz donde se puede configurar de manera general el proyecto y las herramientas.
2. Barras de herramientas: En este espacio se encuentran las opciones para dibujar en nuestro proyecto, en general, están las opciones de añadir nuevos elementos, herramientas de búsqueda, etc.
3. Panel visor: Básicamente funcionan como información de los elementos del proyecto, se puede no solo visualizar la lista de cada elemento, también las opciones de representación en el mapa, los detalles hidráulicos e hidrológicos, etc.
4. Mapa: Espacio de dibujo del proyecto, configurable en su tamaño.
5. Barra de estado: Contiene información geográfica del proyecto, desde aquí también se pueden configurar algunas opciones de las unidades de medida.
6. Editor de propiedades: En este se puede configurar las características de los elementos del proyecto.

En este caso, la interfaz del programa es genérica para todos los proyectos, no configurable, esta se presenta en la Imagen 4.2.

## 7 Imagen 4.2. Interfaz de EPASWMM



Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1

### b) Creación de un nuevo proyecto en EPASWMM

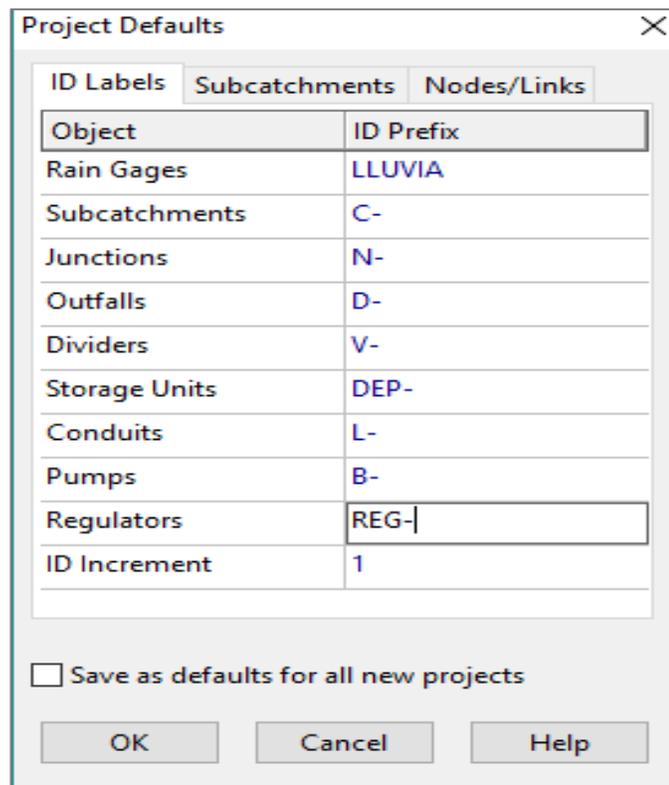
Para trabajar en EPASWMM automáticamente se crea un nuevo proyecto desde que el usuario abre el programa, este proyecto se guarda generalmente como un archivo de formato inp, que incluye todas las características y modificaciones hechas tanto al programa como al proyecto en estudio. Los pasos que se seguirán en esta simulación son:

- Especificar un conjunto de opciones de trabajo y de propiedades de los objetos por defecto.
- Dibujar una representación gráfica de los objetos físicos del sistema que se va a estudiar.
- Editar las propiedades de los objetos que componen el sistema.
- Ejecutar la simulación.
- Ver los resultados de la simulación.

## b.1) Configuración del nuevo proyecto

A pesar de que se crea un proyecto nuevo, este debe ser configurado de acuerdo a las opciones que se desean tener. Inicialmente se configura para que el programa automáticamente etiquete todos los objetos nuevos con números consecutivos después del prefijo correspondiente especificado, esto se hace en la pestaña *Project* en la opción *Defaults* en la Sección de *ID Labels*. A continuación, en la imagen 4.3 se presenta el ejemplo para cuando queremos un proyecto nuevo, sin embargo, ya que los PVS, Cajas de Registro y demás dispositivos llevarán nombres predeterminados por los datos del proyecto iniciales, no se hizo esta configuración:

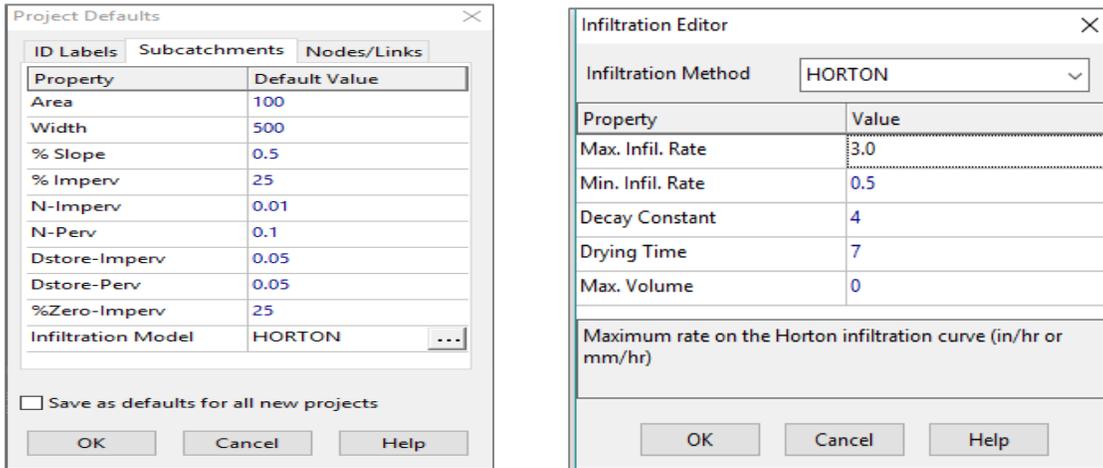
Imagen 4.3. Configuración inicial de un Proyecto de EPASWMM – ID Labels



Fuente propia: EPASWMM 5.1

A continuación, se configuran los valores por defecto para las cuencas, en este caso, de igual forma se dejaron los valores por defecto del programa, los cuáles se pueden visualizar en las imágenes 4.4:

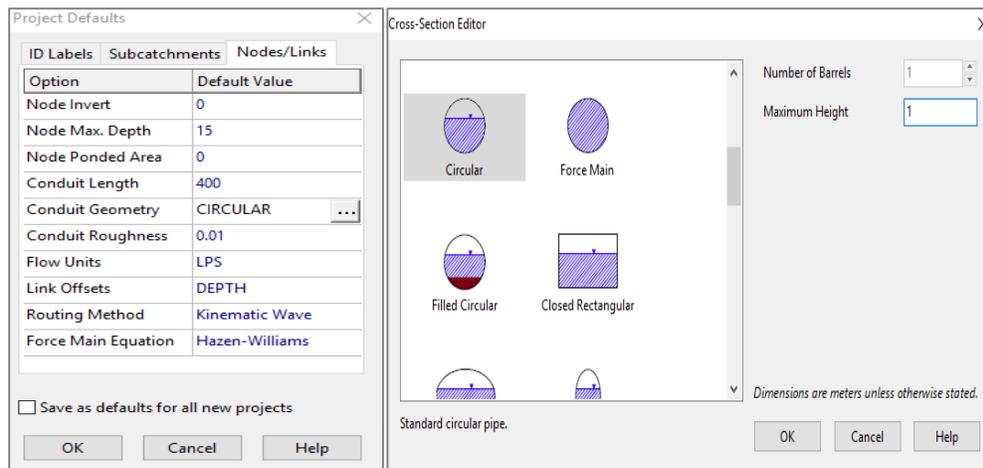
Imagen 4.4. Configuración inicial de un Proyecto de EPASWMM – Subcatchments



Fuente propia: EPASWMM 5.1

Y en último lugar se configuran los datos para los nodos (PVS y CR) y las tuberías, donde podemos configurar los valores máximos para dichos elementos, así como la forma de cálculo y la sección transversal de los conductos, luego se pulsa en Aceptar y se continúa trabajando en el proyecto, en la imagen 4.5 se pueden ver los cuadros de diálogo mencionados.

Imagen 4.5. Configuración inicial de un Proyecto de EPASWMM – Nodes y Junctions



Fuente propia: EPASWMM 5.1

## **b.2) Guardar el proyecto creado**

Para guardar el proyecto se busca la opción *Save* o *Save As* en la Barra de menú principal, en su opción *File*. Cuando el usuario guarda el proyecto, lo que guarda es el avance del proyecto y sobre todo la simulación hidráulica que se ha elaborado hasta el momento, es decir que cuando nuevamente se accede al archivo guardado en formato *inp* se visualizan los elementos del proyecto y las configuraciones realizadas.

Cabe señalar, que para este trabajo se hicieron por separado ambos sectores del Alcantarillado sanitario, es decir, por un lado, el Sector Central y por otro lado el sector Bombeo, esta consideración se hizo con el fin académico de facilitar el uso del programa. Luego se hizo una modelación conjunta, no influye en nada, debido a que en el sector central se tomó en cuenta el caudal producido en el sector Bombeo.

## **c) Elementos u objetos del proyecto**

A diferencia de otros programas, EPASWMM no trabaja por capas sino por elementos, esto quiere decir que en el panel visor de información el usuario puede seleccionar el elemento sobre los cuales quiere ver información en el panel inferior donde se muestra el listado de dichos elementos. En la imagen 4.6, se presenta el panel de selección de elementos que utiliza el programa.

Imagen 4.6. Panel Visor de Información



Fuente propia: EPASWMM 5.1

### c.1) Propiedades de los elementos u objetos del proyecto

Cada elemento requiere cierta información para garantizar que la simulación hidráulica sea correcta. Dicha información fue obtenida del primer parte de este proyecto, es decir, la creación de la base de datos de todos los elementos del Alcantarillado sanitario de la ciudad de Jinotepe. Para que el usuario pueda dibujar dichos elementos, puede encontrarlos en la barra de herramientas. A continuación, se describen los elementos del sistema y que elemento se usó para graficarse en el programa EPASWMM.

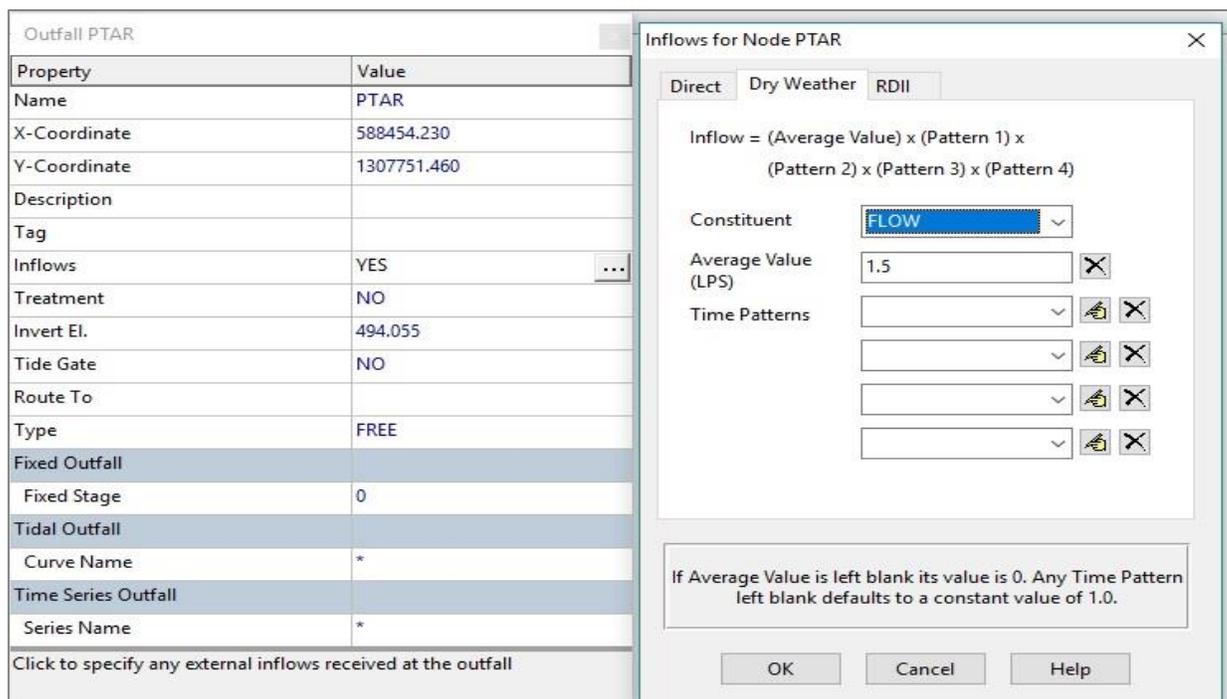
#### ➤ Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Debido a que la Planta de tratamiento de Aguas residuales es el último punto o punto de descarga de las aguas residuales que se conducen a través de la red de

alcantarillado sanitario, es el primer punto que se graficó, pues a partir de esta se dibujaron todos los conductos y dispositivos de inspección (PVS y cajas de registro).

Para simbolizarla se usó el elemento “outfall node” cuyo símbolo es “”. La información que se usó para dicho elemento básicamente consiste en sus coordenadas, la elevación invert de la tubería de entrada y el caudal nodal que consiste en aquel caudal que pueda infiltrarse en el lugar, puede ser aquel de las instalaciones sanitarias de la misma planta que en algunas ocasiones se puede conectar a los canales de acceso de la planta. La información que se introduce es la que se presenta en la Imagen 4.7.

*Imagen 4.7. Configuración Nodo de desagüe*



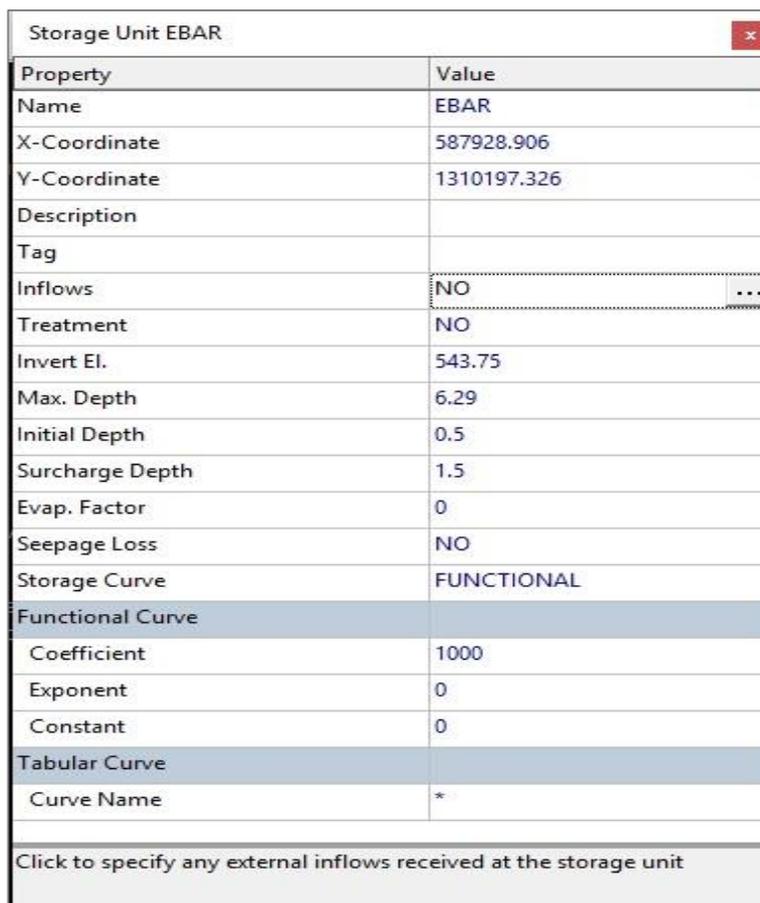
*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

### ➤ Estación de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR)

En este caso, una estación de bombeo funciona como un depósito al cuál llegan las aguas de un sector y son bombeadas a otro punto de la red. Se graficó la EBAR con

el elemento “storage node”, simbolizado por “”. La información que se usó para dicho elemento básicamente consiste en sus coordenadas, la elevación invert de la tubería de entrada, la altura total a la que puede llegar el agua en la estación (“max depth”), en este caso se usa un valor 6.29m según los planos de la EBAR, el valor “initial depth” se refiere a la mínima sumergencia de la EBAR, se usó un valor de 0.50m que fueron determinados por los diseñadores del proyecto en el Informe Final del mismo en la pga.44, el “surcharge depth” es aquella altura a la que las bombas de la estación empezarán a trabajar, se usó un valor de 1.5 según diseño de la EBAR. Para mayor ejemplificación, estos aspectos se detallan en la imagen 4.8.

*Imagen 4.8. Configuración nodo de almacenamiento o depósito*



Property	Value
Name	EBAR
X-Coordinate	587928.906
Y-Coordinate	1310197.326
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	543.75
Max. Depth	6.29
Initial Depth	0.5
Surcharge Depth	1.5
Evap. Factor	0
Seepage Loss	NO
Storage Curve	FUNCTIONAL
<b>Functional Curve</b>	
Coefficient	1000
Exponent	0
Constant	0
<b>Tabular Curve</b>	
Curve Name	*
Click to specify any external inflows received at the storage unit	

*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

➤ **Pozos de visita, cajas de registro y accesorios.**

Tanto los pozos de visita del sistema Convencional, las cajas de registro del sistema Condominal y los accesorios en la línea de impulsión de la EBAR al Sector central, fueron creados con el elemento *Junction Node*, cuyo simbología en el programa es “”.

Los datos principales que requiere el programa para ellos son las coordenadas, la elevación invert de la tubería de entrada, la altura y el caudal nodal. Este caudal se introduce como en los demás elementos, en este caso, se conocían los caudales que pasaban a través de las tuberías, estos caudales son parte de la modelación hidráulica original hecha en el diseño. En la imagen 4.9 se pueden visualizar los aspectos esenciales para pozos de visita, cajas de registro y accesorios.

*Imagen 4.9. Configuración de Nodos: PVS, CR y Accesorios*

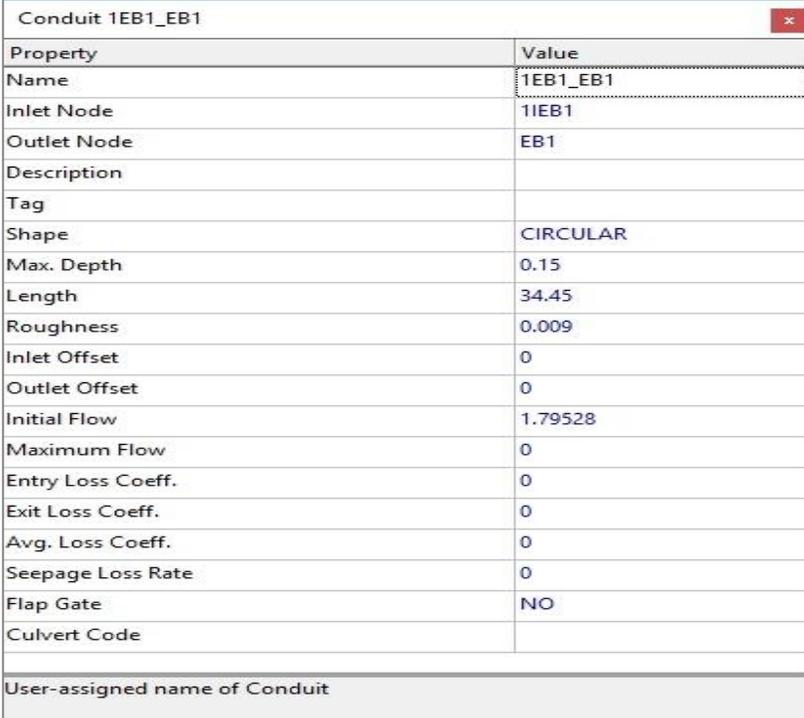
Junction EB1		Junction CR-1A-1IEB1		Junction LC4ValvAire	
Property	Value	Property	Value	Property	Value
Name	EB1	Name	CR-1A-1IEB1	Name	LC4ValvAire
X-Coordinate	587920.733	X-Coordinate	587845.697	X-Coordinate	587841.169
Y-Coordinate	1310207.004	Y-Coordinate	1310222.516	Y-Coordinate	1310130.074
Description		Description		Description	
Tag		Tag		Tag	
Inflows	YES	Inflows	YES	Inflows	NO
Treatment	NO	Treatment	NO	Treatment	NO
Invert El.	546.69	Invert El.	552.8	Invert El.	554.25
Max. Depth	2.23	Max. Depth	0.7	Max. Depth	0.25
Initial Depth	0	Initial Depth	0	Initial Depth	0
Surcharge Depth	0	Surcharge Depth	0	Surcharge Depth	0
Ponded Area	0	Ponded Area	0	Ponded Area	0
Optional category or classification		Optional category or classification		Optional category or classification	

*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

### ➤ Tuberías

Las tuberías del sistema son circulares, se dibujan en el sentido del flujo, tocando el nodo inicial hacia el nodo final. Para simbolizarlas se usa el símbolo “” y la información básica que se utilizó para las mismas fue su diámetro (“Max Depth”), longitud (“length”), el coeficiente de rugosidad según el tipo de material (“roughness”) y el caudal inicial (“initial flow”) que se encuentra presente en la modelación original del sistema. La información de las tuberías debe ser introducida como se ejemplifica en la imagen 4.10.

*Imagen 4.10. Configuración de tuberías*



Property	Value
Name	1EB1_EB1
Inlet Node	1IEB1
Outlet Node	EB1
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.15
Length	34.45
Roughness	0.009
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	1.79528
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
User-assigned name of Conduit	

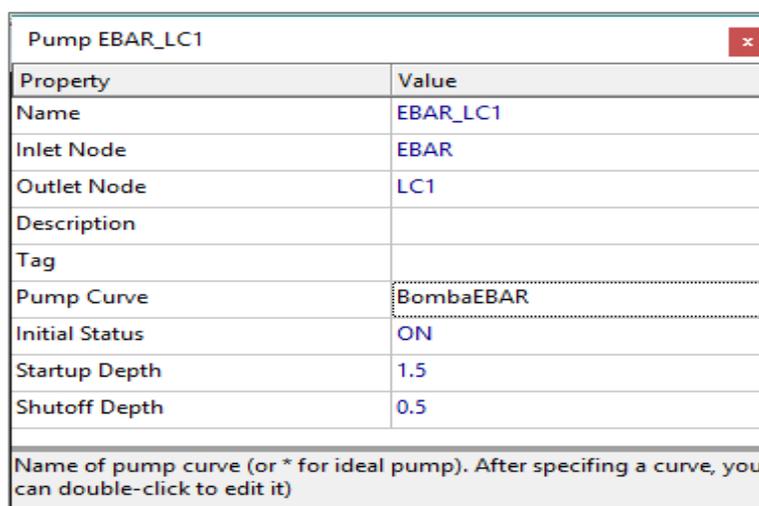
*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

### ➤ Equipo de Bombeo de la EBAR

Luego de pasar por la Estación de Bombeo en Lomas de Andalucía, el agua residual es bombeada a uno de los pozos de visita del Sector Central. Para poder transportar este caudal, se utiliza un sistema de bombeo 1+1, es decir, siempre trabajando una

bomba y la otra en reposo por cualquier emergencia. Dicho equipo de bombeo debe tener una capacidad de 62lps, con una potencia de unos 21.39hp y una Carga total Dinámica a vencer de 15.50m. Los datos usados en este elemento fueron los nodos inicial y final, los valores de paro y arranque de la bomba, además se puede asociar una curva de bomba al sistema, como podemos ver en la imagen 4.11.

*Imagen 4.11. Configuración de Bomba*



Property	Value
Name	EBAR_LC1
Inlet Node	EBAR
Outlet Node	LC1
Description	
Tag	
Pump Curve	BombaEBAR
Initial Status	ON
Startup Depth	1.5
Shutoff Depth	0.5

Name of pump curve (or \* for ideal pump). After specifying a curve, you can double-click to edit it

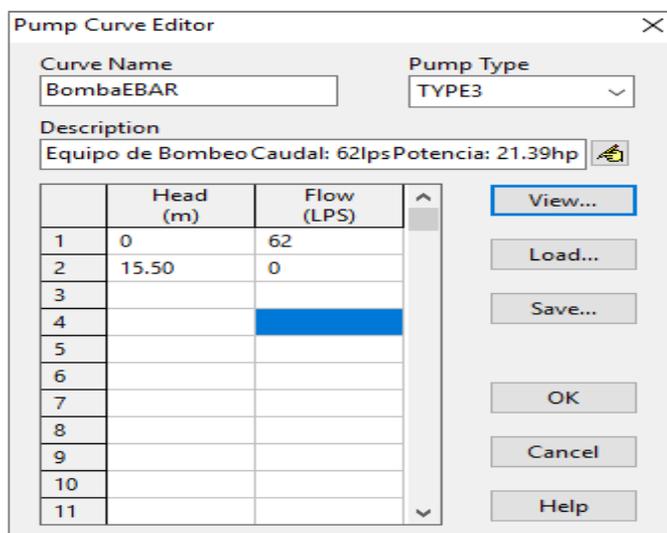
*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1.*

La curva de la bomba describe la relación que existe entre el caudal en la bomba y las condiciones de contorno en los nudos de entrada y salida de la misma, existen cuatro formas de representar el comportamiento de una bomba:

- Tipo I: En este caso, el caudal aumenta en relación al volumen de agua disponible en el pozo.
- Tipo II: El caudal aumenta en función de la profundidad del agua en el nodo de entrada.
- Tipo III: El caudal varía de forma continua con la diferencia de alturas entre los nodos de entrada y salida.
- Tipo IV: bomba con velocidad variable donde el caudal varía de forma continua con la profundidad del agua en el nudo de entrada.

En este proyecto se usará una del tipo III, donde únicamente asociaremos que cuando la diferencia de alturas es 0, es decir, debemos vencer la CTD, el caudal que debe bombearse es de 62lps y simulando que a diferencia de altura de 15.50m, ya no tenemos CTD a vencer, el caudal a bombear ya se hace 0, pues estamos en el nivel de paro de la bomba. Dicha curva de la bomba es algo muy aproximado y usado con fines académicos, es decir, no es una curva característica real. Para rellenar los datos, se da doble click en el campo a llenar de *Pump Curve*, inmediatamente se abre el siguiente cuadro de diálogo presentado en la imagen 4.12.

*Imagen 4.12. Configuración básica para curva de la bomba*



Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1

#### **d) Añadir información existente del proyecto**

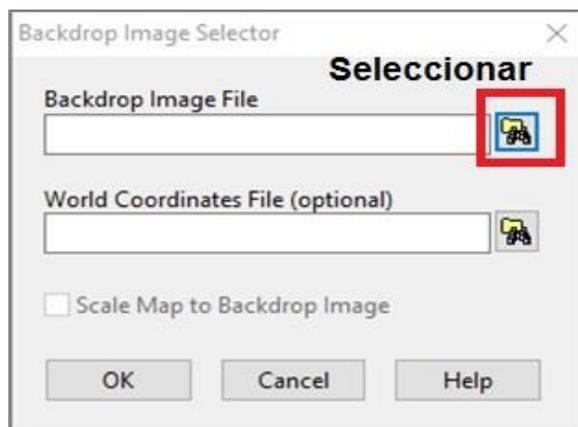
##### **d.1) Digitalizar planos impresos**

Para incluir información catastral de planos impresos o fichas catastrales levantadas en campo al EPASWMM, debe redibujarse el plano o croquis en el programa haciendo uso de las herramientas de edición presentadas en este apartado de uso del mismo. Para la ubicación geográfica correcta de los objetos espaciales a dibujar hay dos opciones, si se conocen las coordenadas los elementos, estos se dibujan de manera

normal añadiéndole sus características, en este caso, se hizo este trabajo para el sector central, línea de conducción y sectores aledaños a las EBAR.

Pero si se requiere que queden exactamente como en el plano, una buena solución es tomar una foto adecuada y añadirla como un fondo al programa. Para hacer esto, se da click en la barra de menú en *View, Backdrop y Load*, en esta opción se añade la imagen al fondo de nuestro proyecto. Se abrirá un cuadro de diálogo tal como se presenta en la imagen 4.13 y deberemos elegir el archivo en formato jpeg, bmp, emf, wmf, etc.

*Imagen 4.13. Añadir fotos como fondo de mapa*



*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1.*

En la misma ruta de acceso se puede modificar dicha imagen, dándole unas nuevas dimensiones o moverse a algún lugar del mapa. Cabe señalar que esta es una buena opción cuando queremos hacer un nuevo sistema, podemos añadir una captura del mapa de la ciudad para trabajar sobre esta. En este trabajo no se utilizó esta opción.

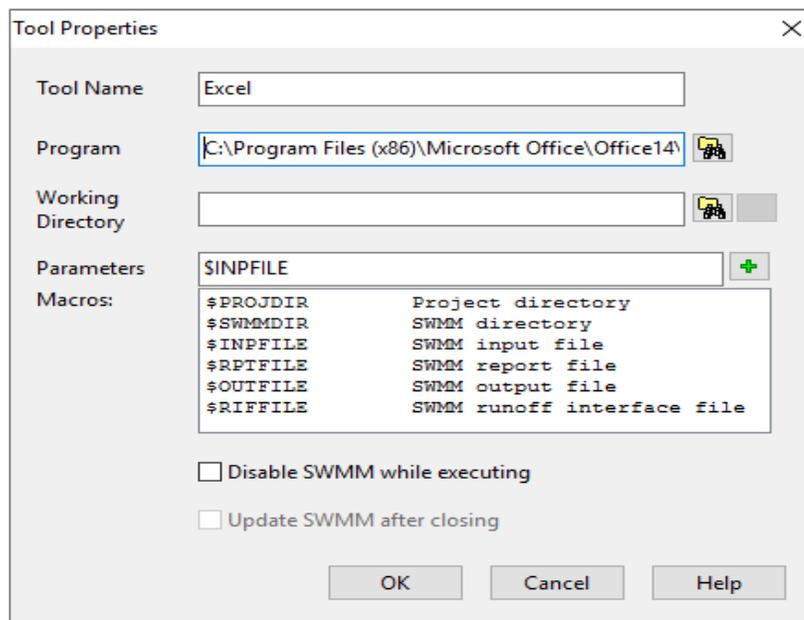
#### **d.2) Importar datos tabulares**

El primer paso de este trabajo consistió en crear una base de datos en Excel de los elementos del sistema de Alcantarillado de Jinotepe. Como anteriormente se dijo, la mayor parte del sistema se graficó para poder hacer la simulación hidráulica, pero de igual forma se pueden añadir datos provenientes de una tabla, para poder hacerlo,

inicialmente se debe añadir un complemento al programa, para que pueda exportar e importar los datos ya sea en un archivo como un bloc de notas o un Excel.

En la opción *Tools, Configure Tools*, se abrirá inmediatamente un cuadro de diálogo similar al de la imagen 4.14, el cual se debe configurar con la información que se necesita.

*Imagen 4.14. Añadir Complemento de Excel para añadir datos tabulares*



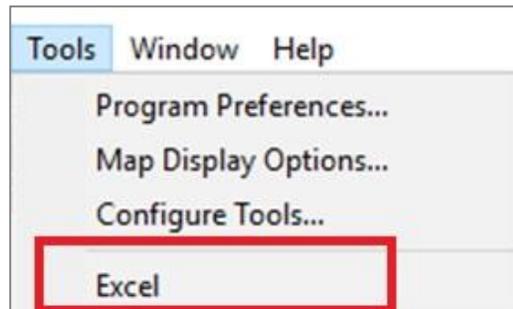
*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

Se debe llenar el nombre del programa y seleccionar \$INPFILE y agregarlo, pues el archivo de EPASWMM se guarda de esta manera, es decir, se busca crear en Excel un archivo que pueda ser compatible con el programa, el Excel se guarda con formato de *texto delimitado por tabulaciones*. La parte medular está en buscar el programa, que podría variar de ordenador a ordenador, en este caso, la ruta de acceso fue: C:\Program Files (x86)\Microsoft Office\Office14\EXCEL.EXE.

Luego de añadirse, se puede encontrar a Excel en los *Tools* de EPASWMM. Cuando das click en esta opción, automáticamente se abre un archivo de Excel editable. La

selección de Tools del programa presenta lo que hemos agregado, de la misma manera en la que se presenta en la tabla 4.15.

*Imagen 4.15. Excel como herramienta en el programa*



*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

Esta opción fue usada para ciertos tramos del Sector Bombeo, donde se exportó el archivo en Excel, se añadieron los PVS, CR, Tuberías, caudales, elevaciones, coordenadas y toda la información que el archivo exige para luego guardarse como *texto delimitado por tabulaciones*. Para importar nuevamente el nuevo archivo solo se arrastra al programa nuevamente y ya se grafican los elementos antiguos y nuevos, aunque generalmente debe configurarse desde el inicio las opciones del programa.

#### **e) Visualización de los elementos del proyecto**

Ya sea al iniciar o al finalizar la edición de los elementos, el usuario puede configurar la manera en la que se desean visualizar los elementos, estas opciones se encuentran en *Tools, Map display options*. En esta pestaña se pueden configurar la manera de visualizar los nodos, las tuberías, las etiquetas, el rotulado, símbolos, el tamaño de las flechas del flujo y el color del fondo del mapa.

Dicha configuración no requiere mucho trabajo, pues es a gusto del usuario, de acuerdo a la manejabilidad que necesita y la cantidad de información que desea que se visualice.

## f) Modificación de elementos

Para modificar alguno de los elementos, ya sea un nodo, una tubería, un depósito, etc. Lo único que debe hacerse es dar doble click sobre el elemento que desea configurarse o buscarlo en el panel de información y darle doble click. El usuario puede configurar toda la información y a la vez puede convertir los elementos de uno a otro. Esto se logra dando click derecho sobre el elemento que desea convertir, se abre un cuadro de diálogo como se presenta en la imagen 4.16 y en la opción Convert to, saldrán las opciones a las que el usuario puede convertir, esta opción es muy importante si ya se tiene toda la información en el programa, pero se puede equivocar al seleccionar el elemento.

*Imagen 4.16. Convertir elementos de un tipo a otro*



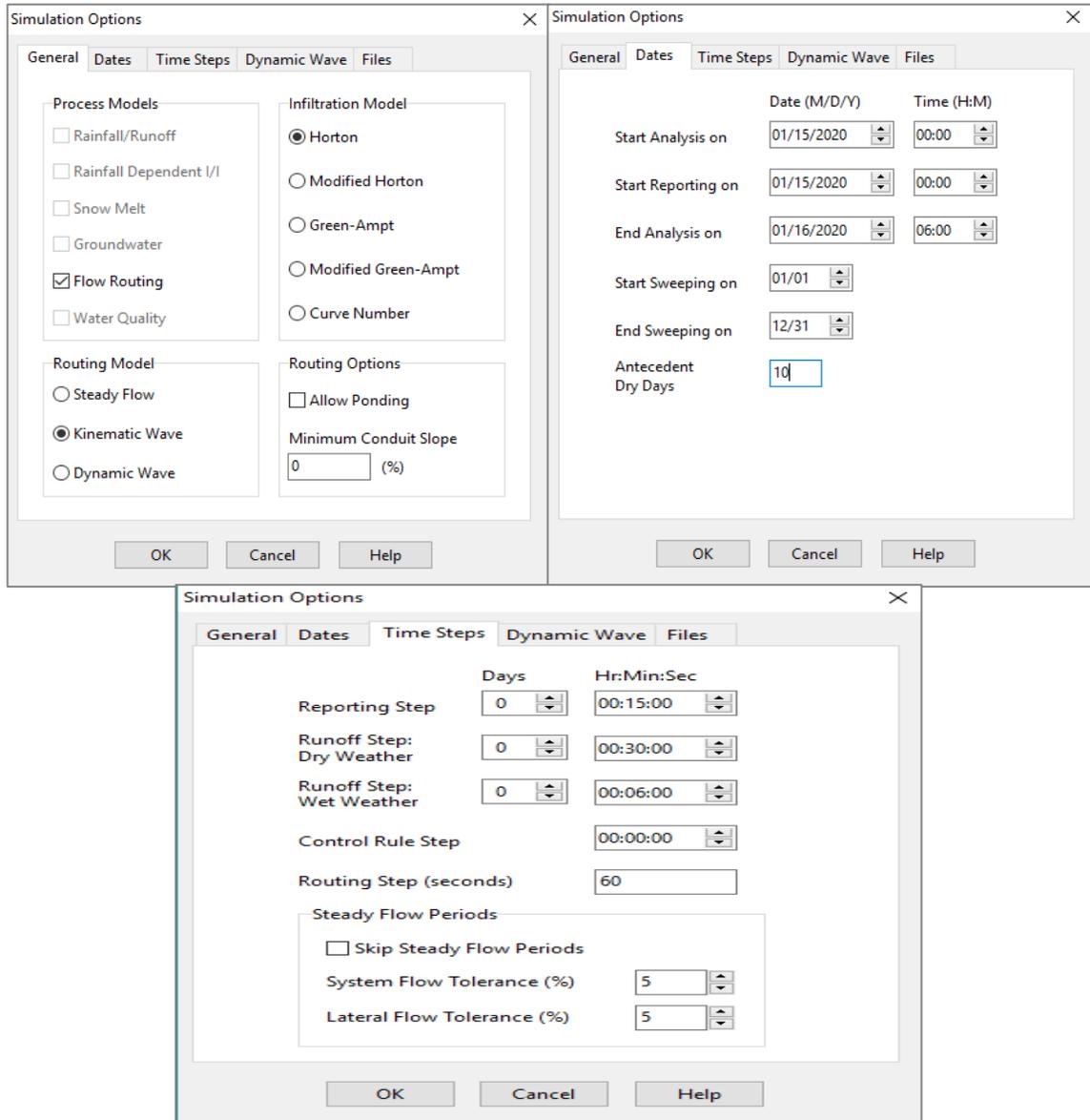
*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

## C. Simulación hidráulica

### a) Configuración general

Para configurar se da click en *Options* del panel visor de la información. Se pueden configurar diferentes aspectos de la simulación. A continuación, se presentan los datos usados en este proyecto. De manera general, en este espacio se configuran los espacios de tiempo en los que se hace la simulación, así como algunos datos predeterminados de análisis. Eso se puede visualizar mejor en la imagen 4.17.

Imagen 4.17. Configuración general para simulación hidráulica



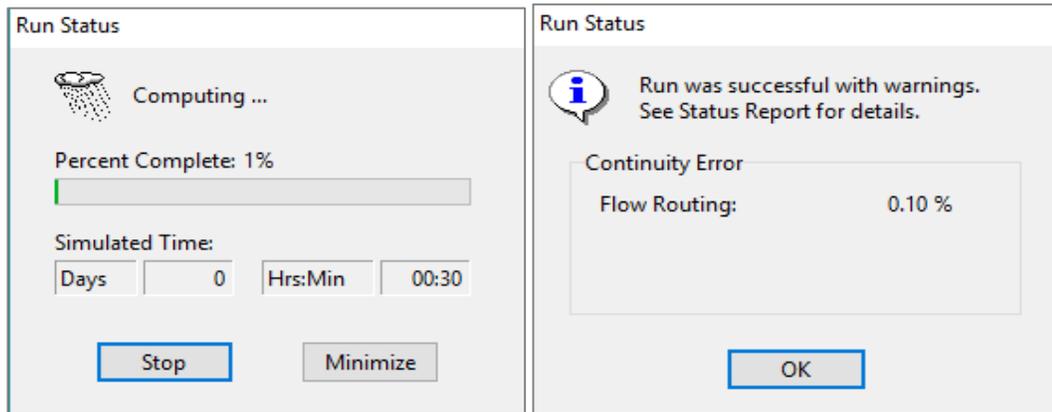
Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1

## b) Puesta en marcha de la simulación

Para empezar la simulación hidráulica, lo que debe hacerse es entrar a *Project, Run simulation*, o dar click en el ícono “⚡”, inmediatamente se empezará a correr la simulación hidráulica del sistema en un cuadro de diálogo donde se puede ver el

avance de la misma, al final se presenta otro cuadro de diálogo como se muestra en la imagen 4.18.

*Imagen 4.18. Puesta en marcha de simulación hidráulica*



*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

El recuadro de la imagen 4.17 muestra errores de continuidad en procesos hidrológicos y en procesos hidráulicos. Un error mayor a un 5%-10% indica que se debe hacer una revisión a los datos o elementos del alcantarillado y que los resultados de la simulación deben ser puestos en duda.

### **c) Revisión del Informe de estado**

El resumen de estado contiene un resumen de información muy útil relacionada con los cálculos de la simulación, para visualizar, se da click en *Report* y *Status*. El informe determina básicamente si la calidad de la simulación realizada es suficientemente buena, aunque pueden presentarse algunos errores comunes como:

- Errores de ID desconocido.
- Errores en la red del sistema de transporte.
- Errores de archivo.
- Errores por exceso de continuidad.
- Resultados inestables en el itinerario de flujo.

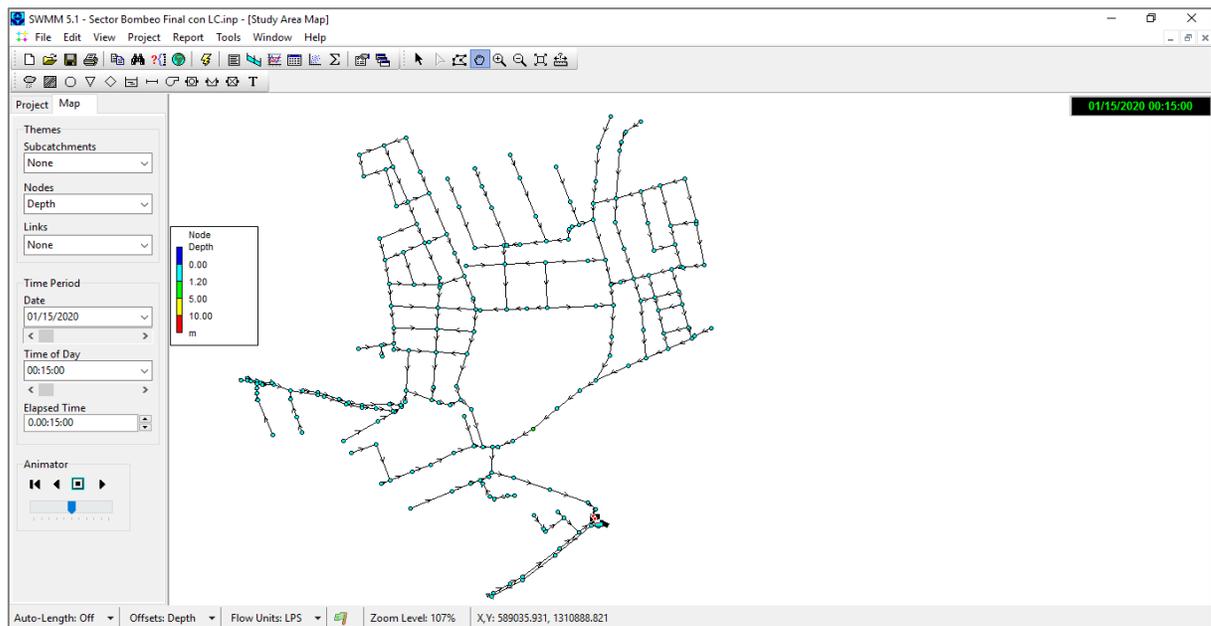
#### d. Aprovechamiento de los datos del proyecto en QGIS

##### ➤ Panel Maps

El programa le permite al usuario graficar los resultados de la modelación o representar los resultados en todo el mapa, esto puede lograrse en el panel de información, en la pestaña *Map*, donde el usuario puede determinar las opciones de visualización según colores y límites que desee, es de esta forma que el programa crea o simula una alerta del comportamiento de la red de dibujada, es decir, con colores el usuario puede saber que tramos presentan valores dentro o fuera de los rangos permisibles que deben ser introducidos al programa.

Un ejemplo, se les dio un color rojo a los PVS que exceden una profundidad de los 10 metros, amarillo a los que están entre 5 y 10 metros, verde a aquellos entre 1.20 y 5, celeste a los que sean menores de 1.20. Como se ve en la imagen 4.19 la mayoría tienen una altura menor o igual a 1.20 metros. Es de esta forma que se pueden hacer gráficos aproximados de la situación de la simulación.

*Imagen 4.19. Gráficos del mapa con la opción Map*

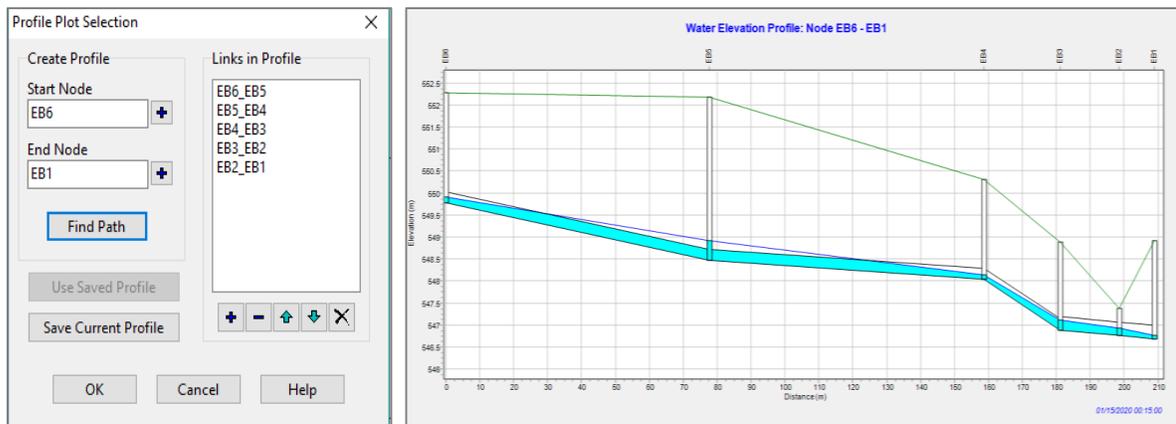


*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

## ➤ Gráficos.

El programa le permite al usuario graficar los resultados de la modelación o representar los resultados mediante gráficos, que pueden ser de la serie de tiempo, de perfil o de dispersión. El más usado en esta simulación fue el del perfil, donde se elige un conjunto de PVS continuos para que se grafique su sección transversal. Esto se encuentra en *Report, Graph y Profile*. Donde se deben elegir los Pozos de inicio del gráfico y el final, luego se presiona en *Find Path* y automáticamente el programa muestra todas aquellas tuberías que se encuentran sobre tal recorrido, se presiona ok y se crea un gráfico como se muestra en la imagen 4.20.

*Imagen 4.20. Perfil hidráulico de una sección*



*Fuente Propia: Programa EPASWMM 5.1*

## ➤ Tablas

El programa le permite al usuario graficar los resultados de la modelación o representar los resultados en tablas, estas se encuentran en la ruta de acceso *Report, Table, By variable* o *By object*. Esto significa que se pueden crear tablas ya sea por las variables hidráulicas, se elige todos los elementos para los cuales se quiere obtener los datos y se crea una tabla con los valores para estos o por los elementos, es decir que se crea una tabla de información para cada elemento. Objetos es igual a elementos, variables es igual a características.

En caso de querer obtener tablas en Excel la mejor manera es exportarla con la herramienta Excel que se añade como nueva *Tool*.

## **E. Imprimir y copiar el mapa**

Se puede imprimir lo que se ha hecho en el Mapa. Esto se puede configurar en *File, Page setup* y se puede imprimir en formato pdf. Se da en *File, print* y se puede obtener la representación de lo que se ha hecho en el Mapa.

### **4.4.3.4. QGIS**

#### **A. Generalidades**

El objetivo inicial fue elaborar la base de datos en el software libre QGIS, se utilizó la versión 3.0.3 debido a que esta versión es de amplia utilidad y facilidad de uso para los que elaboran este trabajo monográfico. El propósito es proveer a la delegación de un archivo que contenga la información específica de su sistema en un programa de fácil uso y donde con libertad se pueden hacer cambios a la información, modificaciones a los elementos graficados o ampliaciones a futuro al sistema, se tomaron en cuenta los siguientes pasos:

A continuación, se presenta un paso a paso del uso del programa QGIS en su versión 3.0.3 aplicado a la elaboración de una base de datos gráficos y de información de la una red de alcantarillado sanitario convencional y condominial de Nicaragua, aplicable de igual manera para información geográfica y catastral del sistema. Los pasos descritos están sujetos a cambios y variación según la actualización de las versiones del programa, de igual manera, el software está sujeto a requisitos legales de licencia del mismo por ser una marca registrada.

Tanto los datos utilizados, la información previa del sistema, los criterios técnicos, la forma técnica del uso del programa, los resultados obtenidos y su análisis han sido escritos, analizados y verificados por los autores bajo su capacidad técnica, sin embargo, se aclara que pueden existir mejoras en los pasos que a continuación se detallan.

Este paso a paso está basado en la edición original del equipo de desarrollo de QGIS Copyright y documentación elaborada referente al tema encontrada en la web con fines académicos, por lo que se especifica su uso y disponibilidad de mejoras.

## **B. Creación de un nuevo proyecto en QGIS 3.0.3**

### **➤ Uso de la interfaz del programa**

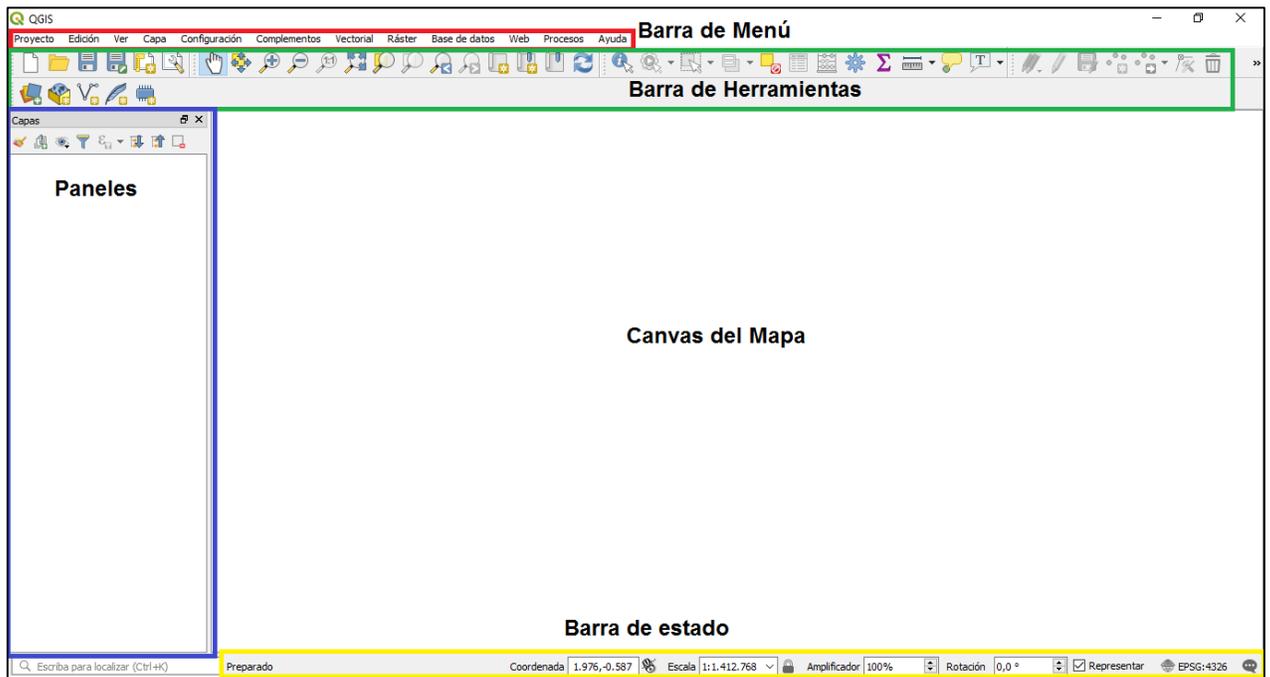
De manera general el programa QGIS, en su interfaz cuenta con 5 áreas o aspectos que engloban sus funciones, las cuales se utilizan en la creación y modificación de un proyecto como se muestra en la imagen 4.21:

1. Barra de menú: Es la sección de la interfaz donde se puede configurar de manera general en el proyecto y las herramientas que se van a utilizar.
2. Barras de herramientas: En este espacio se encuentran las opciones para dibujar en nuestro proyecto.
3. Paneles: Básicamente funcionan como información de los elementos del proyecto.
4. Canvas del mapa: Espacio de dibujo del proyecto.
5. Barra de estado: Contiene información geográfica del proyecto.

Cualquier usuario del programa puede configurar el interfaz de acuerdo a sus gustos y necesidades:

- Si desea añadir o quitar paneles del interfaz debe buscar en el menú “Ver” de la barra de menú la opción “Paneles” y marcar o desmarcar los paneles que se quieren agregar o quitar.
- Si desea añadir o quitar barras de herramientas debe buscar en el menú “Ver” de la barra de menú la opción “Barras de herramientas” y marcar o desmarcar las barras que se quieren agregar o quitar.
- Se puede acceder a la lista de paneles y barras de herramientas de manera más rápida y directa, haciendo clic derecho sobre la barra de menú. La parte superior de la lista que se abre corresponde a los paneles disponibles en QGIS y la parte inferior a las barras de herramientas.

Imagen 4.21. Interfaz de QGIS



Fuente propia: Programa QGIS

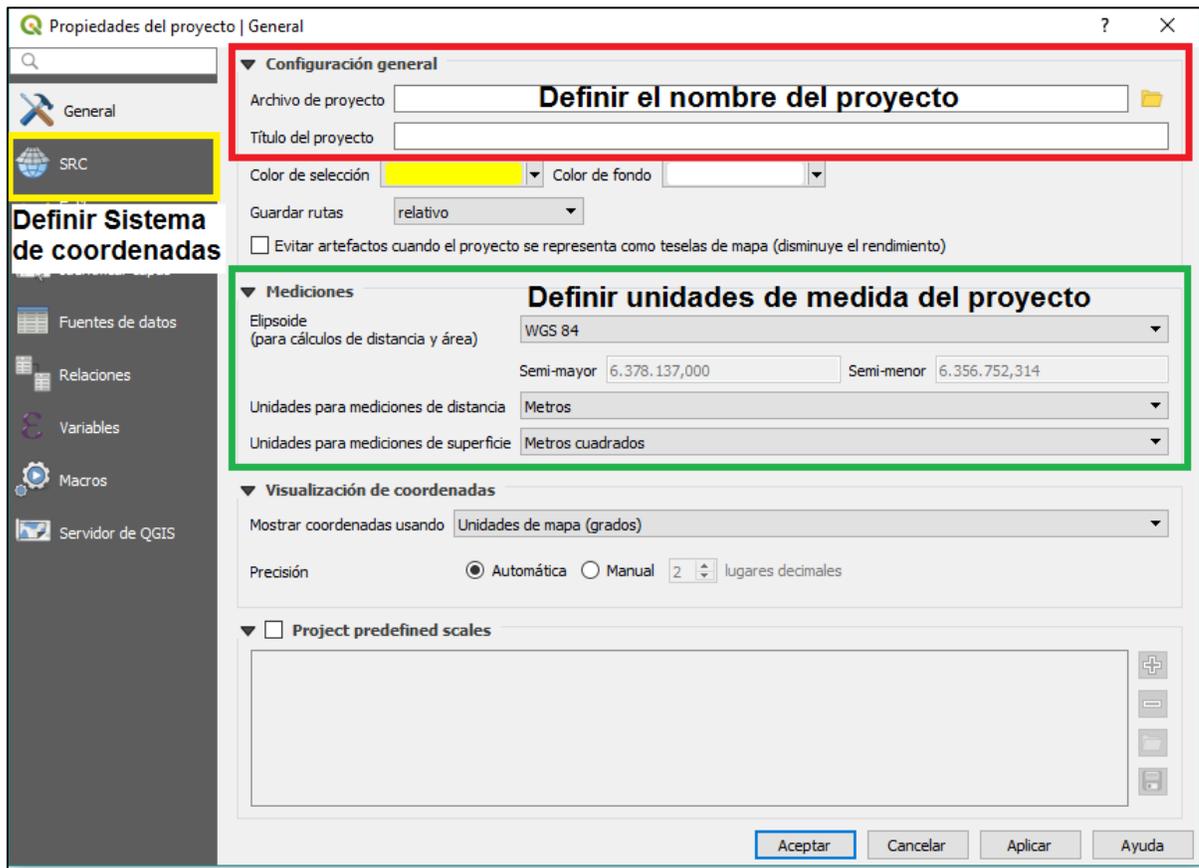
### ➤ Creación de un nuevo proyecto en QGIS

Para trabajar en QGIS debe crearse un proyecto QGIS, que no es más que una carpeta donde se guarda toda la información acerca de la ubicación de los archivos datos y como están representándose en el canvas del mapa. Este proyecto se guardó con toda la información que se añadió de manera ordenada como se muestra en la imagen 4.22.

#### ○ Propiedades del nuevo proyecto

Cuando el usuario abre QGIS, automáticamente se crea un proyecto nuevo, que debe ser configurado de acuerdo a las opciones que se desean tener. Inicialmente se puede entrar en la barra de menú, desde la opción *Proyecto* para abrir la ventana *Propiedades del proyecto*, dicha opción le permitirá al usuario nombrar el proyecto, definir el sistema de referencia de coordenadas y las unidades de la vista del mapa.

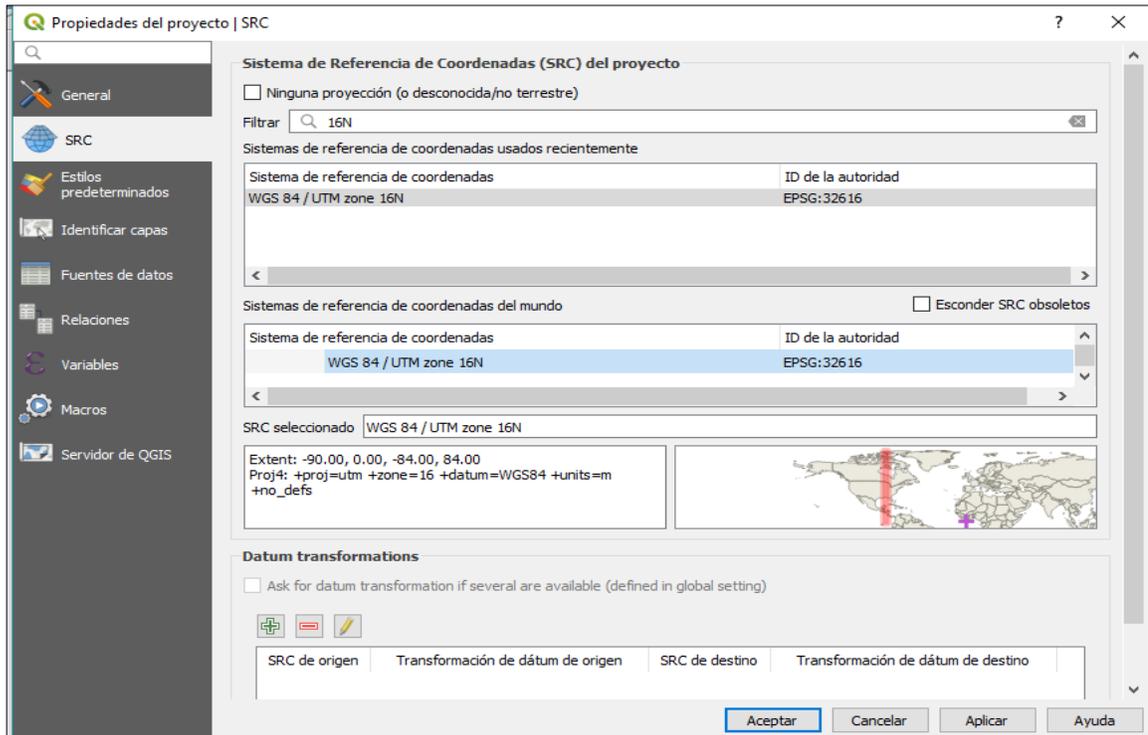
Imagen 4.22. Propiedades del nuevo proyecto



Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

Para definir el sistema de referencia de coordenadas (SRC) hay que cambiar a la pestaña SRC, donde se puede seleccionar un sistema de referencia de coordenadas. En este proyecto se usó el sistema de referencia de coordenadas **WGS 84 / UTM zone 16N**, por ser el de la ubicación del proyecto de estudio como se muestra en la imagen 4.23.

Imagen 4.23. Definir el sistema de referencia de coordenadas del programa.



Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

- **Guardar el proyecto creado**

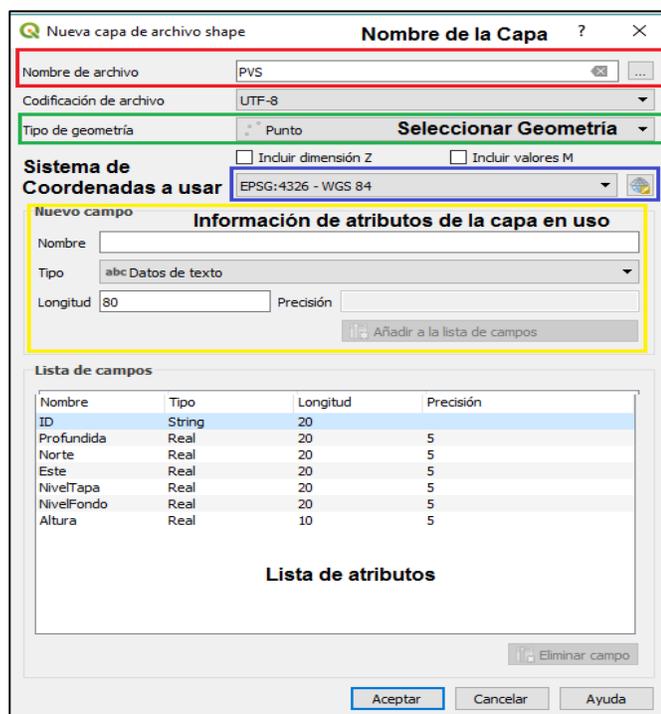
Para guardar el proyecto se busca la opción *Guardar* o *Guardar como...* en la Barra de menú, en su opción *Proyecto* o en la Barra de Herramientas. Cuando el usuario guarda el proyecto, lo que guarda en realidad es la información acerca de la ruta de los archivos de datos añadidos al proyecto y como estos datos son visualizados, es decir, no se guardan los datos en sí, de igual forma se guarda la configuración del interfaz, las propiedades y opciones del proyecto.

- **Capas nuevas del proyecto**

Los pasos seguidos para la creación de una capa vectorial, por ejemplo, la capa “PVS” como se muestra en la imagen 4.24, fueron los siguientes:

- En la barra de menú, menú *Capa* buscar la opción *Crear capa* y seleccionar *Nueva capa de archivo shape*, ésta herramienta también está disponible directamente desde la barra de herramientas *Administrar capas*.
- Se abre la ventana emergente *Nueva capa vectorial*.

*Imagen 4.24. Creación de una nueva capa*



*Fuente Propia: Programa QGIS 3.0.3*

Cuando se crea una capa nueva se debe introducir las características de la misma. El tipo de geometría puede ser punto, línea o polígono. Los puntos fueron usados para los PVS, Cajas de Registro y Accesorios, las líneas para las tuberías y los polígonos para las manzanas y áreas tributarias del proyecto. Esta geometría no puede modificarse una vez creada la capa.

Se debe especificar el sistema de coordenadas, que generalmente sale por defecto de acuerdo a la configuración inicial del proyecto, usaremos SRC “EPSG: 32616 – WGS / UTM zone 16N”.

Luego se definen los atributos uno por uno, definiendo nombre, tipo, anchura y precisión. Los atributos no son más que la información que tendrá la capa, un ejemplo, para los PVS tendremos el nombre de Identificación, su profundidad, etc.

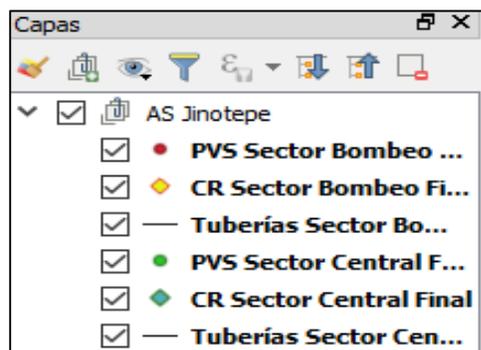
Como tipo de atributo pueden seleccionarse entre cuatro opciones: Datos de texto, número entero, número decimal y fecha, que varían en dependencia del atributo.

La anchura del atributo se refiere a la cantidad de caracteres que se podrán introducir en una celda correspondiente al atributo. La precisión sólo es relevante para el tipo de atributo "Número decimal" y se refiere al número de decimales que deben ser visualizados en la tabla de atributos.

La definición de un atributo se termina con *Añadir a la lista de campos*. Todos los atributos definidos aparecen en la lista de atributos. En caso de que haya un error, por ejemplo, en el tipo de atributo, el atributo puede ser seleccionado en la lista y ser borrado haciendo clic sobre *Eliminar atributo*. Luego de haberse creado, se da en click en *Aceptar* y se guarda la capa según las necesidades. Este proceso se hizo para todas las capas a ser usadas en el proyecto.

Las capas creadas se añadieron automáticamente al proyecto, apareciendo en el panel Capas a como se ve en la siguiente imagen 4.25.

*Imagen 4.25. Visualización de capas del proyecto*



*Fuente Propia: Programa QGIS 3.0.3*

Una vez creada la capa, los atributos del archivo shape creado pueden ser modificados (añadidos, borrados) desde la tabla de atributos de la capa en un proyecto

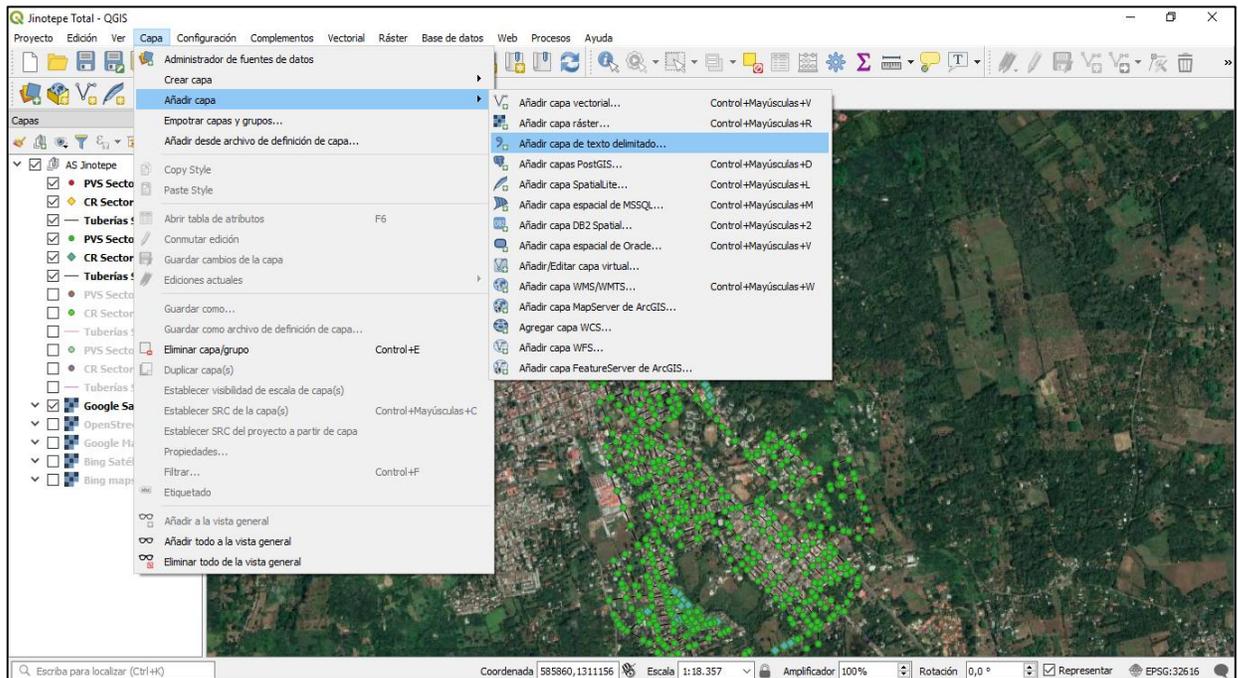
QGIS. En el proyecto utilizado para este análisis se crearon 8 capas, que incluyen las tuberías y dispositivos de inspección de todo el sistema.

➤ **Añadir información existente del proyecto**

○ **Capas existentes**

Si en algún momento se creó una capa de archivo shape y se quiere añadir al proyecto que se está creando, se puede seguir la siguiente secuencia: para añadir capas existentes, en el menú *Capa*, *Añadir capa* hay que escoger entre diferentes opciones. Las opciones *Añadir capa vectorial*, *Añadir capa ráster*, *Añadir capa PostGIS* o *Añadir capa de texto delimitado* son las opciones relevantes para el trabajo de actualización de catastro técnico en QGIS. La barra de herramientas *Administrar capas* ofrece acceso directo a estas opciones, como se muestra en la imagen 4.26.

*Imagen 4.26. Opción añadir capas al proyecto.*



*Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3*

- **Digitalizar planos impresos**

Para incluir información catastral de planos impresos o fichas catastrales levantadas en campo al catastro QGIS, debe redibujarse el plano o croquis en el QGIS haciendo uso de las herramientas de edición presentadas en este apartado de uso del programa QGIS. Para la ubicación geográfica correcta de los objetos espaciales a dibujar hay dos opciones, si se conocen las coordenadas los objetos espaciales se dibujan de manera normal añadiéndose en los atributos las coordenadas, si no se conocen, se puede dibujar sobre los planos georreferenciados que son los mapas fuente que se pueden añadir.

Pero cuando se requiere que los objetos espaciales a digitalizar tengan exactamente la misma forma que en el plano impreso, por ejemplo, cuando se digitalizan curvas de nivel, es necesario georreferenciar el plano impreso para poder dibujar encima del mismo y así copiar la información al QGIS.

En este proyecto presentado, se debieron dibujar todos los elementos, añadiendo la información en sus atributos, para la mayoría de las capas.

- **Digitalizar planos desde AutoCAD**

Muchas veces el catastro de redes ha sido elaborado en AutoCAD. Es posible migrar estos planos al QGIS guardando el archivo en AutoCAD como archivo \*.dxf. Los archivos \*.dxf pueden ser añadidos a un proyecto QGIS como capa vectorial. Para completar la migración de la información de los archivos \*.dxf importados al QGIS generalmente son necesarios una serie de pasos. En este proyecto, se pretendió digitalizar alguna sección de la red de esta manera, pero ya que los planos de AutoCAD no estaban completamente ordenados, se prefirió no hacerlo, ya que, sería un atraso para este trabajo.

Los archivos \*.dxf pueden ser importados a un proyecto QGIS añadiéndolos como capa vectorial. El dibujo de AutoCAD es interpretado por QGIS generalmente como un conjunto de cuatro capas: una capa tipo punto (esta capa contiene las etiquetas),

una capa tipo línea, una capa tipo polígono y la capa que contiene la geometría (sin importancia). Generalmente la capa tipo línea contiene el dibujo que interesa.

- **Importar datos tabulares con coordenadas**

Las capas del catastro QGIS con tipo de geometría puntos (PVS, CR, y Nodos) pueden ser actualizadas fácilmente cuando se cuentan con las coordenadas de los puntos en campo. Las coordenadas que representan cada punto y los atributos del punto (si los haya) deben ser guardados en forma tabular en un archivo tipo texto como \*.csv o \*.txt. Este archivo puede ser añadido a un proyecto QGIS mediante la opción *Añadir capa de texto delimitado*, accesible desde el menú *Capa*, opción *Añadir capa*. Al seleccionar esta opción se abre la ventana *Crear una capa a partir de un archivo de texto delimitado*, donde se establece la ruta del archivo a importar, el formato de archivo y la geometría de la capa.

El archivo de texto es añadido al proyecto QGIS y cada par de coordenadas es representado en el mapa como un punto. Esta capa sin embargo no es editable.

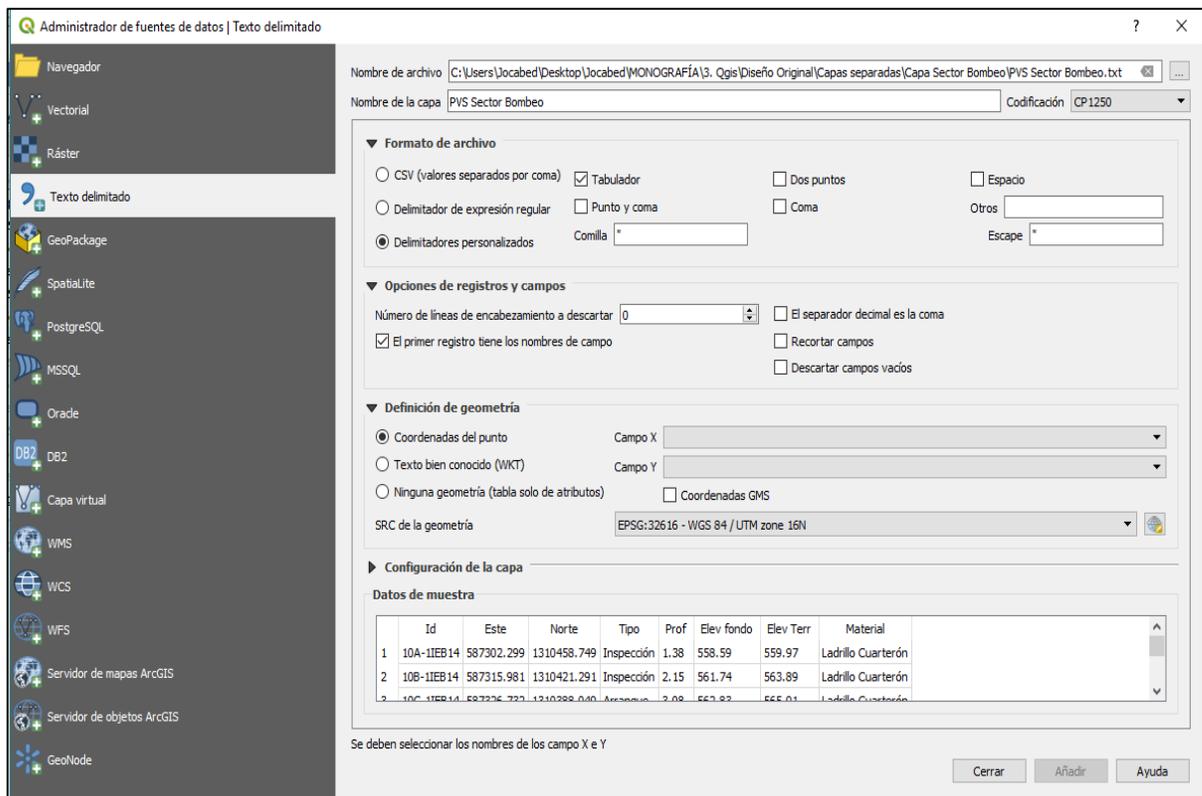
La capa puede ser guardada entonces como un nuevo archivo shape. Alternativamente pueden copiarse los objetos espaciales a otra capa (Seleccionar todos los objetos espaciales y clicar sobre la herramienta *Copiar objetos espaciales* de la barra de herramientas *Digitalización* o de la barra de herramientas de la tabla de atributos. Ahora debe seleccionarse la capa donde quieren copiarse los datos, activar la edición y hacer clic sobre la herramienta *Pegar objetos espaciales* de la barra de herramientas *Digitalización*.

Debe tomarse en cuenta que al copiar los objetos espaciales de una capa a otra se pierden los atributos al menos que en las dos capas están definidos los mismos atributos con los mismos nombres.

En este proyecto, la opción más usada fue la de añadir Capa de texto delimitado, debido a la gran cantidad de datos levantados en la base de datos del Sistema de Alcantarillado de estudio, con esta opción fue posible añadir la capa de Pozos de Visita del Sector bombeo, ya que de esta manera pueden añadirse tablas sin

geometría (\*.csv o \*.txt) a un proyecto QGIS. Para añadir una tabla sin geometría se selecciona en el menú *Capa* la opción *Añadir capa* y luego *Añadir capa de texto delimitado*. Al seleccionar esta opción se abre la ventana *Crear una capa a partir de un archivo de texto delimitado*, donde se establece la ruta del archivo a importar y el formato del archivo, como se muestra en la imagen 4.27.

Imagen 4.27. Adición de una capa a partir de un archivo delimitado por texto



Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

- **Añadir mapa real de fondo del proyecto**

Para efecto de tener una mejor ubicación de este proyecto, se instalaron complementos para que fueran visualizados los aspectos geográficos reales de la ciudad de Jinotepe. Lo que se hizo fue agregar mapas fuentes al QGIS, esto se hace dando clic en la *Barra de Menú en Capa, Administrador de fuentes de datos*, buscar *XYZ Tiles* y *añadir el nombre y URL* de aquellos complementos que desean graficarse

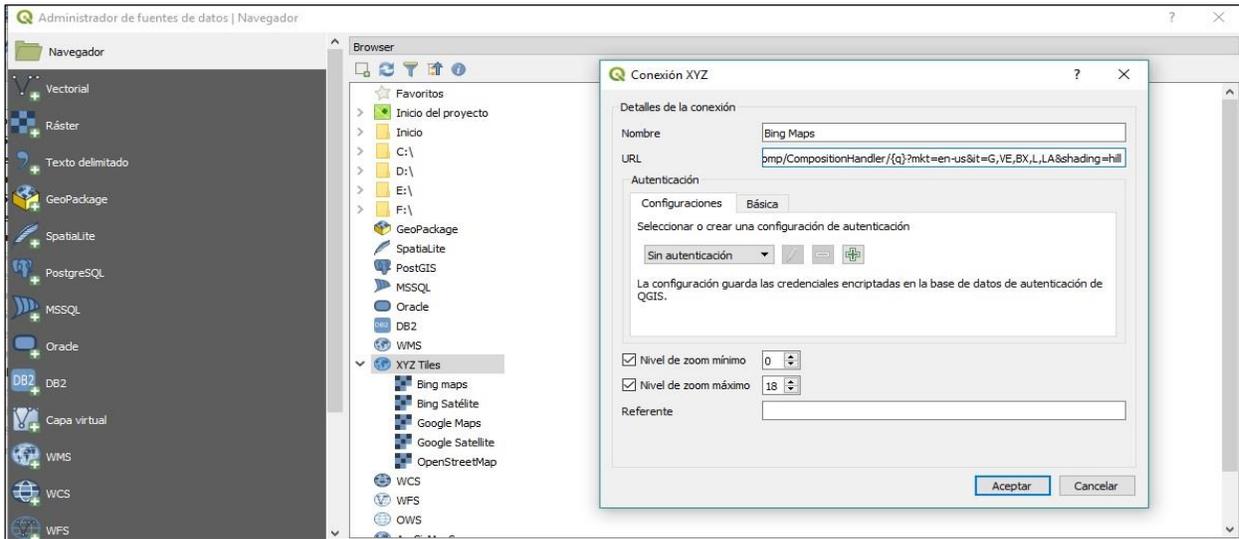
y luego en *aceptar*, después cuando se han agregado, se les da clic derecho y en *Añadir capa seleccionada al lienzo*. En este caso, se agregaron los siguientes datos que muestra la tabla 4.1 para la visualización real de la ciudad como se muestra en la figura 4.28.

*Tabla 4.1. Datos para instalación de complementos*

Nombre	URL
Bing maps	<a href="http://ecn.dynamic.t0.tiles.virtualearth.net/comp/CompositionHandler/{q}?mkt=en-us&amp;it=G,VE,BX,L,LA&amp;shading=hill">http://ecn.dynamic.t0.tiles.virtualearth.net/comp/CompositionHandler/{q}?mkt=en-us&amp;it=G,VE,BX,L,LA&amp;shading=hill</a>
Bing Satélite	<a href="http://ecn.t3.tiles.virtualearth.net/tiles/a{q}.jpeg?g=0&amp;dir=dir_n">http://ecn.t3.tiles.virtualearth.net/tiles/a{q}.jpeg?g=0&amp;dir=dir_n</a>
Google Maps	<a href="https://mt1.google.com/vt/lyrs=r&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}">https://mt1.google.com/vt/lyrs=r&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}</a>
Google Satellite	<a href="http://www.google.cn/maps/vt?lyrs=s@189&amp;gl=cn&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}">http://www.google.cn/maps/vt?lyrs=s@189&amp;gl=cn&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}</a>
Google Hybrid	<a href="https://mt1.google.com/vt/lyrs=y&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}">https://mt1.google.com/vt/lyrs=y&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}</a>
Google Terrain	<a href="https://mt1.google.com/vt/lyrs=t&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}">https://mt1.google.com/vt/lyrs=t&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}</a>
Google Traffic	<a href="https://mt1.google.com/vt?lyrs=h@159000000,traffic seconds_into_week:-1&amp;style=3&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}">https://mt1.google.com/vt?lyrs=h@159000000,traffic seconds_into_week:-1&amp;style=3&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}</a>
Google Roads	<a href="https://mt1.google.com/vt/lyrs=h&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}">https://mt1.google.com/vt/lyrs=h&amp;x={x}&amp;y={y}&amp;z={z}</a>
OpenStreetMaps	<a href="http://a.tile.openstreetmap.org/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png&amp;zmax=19&amp;zmin=0">http://a.tile.openstreetmap.org/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png&amp;zmax=19&amp;zmin=0</a>

*Fuente: Google*

Imagen 4.28. Instalar mapas fuentes en QGIS



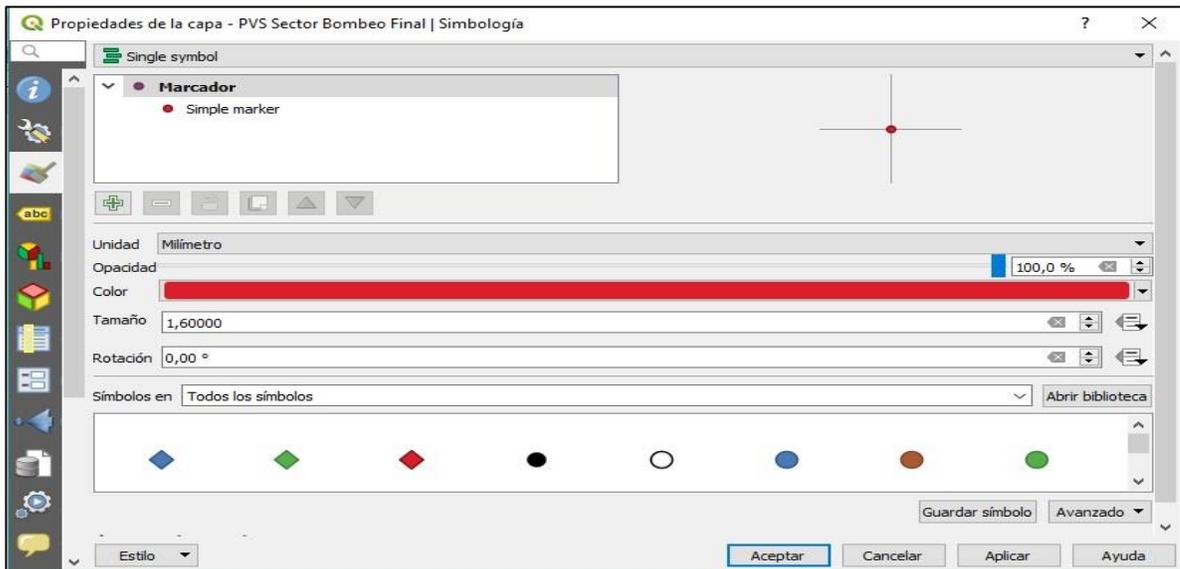
Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

### C. Visualización de los elementos del proyecto

Cuando ya se han creado las capas, se pueden configurar las propiedades de la misma dando click derecho y en la opción *Propiedades*. En esta sección se puede configurar la simbología utilizada para representar los objetos espaciales en el mapa, la transparencia de una capa y las etiquetas a mostrar en el mapa.

Se pueden configurar los símbolos que representan el objeto espacial de una capa en el mapa, se definen en la ventana *Propiedades de la capa*, opción *Estilo*. Se puede asignar un mismo símbolo a todos los objetos espaciales de una capa (*Símbolo único*) o se pueden asignar símbolos diferentes a los objetos de acuerdo a los valores de un atributo definido (*Categorizado, Graduado, Basado en reglas*). El programa proporciona una serie de símbolos predefinidos. Color, tamaño, ángulo y transparencia de estos símbolos pueden ser modificados fácilmente. En el caso del proyecto en estudio se definió un símbolo para PVS, CR y tuberías de diferentes colores para diferenciarse del otro sector, como se muestra en la imagen 4.29.

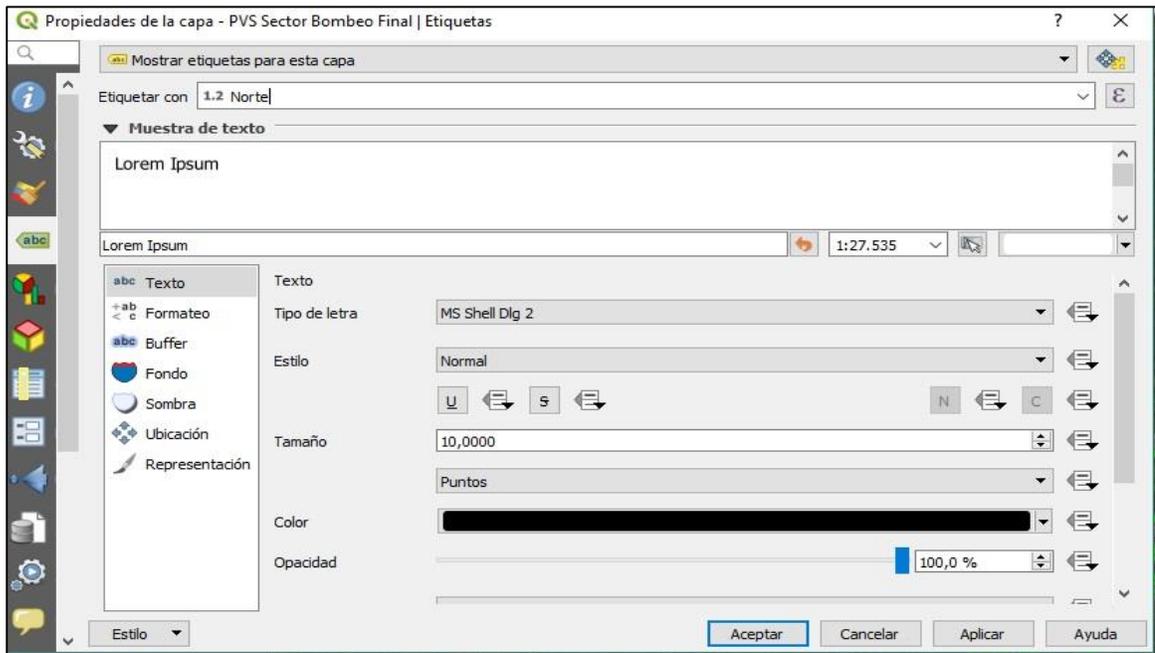
Imagen 4.29. Edición de símbolos en el proyecto



Fuente propia: QGIS 3.0.3

Las etiquetas de los objetos espaciales que se mostrarán en el mapa, se definen en la ventana *Propiedades de la capa*, opción *Etiquetas*. Al marcar la casilla *Etiquetar esta capa* se activa, el etiquetado de la capa y las opciones para definir el estilo y el formato del texto, entre otros. Debe seleccionarse el atributo con el cual se quiere etiquetar la capa. También es posible utilizar más que un atributo para el etiquetado de la capa y añadir un texto explicativo, lo que podemos ver en la imagen 4.30.

Imagen 4.30. Configuración de etiquetas de la capa



Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

Por otro lado, los objetos espaciales se caracterizan por una serie de atributos los cuales pueden ser consultados, por ejemplo, en la tabla de atributos o utilizando la herramienta *Identificar objetos espaciales* de la barra de herramientas *Atributos*.

En las *Propiedades de la capa*, opción *Campos*, se puede definir Alias para los nombres de los atributos, que sean más amigables y entendibles que los nombres verdaderos de los atributos. Los *Alias* pueden contener más de diez caracteres, espacias, tildes y otros símbolos.

Cuando se hayan definido Alias para algunos atributos, en la tabla de atributos aparecen estos Alias como encabezado y ya no el verdadero nombre del atributo. Asimismo, aparecen los Alias en los resultados de la identificación o en el formulario de edición

## D. Modificación de objetos espaciales

### ➤ Activar la edición y guardar cambios

Las herramientas básicas para digitalizar objetos espaciales se encuentran en las barras de herramientas *Digitalización* y *Digitalización avanzada*. Aparte de estas dos barras de herramientas QGIS ofrece una serie de complementos que proporcionan herramientas avanzadas de digitalización o herramientas de apoyo a la digitalización.

Para editar los objetos espaciales de una capa vectorial, primeramente, debe conmutarse edición en la capa a trabajar. Mientras no se inicie la sesión de edición las herramientas de digitalización no se activan. De esta manera se evita que se realicen cambios accidentales en los datos. Para activar la edición de una capa, la capa debe seleccionarse en el panel *Capas*. Al hacer clic sobre el botón *Conmutar edición* de la barra de herramientas *Digitalización*, se activan las herramientas de digitalización para esta capa. No todas las herramientas se activan directamente, se activarán dependiendo del tipo de geometría o de las acciones realizadas.

Cualquier cambio que se realiza en una capa debe ser guardado utilizando el botón *Guardar cambios de la capa* de la barra de herramientas *Digitalización*. El botón sólo es activado mientras la capa en edición contenga cambios sin guardar. Una vez guardado los cambios, sin o con la edición de la capa aún activada, no es posible deshacer los cambios realizadas en la capa.

### ➤ Añadir elementos espaciales: puntos, líneas y polígonos

Cuando se digitaliza información de fichas catastrales o de otros planos sin información sobre las coordenadas de los objetos a digitalizar, la georreferenciación de los objetos espaciales se realiza a partir de las imágenes satelitales de los mapas fuentes que se añaden al programa. La imagen debe permitir visualizar la ubicación aproximada de los elementos a digitalizar.

Para añadir un objeto espacial, hay que activar la herramienta *Añadir objeto espacial* de la barra de herramientas *Digitalización* como muestra la imagen 4.31. El icono de

la herramienta cambia dependiendo del tipo de geometría de la capa en edición, ya sea un punto, una línea o un polígono. Para añadirse se da clic izquierdo y para finalizar clic derecho, en ese momento automáticamente se abre el formulario de edición de los atributos del elemento que se añadió, donde se agregaron los datos técnicos.

Imagen 4.31. Digitalización de un objeto espacial nuevo

Tuberías Sector Bombeo Final - Atributos del objeto espacial	
Acciones	
Nombre	NULL
Longitud	NULL
Nodo de Sa	NULL
Este	NULL
Norte	NULL
Nodo de En	NULL
Este_1	NULL
Norte_1	NULL
Desn Salid	NULL
Desn Entra	NULL
Pendiente	NULL
DN (m)	NULL
Caudal Ver	NULL
Caudal Inv	NULL
Velocidad	NULL
Material	NULL
Coef de Ma	NULL

Aceptar Cancelar

Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

### ➤ Auto ensamblado de los elementos

Al digitalizar o modificar una red se deben editar, entonces, mínimamente dos capas. Al dibujar una línea, por ejemplo, con la herramienta *Añadir objeto espacial*, no es posible terminarla exactamente en las mismas coordenadas que el punto con el cual se pretende conectarla. Para lograr conectar las líneas con los puntos se hace uso de la *opción de auto ensamblado*, activando la opción “Enable Snapping” en la barra de herramientas, para garantizar la continuidad del dibujo.

### ➤ **Eliminar objetos espaciales**

Para eliminar un objeto espacial, primero hay que seleccionarlo. Para seleccionar un objeto espacial en el mapa se hace uso de la herramienta *Seleccionar objetos espaciales por área o clic único* de la barra de herramientas *Atributos*. Se activa la herramienta y se hace clic sobre el objeto a seleccionar o se dibuja un rectángulo sobre el mismo. El objeto o los objetos seleccionados se borran siempre y cuando la capa correspondiente está en estado de edición, al hacer clic sobre la herramienta *Borrar lo seleccionado* de la barra de herramientas *Digitalización*.

### ➤ **Modificar objetos espaciales**

#### ○ **Mover un objeto espacial**

Para mover los objetos espaciales, hay que activar la herramienta *Mover objeto(s) espacial(es)*. El puntero de mouse toma la forma de una cruz negra cuando es movido sobre el canvas del mapa. La capa de los objetos a mover debe estar seleccionada y en estado de edición. Hay que mover la cruz negra sobre el objeto espacial que se quiere. Sosteniendo el botón izquierdo del mouse ahora puede moverse el objeto a su nueva posición.

#### ○ **Modificar los atributos**

Para modificar los atributos de los objetos espaciales existentes hay dos opciones básicas: el formulario de edición o la tabla de atributos.

El formulario de edición es accesible desde la ventana *Resultados de la identificación*, la cual se abre cuando se cliquea sobre un objeto espacial de una capa seleccionada con la herramienta *Identificar objetos espaciales* de la barra de herramientas *Atributos* activada. En *Acciones* se encuentra la opción *Formulario de edición de objetos espaciales* (clic sobre el más para ver la opción). Al hacer clic sobre esta opción se abre la ventana *Atributos del objeto espacial* donde se pueden modificar los atributos del objeto espacial identificado siempre y cuando la capa correspondiente está en estado de edición.

Los atributos pueden modificarse también directamente dentro de la tabla de atributos, la cual se abre desde el menú contextual de la capa, opción *Abrir tabla de atributos* o desde la barra de herramientas *Atributos*, botón *Abrir tabla de atributos* (debe estar seleccionada la capa).

- **Añadir y borrar atributos/campos de una capa**

Si al crear una capa no se definieron todos los atributos necesarios, pueden añadirse más atributos posteriormente. En la barra de herramientas de la tabla de atributos se hace clic en la herramienta *Campo nuevo* para que se abra el diálogo *Añadir campo*. Debe haberse iniciado la sesión de edición para la capa. De igual manera se puede dar en *borrar campo*, para eliminar algún atributo de nuestra capa.

## **E. Digitalización y aprovechamiento de los datos del proyecto en QGIS**

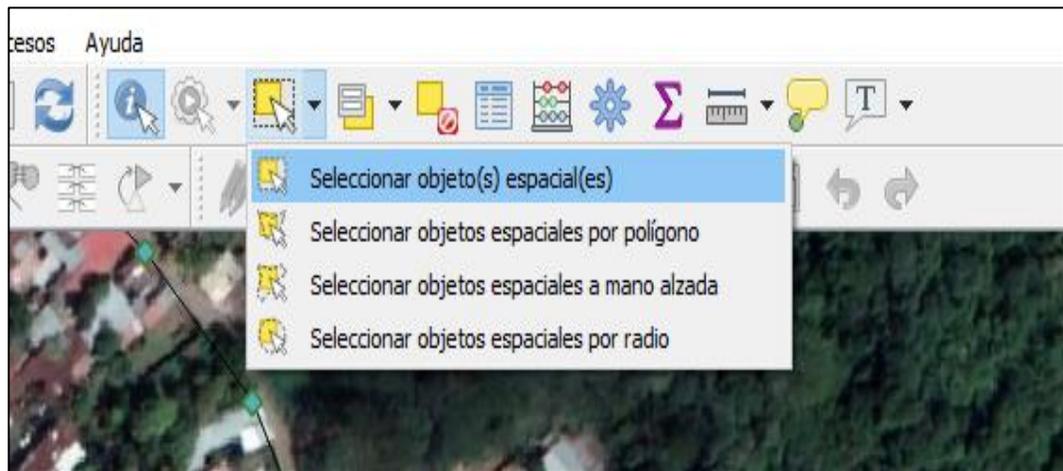
- **Herramientas de selección**

El QGIS ofrece varias opciones para seleccionar uno o varios objetos espaciales del total de objetos de una capa. La selección de objetos espaciales es un paso importante para muchas operaciones de edición o de aprovechamiento de la información.

- **Seleccionar objetos espaciales en el mapa**

En la barra de herramientas *Atributo* se encuentran las herramientas para seleccionar los objetos espaciales en el mapa, como se muestra en la imagen 4.32.

Imagen 4.32. Herramienta de selección de los elementos.



Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

Al activar la herramienta *Selección de objetos espaciales por área o por clic único* puede seleccionarse un objeto espacial individual de la capa seleccionada haciendo clic izquierdo sobre el mismo. También puede dibujarse un rectángulo sobre el objeto (o los objetos) a seleccionar. Para añadir otro objeto espacial a la selección se clikea sobre el objeto a añadir (o se dibuja un rectángulo) manteniendo al mismo tiempo la tecla *control* presionada.

- **Selección de objetos espaciales en la tabla de atributos**

Los objetos espaciales también pueden seleccionarse directamente en la tabla de atributos, en la Imagen 4.33 se puede apreciar esta selección. Esta opción es útil cuando no se quiere seleccionar un objeto por su ubicación sino por los valores de sus atributos.

Imagen 4.33. Selección a través de la tabla de atributos

**Resumen de los Objetos Espaciales de la capa**

PVS Sector Bombeo Final **Objetos totales: 148, Filtrados: 148, Seleccionados: 1**

Opciones de selección

	Id	Este	Norte	Tipo	Prof	Elev fondo	Elev Terr	Material
1	10IEB16	587537.7090000...	1311006.433999...	Inspección	1.3500000000000...	575.6100000000...	57696.00000000...	Ladrillo Cuarterón
2	1-1IEB9	587655.9170000...	1310422.993000...	Arranque	1.3500000000000...	552.2300000000...	553.5900000000...	Ladrillo Cuarterón
3	5IEB7	587545.9329999...	1310229.360000...	Arranque	1.3500000000000...	558.8099999999...	560.1599999999...	Ladrillo Cuarterón
4	3A-3IEB16	587659.6480000...	1310738.924000...	Inspección	1.3600000000000...	567.4500000000...	568.7999999999...	Ladrillo Cuarterón
5	1-1IEB20	587531.4699999...	1310767.063000...	Inspección	1.3600000000000...	570.8999999999...	572.2599999999...	Ladrillo Cuarterón
6	1-5IEB9	587488.2140000...	1310281.567999...	Arranque	1.3600000000000...	561.2300000000...	562.5900000000...	Ladrillo Cuarterón
7	1-7IEB16	587583.8050000...	1310788.753000...	Inspección	1.3600000000000...	569.3400000000...	570.7000000000...	Ladrillo Cuarterón
8	1B-18IEB8	587842.3819999...	1310945.475000...	Arranque	1.3600000000000...	572.3600000000...	573.7200000000...	Ladrillo Cuarterón
9	1IEB20	587553.3969999...	1310699.635999...	Inspección	1.3600000000000...	570.8999999999...	569.3600000000...	Ladrillo Cuarterón
10	2-17IEB8	587821.1419999...	1310745.840000...	Inspección	1.3600000000000...	567.9500000000...	569.3099999999...	Ladrillo Cuarterón
11	22IEB8	587953.3209999...	1311051.583000...	Arranque	1.3600000000000...	567.0199999999...	568.3700000000...	Ladrillo Cuarterón
12	4C-3IEB16	587622.6130000...	1310921.585999...	Arranque	1.3600000000000...	573.3300000000...	574.6900000000...	Ladrillo Cuarterón
13	5B-12IEB8	588104.6480000...	1310921.152000...	Inspección	1.3600000000000...	566.1499999999...	567.5099999999...	Ladrillo Cuarterón

Mostrar todos los objetos espaciales,

Se pueden ver los datos ordenados de menor a menor según profundidad de los PVS

Fuente propia: programa QGIS 3.0.3

Para seleccionar un objeto espacial en la tabla de atributos simplemente hay que clicar sobre el número de la fila que contiene los atributos del objeto a seleccionar. La fila seleccionada es resaltada. En la barra del título se totalizan los objetos espaciales totales, filtrados y seleccionados.

Para añadir otro objeto a la selección se clikea sobre el número de la fila del nuevo objeto a seleccionar manteniendo al mismo tiempo la tecla *control* presionada. De esta manera pueden añadirse varios objetos a la selección. Una manera más rápida de seleccionar varios objetos espaciales a la vez, es clicar sobre el número de la fila del primer objeto a seleccionar y sosteniendo el botón izquierdo del mouse arrastrar el puntero del mouse sobre los números de fila de los objetos siguientes a seleccionar.

Las filas pueden ordenarse de menor a mayor (numérico o alfabético) haciendo clic sobre el encabezado de la columna que contenga el atributo por el que se quiere ordenar las filas. La barra de herramientas de la tabla de atributos ofrece algunas

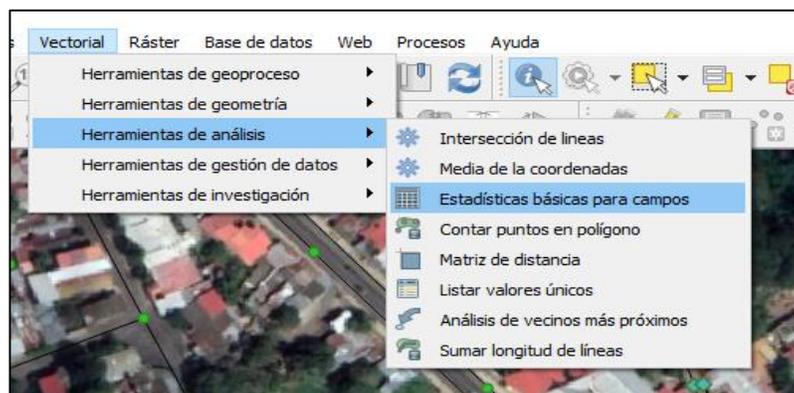
herramientas adicionales con respecto a la selección de objetos espaciales: Seleccionar todo, invertir selección, deseleccionar todo, mover la selección arriba del todo, desplazar el mapa a las filas seleccionadas, acercar el mapa a las filas seleccionadas, etc.

➤ **Resúmenes, estadísticas y exportación de datos.**

El QGIS ofrece varias herramientas y complementos que permiten sacar resúmenes y estadísticas de los objetos espaciales de una capa tomando en cuenta los atributos de los mismos.

En la Barra de menú, dar clic en *Vectorial*, opción *Herramientas de análisis*, se encuentra la opción *Estadísticas básicas para campos*, tal como se muestra en la imagen 4.34. Esta herramienta permite calcular algunos valores estadísticos básicos de un atributo de una capa vectorial. Para el cálculo pueden tomarse en cuenta todos los objetos espaciales de una capa o solamente los objetos espaciales seleccionados.

*Imagen 4.34. Estadística básica del proyecto*



*Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3*

Los valores calculados para atributos numéricos incluyen la media, la desviación estándar, la suma, el valor máximo y mínimo, el número total de objetos espaciales y el número de valores únicos, entre otros.

En muchas ocasiones se requiere información sobre los objetos espaciales en forma tabular para ser utilizada en informes o para análisis avanzados. QGIS ofrece diferentes alternativas para exportar los datos de las tablas de atributos. La manera más simple para copiar datos de la tabla de atributos de una capa y que no requiere la instalación de un complemento, es el uso de la herramienta *Copiar objetos espaciales* de la barra de herramientas *Digitalización* o de la barra de herramientas de la tabla de atributos. La capa que tiene los objetos espaciales a copiar debe estar seleccionada pues al hacer clic sobre *Copiar objetos espaciales* sólo los objetos seleccionados de la capa vectorial son copiados a portapapeles. Los datos ahora pueden ser pegados en otro programa, por ejemplo una tabla de Excel.

#### **4.4.3.5 Evaluación hidráulica del sistema de alcantarillado sanitario.**

La evaluación de los datos obtenidos en los programas está basada en la información existente del sistema de alcantarillado Sanitario, se hizo en base a la Guía de Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario para el sistema de Alcantarillado Convencional y a la normativa vigente referente al Alcantarillado Sanitario condominial, que contienen los siguientes criterios.

##### **A. Alcantarillado sanitario convencional**

Los principales factores que afectan al flujo de aguas residuales son:

1. Pendiente del tubo.
2. Área de la sección transversal.
3. Rugosidad de la superficie interior de la conducción.
4. Condiciones de flujo. (Parcialmente lleno, permanente)
5. Naturaleza, peso específico y viscosidad del líquido.

Las Aguas negras fluyen por gravedad y se diseñan como conductos sin presión es decir canales abiertos.

➤ **Pendiente mínima**

Para el Sistema convencional, la pendiente longitudinal mínima es aquella que sea suficiente para producir una velocidad media de 0.60 m/seg a tubo lleno y 0.3 m/seg a tubo semi lleno.

➤ **Pendiente máxima**

En el Sistema Convencional, es aquella pendiente que produzca una velocidad no mayor de 3m/seg con el gasto de diseño.

➤ **Diámetro mínimo**

Según la guía de diseño de Alcantarillado Sanitario, el diámetro mínimo de las alcantarillas deberá ser de 6" en laterales y 8" en colectores y sub-colectores.

➤ **Diámetro tirante**

Para el sistema Convencional se utiliza una relación de 0.8 D, este valor es el óptimo para que la tubería funcione bien y no se exceda su capacidad. De igual forma, la Guía Técnica de Diseño de alcantarillado del país dice que generalmente las colectoras hasta 375 mm de diámetro son diseñadas para trabajar, como máximo, a la media sección, destinándose la mitad superior de los conductos a la ventilación del sistema y a las imprevisiones y oscilaciones excepcionales.

➤ **Cambios de diámetros**

El diámetro de cualquier tramo de tubería es igual o mayor que el del tramo anterior, y por ningún motivo menor. Nunca se descargará el contenido de un conducto más grande a uno más pequeño es seguro que se producirán obstrucciones en la entrada del pequeño.

➤ **Coefficiente de rugosidad**

El cálculo hidráulico de las alcantarillas se realiza en base a la fórmula de Manning, para el flujo en canales abiertos usando el coeficiente de Rugosidad (n) iguales a 0.009 para PVC, hierro dúctil 0.012 y 0.013 para concreto.

➤ **Pérdida de carga adicional**

En el Sistema Convencional, por todo cambio de alineación, sea vertical u horizontal se incluye una pérdida de carga igual a  $0.25 V^2/2g$ , entre la entrada y la salida del pozo de visita correspondiente, no pudiendo ser, en ninguno de los casos, menor de 3 centímetros.

➤ **Cobertura sobre la tubería**

En el Sistema convencional, la cobertura mínima se considera de 1.50 m, aunque puede aceptarse una altura de 1.20m.

➤ **Pozos de Visita**

○ **Distancia máxima pozos de visita (PV)**

El espaciamiento máximo entre PV deberá variar de acuerdo a los métodos y equipos de mantenimiento disponibles como se presenta en la tabla 4.2.

*Tabla 4.2 Distancias máximas entre pozos de visita*

<b>Características del equipo</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Separación máxima (m)</b>
<i>Equipo tradicional</i>	150 – 400	100
	450 y mayores	120

*Fuente: Guía de diseño de alcantarillado sanitario*

En el Sistema Convencional se deben ubicar pozos de vista en el extremo de cada línea, en todo cambio de pendiente, diámetro y alineaciones etc. La separación

máxima entre pozos de visitas es de 100 metros para alcantarillas de 15 pulgadas de diámetro y menores.

- **Pozos de visita de caída**

Pozos de visita de caída se deberán utilizar cuando el fondo de la alcantarilla entrante esté a más de 60 centímetros por encima del fondo del pozo de visita, para ambos sistemas.

## **B. Alcantarillado sanitario condominial**

Según la “Guía de alcantarillado sanitario condominial: Criterios técnicos para el diseño”, elaborada por el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, los parámetros de diseño utilizados en la determinación de los distintos aspectos hidráulicos de este tipo de redes son:

- **Red pública.**

- La distancia máxima entre los dispositivos de Inspección debe ser menor o igual de 100m.
- El diámetro mínimo es igual a 150mm.
- El material de la tubería es PVC, polietileno u otro material que cumpla con las especificaciones técnicas.
- El recubrimiento mínimo de la tubería es de 0,60m en aceras y 1,10m en calle.

- **Ubicación de la red pública**

Se realiza en función de la profundidad y el ancho de aceras, así como del diámetro de la tubería, tal como se describe a continuación:

Para diámetros hasta 200mm preferiblemente instalarlos en áreas protegidas o aceras. Debe ubicarse a 1,00m del límite de las viviendas o a distancia adecuada para que no afecte muros o paredes existentes.

Para diámetros hasta 200mm, pero con profundidades que indiquen ser desfavorable en la acera, deben ser ubicados en la calle, a 1,0m en la banda norte de las calles y a 1,0m de la banda oeste de las avenidas próxima a la cuneta. En este caso, la conexión de la vivienda se debe realizar directamente en la red por medio de una silleta.

Para diámetros hasta 200 mm con grandes profundidades, debe ser ubicada en la calle, a 1,0m en la banda norte de las calles y a 1,0m de la banda oeste de las avenidas, próxima a la cuneta. En este caso, en términos de conexión, debe realizarse un estudio para verificar la mejor situación (técnica/costos).

Para diámetros mayores que 200mm, la red debe ubicarse en la calle. En este caso la red no recibe conexión directa de las viviendas. Sólo se conectan los ramales.

#### ➤ **Ramales condominales**

- La distancia máxima entre los dispositivos de Inspección es de 50m.
- El diámetro de la tubería es de 100 mm.
- El material de la tubería es de PVC, polietileno u otro material que cumpla con las especificaciones técnicas.
- El recubrimiento mínimo de la tubería es de 0.60m en aceras, 0.40m en jardín y 0.30m en fondo de lote.
  - **Ubicación de los ramales**
- Ramal de acera: A 0,70m como mínimo del límite del lote. En este caso, las conexiones son realizadas por medio de TEE Sanitaria o caja de inspección. De esta TEE Sanitaria se conecta un tramo de ramal hasta 0,70m dentro del lote, finalizando con una caja de inspección que recibe la conexión de las instalaciones sanitarias de la vivienda.

- Ramal de jardines: A 0,70m como mínimo del límite frontal del lote (por dentro). En este caso, a lo largo del ramal hay una caja de inspección en cada lote para recibir las instalaciones sanitarias de la vivienda.
- Ramal de fondo de lote: A 0,70m como mínimo del límite de fondo del lote. En este caso, a lo largo del ramal hay una caja de inspección en cada lote para recibir las instalaciones sanitarias de la vivienda.
- Ramal posible: Se refiere a situaciones donde el urbanismo es irregular, el terreno se presenta con topografía compleja o la ocupación es irregular. En este caso hay que instalar el ramal donde sea posible incluir todas las casas.

➤ **Dimensionamiento hidráulico**

- **Cálculo de caudales**

**Contribución per cápita:** está en función de la dotación de agua potable para la localidad.

**Caudales de diseño:** Los caudales para el inicio y fin del proyecto se calculan de la siguiente manera:

**Caudal mínimo:** Según la normativa nicaragüense para alcantarillado Sanitario condominial, el flujo mínimo aplicado en el diseño de alcantarillas, representa el flujo pico que resulta de la descarga de un inodoro sanitario (valor mínimo en comparación con caudales mínimos en inodoros de fluxómetro y caudales mayores para inodoros estándar). De acuerdo a Norma Brasileña NBR 9649:

$$Q_{min} = 1,5 \text{ l/s}$$

**Caudal medio (Qmed):** Estimación igual al 80% de la dotación de consumo de agua.

**Caudal máximo horario:**  $Q_{mh} = K * Q_{med}$

Donde:

$K$  = Coeficiente de flujo máximo y es igual a  $K_1 * K_2$

$K_1=1,2$ : Es el coeficiente para estimar el caudal máximo diario con relación al caudal medio diario.

$K_2= 1,5$  a  $2,2$ : Coeficiente de caudal máximo horario, es la relación entre caudal máximo horario y el caudal medio horario conforme la Tabla 4.3.

*Tabla 4.3 Coeficientes K según tamaños de población*

Tamaño de la población	Coeficiente
< 2000	2.2
2000 a 10000	2
10000 a 100000	1.8
> 100000	1.5

*Fuente: Guía de diseño de alcantarillado sanitario*

### **Caudal de diseño (Qd).**

El dimensionamiento de los conductos deberá atender los máximos caudales de descarga según la siguiente expresión:

$$Q_d = Q_{mh} + Q_i + Q_c + Q_{ind} + Q_{inst}$$

Dónde:

$Q_i$  = Caudal de infiltración;  $Q_c$  = Caudal comercial;  $Q_{ind}$  = Caudal industrial

$Q_{inst}$  = Caudal institucional

### **Caudal de Infiltración (Qi):**

Para tuberías con juntas de mortero se les deberá asignar un gasto de 10,000 L/ha/día.

Para tuberías con juntas flexibles se les deberá asignar un gasto de 5000 L/ha/día.

Para tuberías plásticas 2L/hora/100 m de tubería y por cada 25mm de diámetro.

- **Diámetros mínimos**

En la Red Pública es de 150mm y en Ramales Condominiales de 100mm.

- **Tirante máximo**

Este debe ser 50% para tuberías de 100mm y 75% para tubería de 150mm o mayores.

- **Tensión tractiva**

La tensión tractiva ó fuerza de arrastre ( $\tau$ ), es la fuerza tangencial por unidad de área mojada ejercida por el flujo de aguas residuales sobre un colector y en consecuencia sobre el material depositado. Esta debe ser de al menos 1Pa. Se calculará con la ecuación:

$$\tau = W * Rh * S$$

W = Peso específico del líquido en N/m<sup>3</sup>

Rh = Radio hidráulico a caudal mínimo en m

S = Pendiente mínima en m/m

- **Pendientes Mínima y Máxima.**

La pendiente mínima para  $\tau = 1 \text{ Pa}$

Se calculará como:  $S = \tau / (W * Rh)$

En ningún caso será menor que:

Red Pública:  $S_{min} = 0,0045\text{m/m}$  para  $Q_{min} = 1,5\text{L/s}$

Ramal Condominial:  $S_{min} = 0,005\text{m/m}$  para  $Q_{min} = 1,5\text{L/s}$

El cálculo de la pendiente mínima para obtener la fuerza tractiva mínima por medio de la fórmula aproximada de cálculo:

$S_{min}=0.0055Q_i^{-0.47}$ , es para coeficiente de Manning  $n=0.013$  para cualquier tipo de material.

La pendiente máxima admisible: Será aquella para la que se tenga una velocidad de 5 m/s, para la red pública.

- **Dispositivos de inspección**

Las principales características de los dispositivos de inspección utilizados son los que se especifican en la Tabla 4.4.

*Tabla 4.4 Características de los dispositivos de inspección*

Dispositivos de inspección (Diámetro interno)	Profundidad	Utilización
CI - $\Phi 0,40m$	hasta 0,60m	Ramal Condominial
CI- $\Phi 0,60m$	$0,60 < h \leq 1,20m$	Ramal Condominial
CI- $\Phi 0,60m$	hasta 1,20m	Red Pública con diámetro hasta 200mm, en acera
CI- $\Phi 0,60m$	hasta 1,20m	Red Pública hasta 200mm en calle
PVS $\Phi 1,0m$	Mayor de 1,20m	Red Pública hasta 300mm
PVS - $\Phi 1,0m$	Mayor de 1,20m	Red Pública con diámetro de red hasta 400mm
PVS - $\Phi 1,20m$	Mayor de 1.20m	Red Pública con diámetro hasta 700mm
PVS construido en sitio		Red Pública con diámetro mayor de 700mm

*Fuente: Guía de diseño de alcantarillado sanitario*

Los dispositivos de inspección son utilizados obligatoriamente en los siguientes casos:

Dentro de cada lote, de acuerdo con el diámetro y profundidad citada en la tabla anterior para efectuar la conexión en el Ramal Condominial;

- En el ramal condominial de acera, a cada 50m o menos;
- En la red pública, a cada 100m;
- En los cambios de dirección horizontal y vertical de la tubería;
- En el inicio de la red o ramal;
- En la unión de dos o más ramales o colectores.

En los casos en que se tenga que utilizar caídas en un dispositivo de inspección, se deben considerar las siguientes condiciones:

- Se permite caída libre hasta de 0,60m;
- Cuando la caída sea mayor de 0,60m se debe utilizar bajante;

Los Ramales Condominiales se dimensionan de forma simplificada, para atender a un máximo de 50 lotes por condominio. La conexión de los ramales a la red pública se hace en el punto más bajo del condominio.

#### **4.4.3.6. Nuevo cálculo de la red de alcantarillado sanitario**

Luego de realizar la simulación hidráulica del sistema, se analizaron los sectores donde se presentaron condiciones que no cumplieron con las anteriormente especificadas en el acápite 7.4.3.5, sobre todo para el aspecto de velocidades y tensión tractiva.

Debido a que esta investigación está centrada en la simulación hidráulica del sistema y no el diseño de una red, solo se seleccionaron dos pequeñas secciones del alcantarillado sanitario, una para red convencional y otra para Condominial, donde se revisaron los valores de caudales asumidos inicialmente para realizar un nuevo dimensionamiento en Excel, con el propósito de revisar si con dichos cambios, se cumple con las normativas del país.

## **V Análisis e interpretación de resultados**

### **5.1 Recopilación de información**

Luego de analizar el sistema de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe, como ejemplo para la elaboración de este trabajo, se pudieron hacer las siguientes observaciones en cuanto a la información inicial del Proyecto:

1. A pesar de que el equipo que realizó este estudio, obtuvo el Diseño original de la ampliación del Sistema, no se lograron encontrar tablas de información topográfica del sistema, por lo que la información topográfica fue obtenida directamente de los planos finales del proyecto, a través de un proceso de digitalización de los datos de cada PVS, tubería, infraestructura, etc.
2. La información hidráulica del sistema se obtuvo de la tabla de Modelación original de los diseñadores del Sistema.
3. No se encontró información de la curva de las bombas ni especificaciones técnicas de las mismas, que serán utilizadas en la Estación de Bombeo de aguas Residuales en Lomas de Andalucía.
4. Se obtuvieron planos de la red, los cuales tuvieron que ser mejorados por el Equipo para una mejor visualización del Sistema.
5. Pese a que faltó información para trabajar este proyecto, esta pudo ser extraída directamente de los planos del diseño.

La disponibilidad de la información de un proyecto, siempre es de utilidad no solo para el que revisa los diseños de los mismos, sino que también para toda la cadena de profesionales involucrados desde el diseño hasta la construcción y la operación y mantenimiento de los mismos. No contar con información topográfica del sistema en archivos editables de Excel, no permitirá que los cambios se realicen de la manera correcta, es decir, en la etapa constructiva, debido a las condiciones propias del lugar, se pueden tener cambios en la información presente en los planos, no tener tablas de esta información no permitirá el buen manejo de la misma en el futuro.

## **5.2. Procesamiento de datos y elaboración de base de datos en Microsoft Excel**

En base a la recopilación de información extraída de la documentación técnica del diseño de la Ampliación del sistema de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe, se creó una base de datos en Microsoft Excel que servirá para su uso en la introducción de los elementos en los programas EPASWMM y QGIS. Dicha base de datos consiste en:

1. Levantamiento de la información topográfica de 964 nodos, que incluyen 75 Cajas de Registro y 682 Pozos de Visita para el Sector Central y 33 Cajas de Registro y 174 Pozos de visita para el Sector Bombeo. Dicha información incluye las coordenadas, elevaciones de entradas, salida, profundidad, nombre de identificación del Pozo, nombre de la caja de Registro o accesorio, etc.
2. Se ordenó la información hidráulica de las tuberías del sistema, esta incluye 860 tuberías para el sector central y 234 tuberías para el Sector bombeo, que en total suman 1094 tuberías en la ampliación del Alcantarillado de Jinotepe y que equivalen a 43, 386. 909 m de tubería para el sector central y 10, 432.567m para el sector bombeo que en total sería 53, 819.476 m de ampliación al Sistema de Alcantarillado de Jinotepe. Además de la línea de impulsión de la EBAR al PVS de descarga (PVS 49), que consiste en una tubería de hierro de más de 270m que consta de distintos accesorios especiales como codos para los cambios de dirección, una válvula de limpieza y una válvula de aire, esta tubería se dividió en 4 partes gracias a dichos accesorios. En total, se introdujeron 1098 tuberías.
3. El ordenamiento consistió en la buena identificación de los dispositivos de inspección, es decir, todas las cajas de registro se nombraron con un "CR-" al inicio de su identificación y revisión de las tuberías faltantes. Además se incluyó la información de las tuberías referentes a sus longitudes, diámetros, pendientes, material, etc. Cabe resaltar que los materiales usados para esta ampliación fueron en su mayoría PVC (53, 348.449 m en total equivalente al 99.12%) y en algunos tramos se utilizó tubería de hierro fundido sobretodo en la línea de impulsión de la estación de bombeo (171.249 m) y de concreto, en una tubería aérea cercana a la PTAR (299.778m).

4. Se calculó el caudal nodal para una cantidad de 964 dispositivos de inspección, basándose en el caudal de las tuberías encontradas en las tablas de información hidráulica. Se pudo notar que casi todos los dispositivos del Sector Central tienen un caudal nodal de 0.15266lps, mientras que para el Sector bombeo, estos valores varían entre 0 y 2lps.

En campo, tener siempre la base de datos de un sistema es primordial para el buen manejo de los mismos, más allá de los planos, que son el primer base del sistema, lo más apropiado es tenerla en Excel para poder captar esa información en caso de que haya que hacer algún redimensionamiento o algún cambio en las pendientes de las tuberías, etc. La base de datos levantada como trabajo de gabinete puede visualizarse en el Anexo I de este trabajo monográfico.

### **5.3. AutoCAD**

Luego de la revisión de los datos de cada dispositivo, se encontró que el plano contenía pozos de visitas y cajas de registro con nombres de identificación erróneos, ejemplo de esto sucedió en el sector central, donde muchos pozos de visita no coincidían con el nombre de los datos hidráulicos provistos en el diseño. Se nombraron correctamente más de 50 pozos de visita con terminaciones equivocadas, ejemplo de estos, son aproximadamente 47 con terminación 14 que en realidad tienen terminación 18, es decir, sus caudales se conducían hasta el pozo 18, pero daban a entender que se conducían al 14. Los planos pueden encontrarse en el Anexo II.

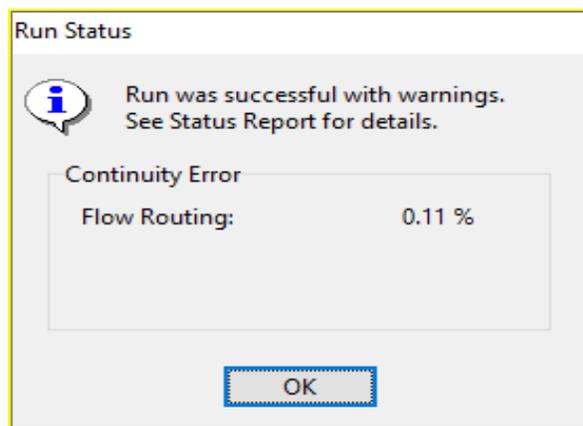
### **5.4. EPASWMM**

Como anteriormente se expresó, este programa sería utilizado para hacer la modelación hidráulica del Sistema de alcantarillado Sanitario, en base a los planos y datos de diseño presentes en la base de datos elaborada en Excel. La modelación se abarcó por sectores separados y de igual manera, juntando tanto el sector de bombeo como el central. Luego de seguir los pasos detallados en la sección 4.4.3.3 para el uso del programa, se hizo la Modelación hidráulica del sistema, encontrándose problemas en gran parte de la red de alcantarillado, este análisis se hizo en base a la

modelación del sistema total, incorporando la línea de impulsión y el sistema de bombeo de la EBAR de la ciudad.

La última simulación hidráulica del sistema completo dio como resultado un valor de 0.11% de error en la continuidad del sistema, lo que se logra apreciar en la imagen 5.1, lo que significa que bajo las condiciones introducidas al inicio pueden crear ciertos errores para representar las condiciones reales del sistema, sin embargo, los datos introducidos son confiables, pues tienen un error mucho menor al 10%. A continuación, se presentan los datos analizados luego de la simulación hidráulica.

*Imagen 5.1 Resultados Finales de Simulación Hidráulica*



*Fuente propia: programa EPASWMM 5.1*

#### **5.4.1 Diámetros**

Se encontraron una cantidad de 119 tramos de tuberías de 4", 794 tuberías de 6", 99 de 8", 25 de 10", 32 de 12", 2 de 14", 3 de 15" y 24 de 18". El 72.31% de tuberías son de 6". A pesar de que el alcantarillado condominial permite el uso de 4" para los ramales condominiales, se encontraron algunas secciones de tipo convencional con dicho diámetro, lo que no es recomendable para este tipo de sistema debido a que es más susceptible a las infiltraciones de las aguas pluviales de la ciudad, en este caso, un diámetro de 4" no generaría grandes problemas para la operación y mantenimiento del sistema, sin embargo, para tramos horizontales sobre la calle y alcantarillado de tipo convencional, lo más apropiado es un mínimo de 6". A continuación, se resume

en la Tabla 4.5, las longitudes de tubería por diámetro y por sectores y en la imagen 5.2 se puede apreciar el comportamiento de los diámetros en el sistema:

*Tabla 5.1 Longitud Total de tubería por diámetros.*

Longitud Total de Tubería en metros por diámetro.			
Diámetro	Sector Bombeo	Sector Central	Total
4"	2606.669	719.37	3326.039
6"	32044.35	8770.247	40814.59
8"	4247.494	623.618	4871.112
10"	796.256	278.984	1075.24
12"	1954.393	40.348	1994.741
14"	64.899	-	64.899
15"	290.624	-	290.624
18"	1382.228	-	1382.228
Total	43386.909	10432.567	53819.476

*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

*Imagen 5.2 Tuberías con 4" de diámetro*



*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

### **5.4.2 Caudales**

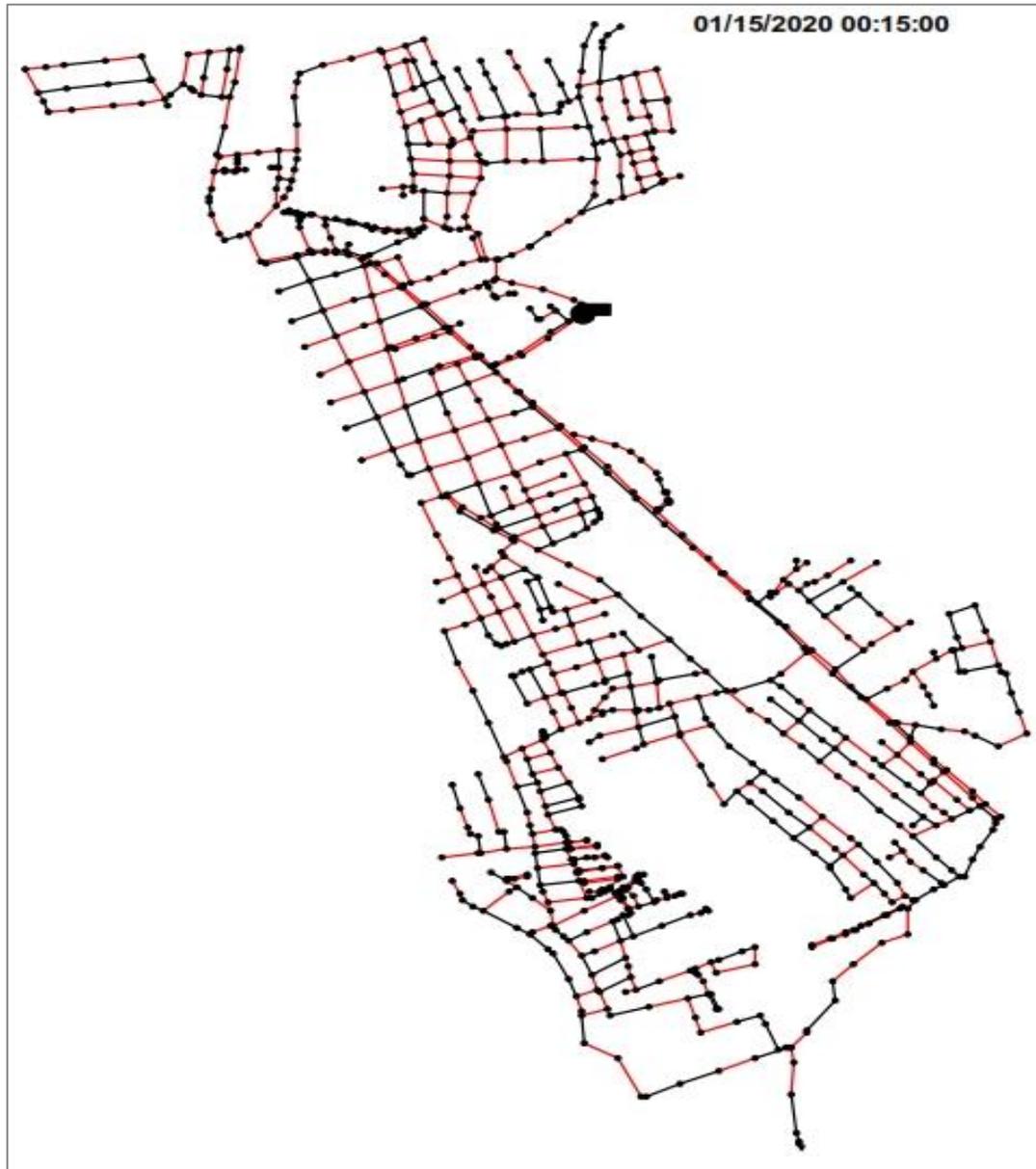
Se encontraron una cantidad de 682 tramos de tuberías con caudales menores a 1.50 lps, valor recomendado para hacer los diseños de las redes de alcantarillado sanitario. Esta cantidad equivale al 62.11% del total de las tuberías. Esto podría deberse a dos situaciones, la primera podría ser a un erróneo cálculo de los caudales aporte a la Red y la segunda, podría deberse a que los datos de caudales introducidos, son resultado de la modelación original del sistema y este asumió valores muy reales únicamente sobre infiltración y valores pequeños de aportes.

En cualquiera de los casos, estos datos fueron obtenidos directamente de las tablas de los resultados hidráulicos provistos a ENACAL del sistema, lo que tanto a los miembros de este trabajo monográfico como a cualquier persona que quiera analizar la red, le da a entender que estos son los datos reales del diseño. Para realizar un diseño de alcantarillado, lo mejor es garantizar las condiciones generales de diseño presentes en las normativas y bibliografía sobre el tema.

Generalmente los sistemas de alcantarillado sanitario son calculados para caudales de diseño, para este sistema lo más recomendable fue realizar un nuevo cálculo de caudales para verificar el funcionamiento con un mínimo de 1.50 lps, analizar todo el sistema de alcantarillado sanitario podría significar un rediseño completo de la red.

A continuación, se presenta en el grafico 5.3, el comportamiento de los caudales en la ampliación de la Red de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe, las tuberías de color rojo, son aquellas cuyo caudal es menor a 1.50 lps.

Imagen 5.3 Tuberías con caudales menores a 1.5lps



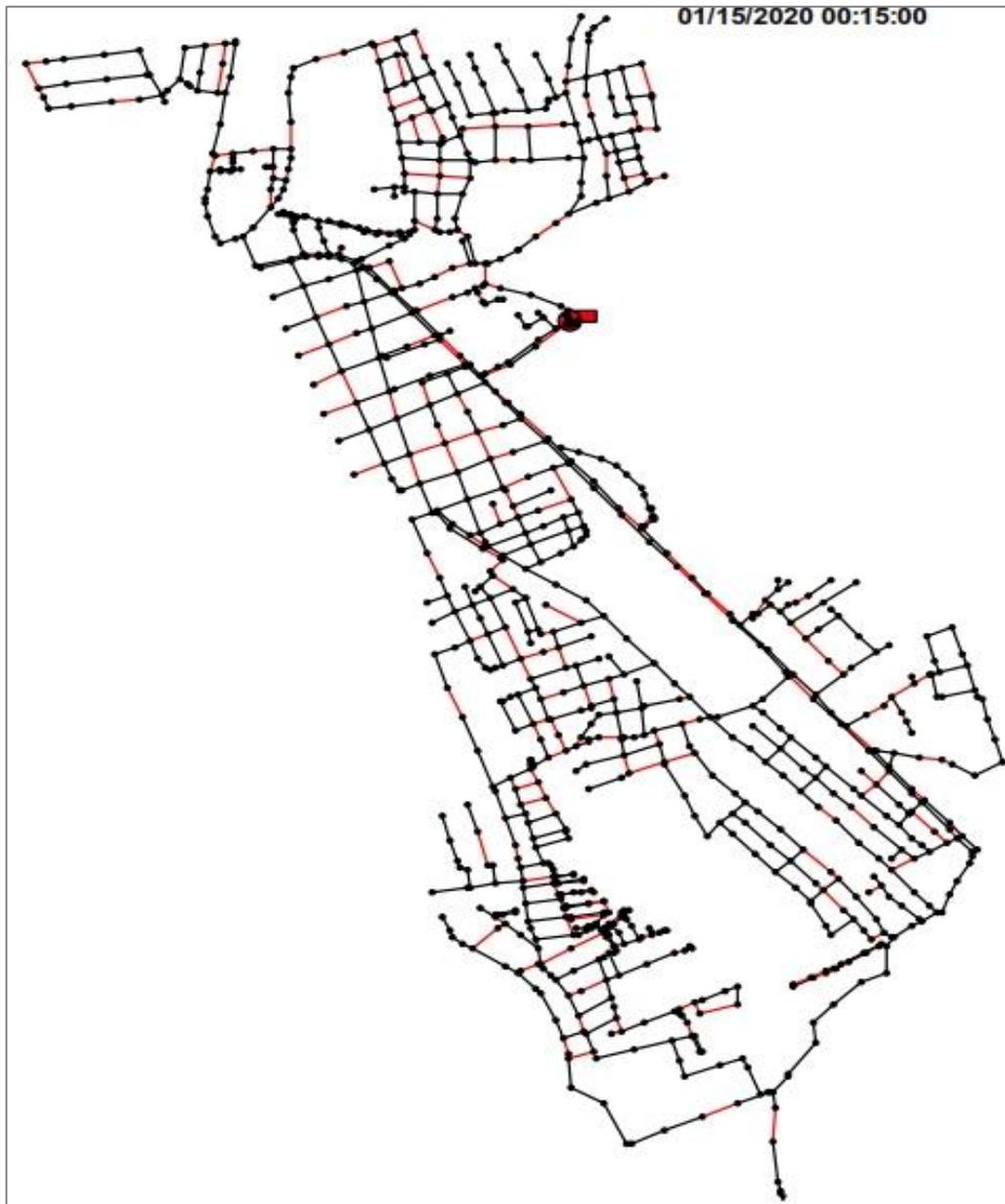
Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1

#### 5.4.3 Velocidades

Se encontraron una cantidad de 251 tuberías con velocidades menores a 0.3m/s y 1 con velocidad mayor a 3m/s, valores recomendados para garantizar el buen arrastre de sólidos en las tuberías y el flujo correcto de las aguas residuales, el

propósito es que la tensión tractiva sea mayor a 1 Pascal. Esta cantidad equivale al 22.95% del total de las tuberías. Esto puede deberse a los bajos caudales utilizados en el diseño de la red, es por esto, que a partir de este dato se seleccionaron las áreas pequeñas para el nuevo cálculo de la red. Se aprecia el comportamiento de las velocidades en la imagen 5.4.

*Imagen 5.4 Tuberías con velocidades menores a 0.3m/s*



*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

#### **5.4.4 Ocupación de la capacidad de la tubería**

Según la guía técnica de alcantarillado Sanitario, las colectoras hasta 375 mm de diámetro son diseñadas para trabajar, como máximo, a la media sección, destinándose la mitad superior de los conductos a la ventilación del sistema y a las imprevisiones y oscilaciones excepcionales. Resultado de la simulación hidráulica, se puede notar que unas 63 tuberías trabajan a más de media sección, que equivale al 5.7% del sistema, a pesar de que este valor es relativamente pequeño, se revisaron las tuberías que trabajan a más del 80% de su capacidad, como se aprecia en la imagen 5.5.

Se encontraron una cantidad de 6 tuberías con un porcentaje de ocupación mayor al 80%, dichas tuberías se encuentran ubicadas en sectores dispersos de la red, pero no sobrepasan el 86%, lo que es ligeramente aceptable en condiciones naturales de invierno, debido a que las tuberías están dispersas, un cambio de diámetro significaría el cambio de casi toda la red, gracias a que estas están en ubicaciones críticas. De estas 6 tuberías, 3 son de 6", 1 de 8" y dos se grafican en la línea de impulsión de la EBAR. Esto no significa que deba cambiarse la línea de impulsión, ya que esta simulación es para el caudal máximo en condiciones completamente críticas (de emergencia).

*Imagen 5.5 Tuberías con ocupación menor al 50% de su capacidad*



*Fuente propia: Programa EPASWMM 5.1*

#### **5.4.5 Altura de los pozos de visita**

En la ampliación de la red de alcantarillado sanitario de la ciudad de Jinotepe, existen 113 dispositivos de inspección con una altura menor a 1.2m, es decir, entre cajas de

registro y pozos de visita. Al verificarse, se pudo notar que 20 pozos de visita tienen alturas entre 0.7 y 1.2 metros de altura, la mayoría de estos son pozos cabeceros o aquellos a los que se conectan las redes Condominiales, lo que no representaría un problema hidráulico mayor. Claramente, lo mejor es tener cajas de registro con alturas menores a 1.2m y PVS de visita con alturas mayores a este número.

Basado en las guías técnicas y normativas nicaragüenses, a partir de los resultados de la simulación hidráulica se pudieron notar que existen algunos sectores que presentan más problemas, sobre todo con el aspecto de la velocidad. Si bien es cierto, todos los aspectos físicos e hidráulicos de la red son importantes, garantizar una buena velocidad del flujo, permitirá garantizar una buena tensión tractiva, para evitar el estancamiento de las aguas residuales y de los sólidos.

A partir de este dato se hizo la selección de las secciones a revisar. También se pueden ver gráficos de comportamiento en el Anexo III.

## **5.5. QGIS**

Cumpliendo con los objetivos planteados en esta investigación, se logró graficar el 100% de los elementos presentes en la ampliación del Sistema de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe, es decir, 964 dispositivos de inspección, 1094 tuberías y la línea de impulsión con sus accesorios e información especial.

Además de graficar los elementos antes descritos, se creó la base de datos para los mismos en el programa que consiste en la información específica de cada elemento. El mayor problema para este objetivo, fue la falta de la información ordenada del sistema, esto fue subsanado tal como se puede ver en el Anexo I, sin embargo, representó un completo atraso para este trabajo monográfico.

Las bases de datos incluyen la información original del proyecto, es decir, en estas bases de datos están los datos de diseño provistos a ENACAL para cada tipo de elemento. A continuación, se definen los datos presentes:

### 5.5.1 Tuberías

En el programa, todas las tuberías contienen en su base de datos, el nombre de identificación, la longitud, el nombre del nodo de salida y sus coordenadas, el nodo de entrada y sus coordenadas, el desnivel de salida y de entrada, la pendiente, el diámetro nominal, el caudal calculado, la velocidad, el material y el coeficiente de Manning. Tal información se puede apreciar en la imagen 5.6

*Imagen 5.6 Información de Tuberías en QGIS*

Nombre	Longitud	Nodo de Sa	Este	Norte	Nodo de En	Este_1	Norte_1
Desn Salid	Desn Entra	Pendiente	DN (m)	Caudal Ver	Velocidad	Material	Coef de Ma

*Fuente propia: QGIS 3.0.3*

### 5.5.2 Cajas de registro

En el programa, todas las cajas de registro contienen en su base de datos, el nombre de identificación, las coordenadas, el tipo (cajas de registro de arranque o cajas de inspección en la red), profundidad, largo y ancho (0.6 ambas según especificaciones técnicas del diseño original), elevación del fondo, elevación del terreno y el material (de concreto reforzado según especificaciones técnicas), estos aspectos se aprecian de mejor manera en la imagen 5.7.

*Imagen 5.7 Información de las cajas de Registro en QGIS*

Id	Este	Norte	Tipo	Profundida	Largo	Ancho	Elev Fondo	Elev Terr	Material
----	------	-------	------	------------	-------	-------	------------	-----------	----------

*Fuente propia: QGIS 3.0.3*

### 5.5.3 Pozos de Visita y accesorios

En el programa, todos los pozos de visita y accesorios contienen en su base de datos, como se logra apreciar en la imagen 5.8, tales datos son el nombre de identificación, las coordenadas, el tipo (pozo de arranque o pozo de inspección en la red y para los

accesorios: codo, válvula de limpieza o válvula de aire), profundidad, elevación del fondo, elevación del terreno y el material (de ladrillo cuarterón según especificaciones técnicas y hierro fundido para la tubería de impulsión).

*Imagen 5.8 Información de los Pozos de Visita y accesorios en QGIS*

Id	Este	Norte	Tipo	Prof	Elev fondo	Elev Terr	Material
----	------	-------	------	------	------------	-----------	----------

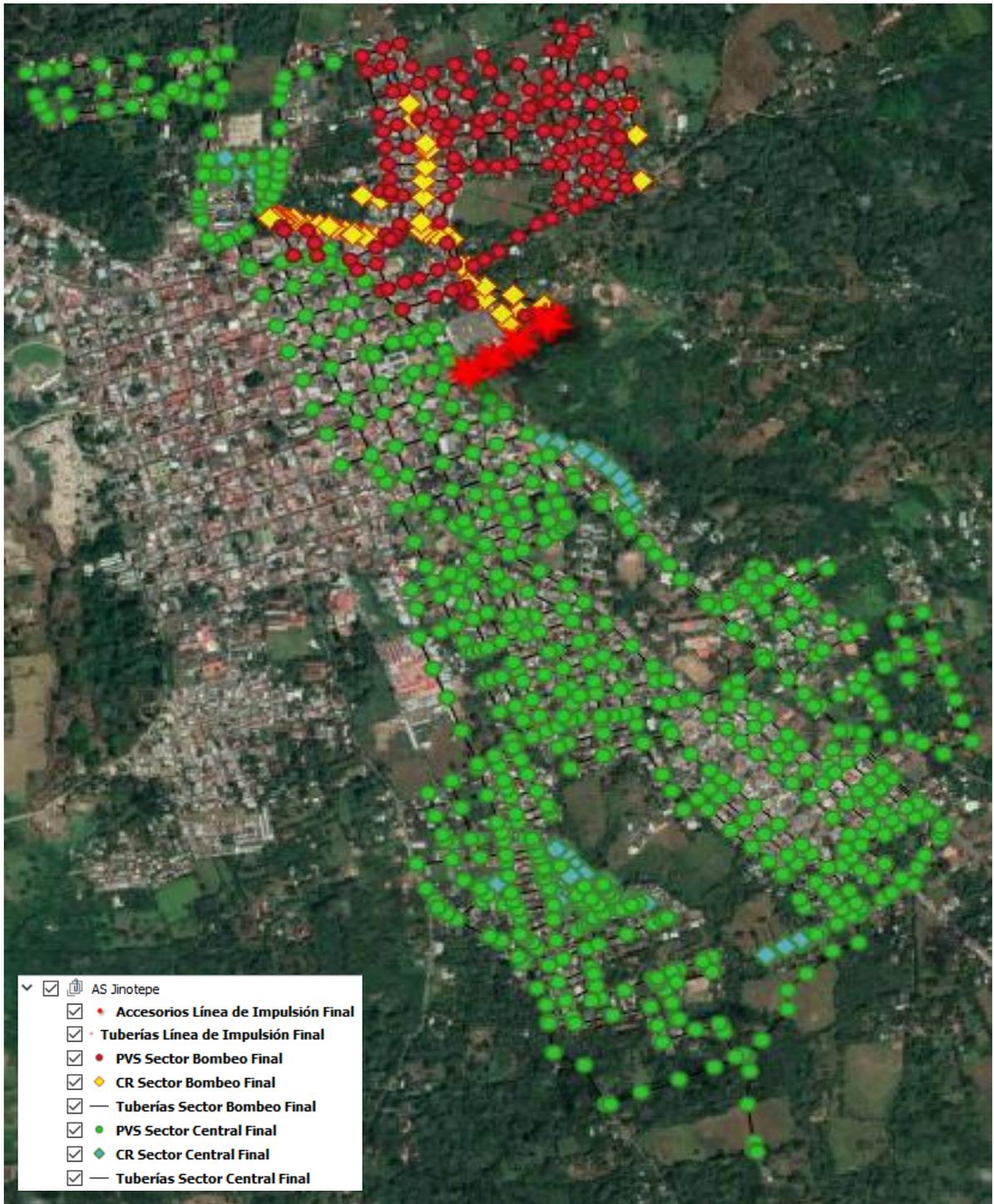
*Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3*

Las tablas con la información detallada de los distintos elementos se pueden encontrar en el Anexo IV.

Con la creación de la base de datos en el programa QGIS, se pretende crear una herramienta para las autoridades tanto de la ciudad de Jinotepe, como las autoridades centrales de ENACAL, que funcione como una base de datos originales y de cambios para el mejor control del sistema en un futuro.

A continuación en la imagen 5.9 se muestra la manera en la que se graficó el sistema en el programa QGIS:

Imagen 5.9 Representación gráfica de la Ampliación del Sistema de alcantarillado Sanitario de Jinotepe en QGIS



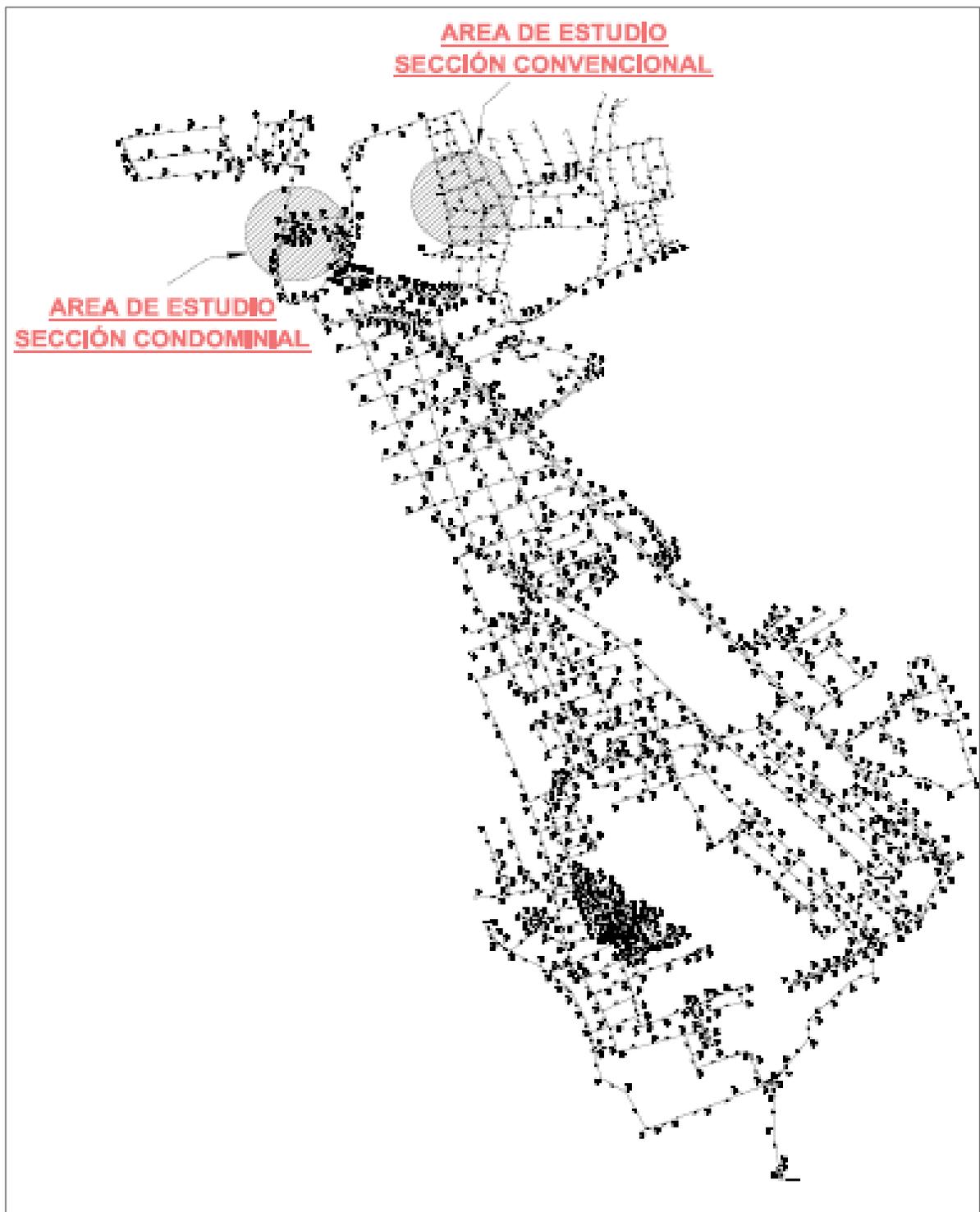
Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

## **5.6. Nuevo cálculo de la red de alcantarillado sanitario**

Como se dijo en el acápite 5.4, luego de la simulación hidráulica, se seleccionaron dos pequeñas áreas para hacer la revisión de los caudales y en todo caso revisar el redimensionamiento de la red si fuera necesario. Se seleccionaron dos áreas, debido a que se revisó una sección condominial y otra convencional.

Debido a la observación de las bajas velocidades y los caudales pequeños. Se decidió asumir caudales de diseño de 1.5 l/s y resultado del nuevo cálculo, las velocidades están dentro del rango óptimo y la tensión tractiva es mayor que 1 Pa. Con los caudales originales, la tensión era mucho menor a 1 Pa. A continuación, se presentan las tablas 5,6,7,8,9 y 10 de resultado de los cálculos, en general, no se asumieron valores nuevos para ningún aspecto a excepción de los caudales, sin embargo, se cambiaron algunos para garantizar los valores de norma (sombreados en amarillo). En la imagen 5.10 se pueden apreciar los sectores seleccionados para este nuevo cálculo.

Imagen 5.10 Sectores de estudio de alcantarillado condominial y convencional

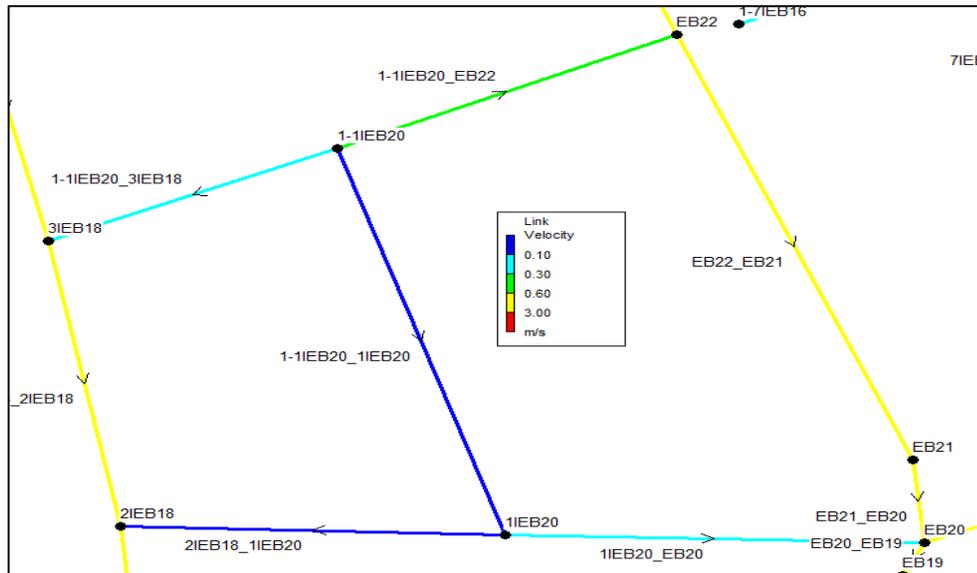


Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

### 5.6.1 Sistema convencional

En la imagen 5.11 se puede apreciar el área seleccionada para la revisión de una parte de alcantarillado convencional.

*Imagen 5.11 Área de Alcantarillado Convencional para nuevos cálculos.*



*Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3*

En las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 se muestran los cálculos hidráulicos y topográficos del sistema convencional, con los cambios realizados, los que básicamente se basan en el cálculo de caudales, tomando como mínimo el valor de 1.50 l/s, pues el valor calculado originalmente no permitía tener una velocidad y tensión tractiva óptima, teniéndose anteriormente valores por menores a los 3.00 m/s de velocidad y menos de 1Pa en tensión tractiva.

El nuevo cálculo de caudales se realizó en base al número de lotes aproximados que estarían conectados a las tuberías, para el cálculo del aporte por habitantes, incluyendo el cálculo de caudal de infiltración aproximado por ser tuberías de PVC y los caudales esperados por un aporte industrial, comercial e institucional según la Guía Técnica de INAA. La tensión tractiva con estos nuevos valores de caudal, dan mayores a 1.0 Pa., lo que garantiza el buen funcionamiento de la red.

Se utilizó una dotación de Agua Potable de 189 lppd debido que, dentro de la información del Proyecto, se tiene que la población de diseño estará dentro del rango de los 50,000 a 100,000 habitantes al período final del mismo.

Para los tramos 3 y 4 se cambiaron las pendientes debido a que el sistema ya tenía niveles y alturas de PVS asignados. Esto significa que habían datos de diseño de pendientes mayores, lo que arrojaba información de que los PVS eran más profundos de lo que decían los planos, por esa razón se asumieron pendientes para comprobar si las profundidades eran correctas. Se probaron diferentes valores de pendientes de tubería hasta coincidir con los valores de niveles reales.

Tabla 5.1 Datos de caudales para un sistema convencional

Cálculo de Caudales																
Tramo	PV (a.arriba)	PV (a.abajo)	ID tubería	Long (m)	Conexiones	Pob (hab)	Qm (l/s)	Harmon		Qmáx (l/s)	Qinf (l/s)	Qesp	Qdiseño lps			
								Calculado	Propuesto				Calc.	Proyecto	Propuesto	
1	1-1IEB20	3IEB18	1-1IEB20_3IEB18	40.922	5	30	0.053	4.355	3.000	0.158	0.001	0.008	0.167	0.18705	1.500	
2	1-1IEB20	EB22	1-1IEB20_EB22	48.438	9	54	0.095	4.308	3.000	0.284	0.002	0.015	0.300	0.21206	1.500	
3	1-1IEB20	1IEB20	1-1IEB20_1IEB20	70.9	10	60	0.105	4.298	3.000	0.315	0.002	0.017	0.334	0.29313	1.500	
4	3IEB18	2IEB18	3IEB18_2IEB18	50.79	95	570	0.998	3.944	3.000	2.993	0.002	0.160	3.154	3.87178	3.154	
5	2IEB18	1IEB20	2IEB18_1IEB20	50.269	105	630	1.103	3.920	3.000	3.308	0.002	0.176	3.486	0.19975	3.486	
6	1IEB20	EB20	1IEB20_EB20	54.634	112	672	1.176	3.905	3.000	3.528	0.002	0.188	3.718	0.72375	3.718	

Fuente propia: Cálculo propio en Programa Microsoft Excel

Tabla 5.2 Cálculos hidráulicos sistema convencional

Cálculos Hidráulicos																				
Tramo	Elev de PV (A. arriba)	Elev de PV (A. abajo)	Pendiente		Material	n de Manning	Diámetro (mm)	RhLL(m)	QLL (l/s)	VLL (m/s)	A (m2)	VD(m/s)	Vd/VLL	d/D	Qd/QLL	D(mm)	q (Rad)	rh/RhLL	rh	τ
			Terreno	Tubo															(m)	(Pa)
1	572.26	570.87	3.40	3.65	PVC	0.009	150.00	0.04	42.00	2.4	0.018	1.124	0.473	0.130	0.036	19.500	1.475	0.325	0.0122	4.36
2	572.26	570.68	3.26	3.25	PVC	0.009	150.00	0.04	39.64	2.2	0.018	1.081	0.482	0.134	0.038	20.100	1.499	0.335	0.0125	4.00
3	572.26	569.86	3.39	3.43	PVC	0.009	150.00	0.04	40.72	2.3	0.018	1.100	0.478	0.132	0.037	19.800	1.487	0.330	0.0124	4.16
4	570.87	570.39	0.95	1.15	PVC	0.009	150.00	0.04	23.59	1.3	0.018	0.931	0.697	0.248	0.134	37.200	2.085	0.582	0.0218	2.46
5	570.39	569.86	1.05	0.66	PVC	0.009	150.00	0.04	17.87	1.0	0.018	0.785	0.776	0.300	0.195	45.000	2.319	0.684	0.0256	1.66
6	569.86	566.85	5.51	5.72	PVC	0.009	150.00	0.04	52.59	3.0	0.018	1.719	0.577	0.180	0.071	27.000	1.753	0.439	0.0165	9.23

Fuente propia: Cálculos propios en Programa Microsoft Excel

Tabla 5.3 Cálculos topográficos sistema convencional

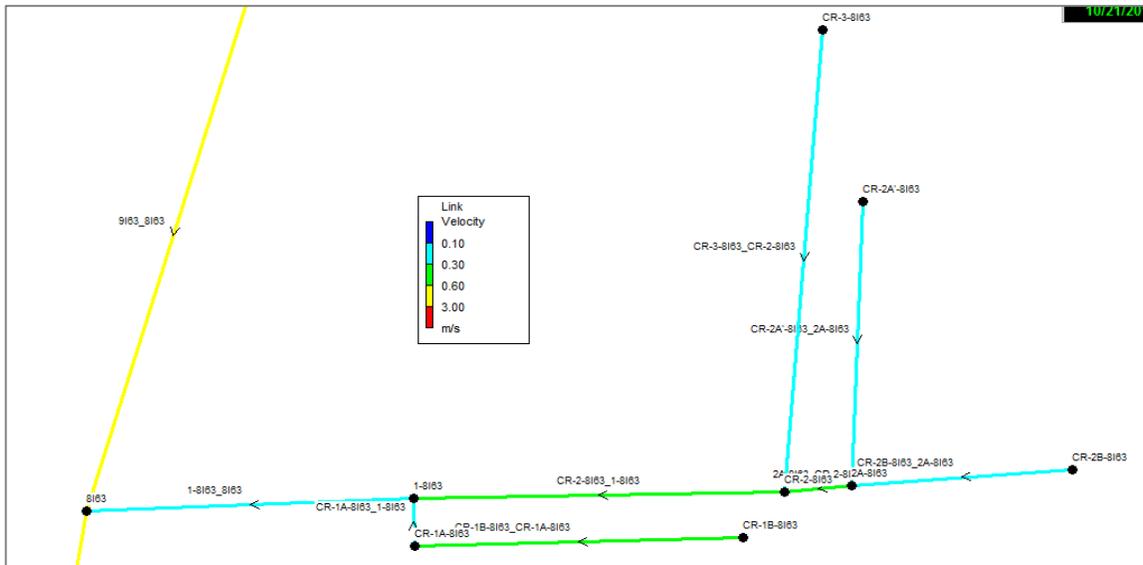
Cálculos Topográficos												
Tramo	Elev de PV (A. arriba)	Elev de PV (A. abajo)	Pendiente		Diámetro (mm)	VD(m/s)	Elevación invertida		Profundidad de excavación		HP	
			Terreno	Tubo			PV(a.arriba)	PV(a.abajo)	PV(a.arriba)	PV(a.abajo)	Calculada	Propuesta
1	572.26	570.87	3.40	3.65	150.00	1.124	570.90	569.41	1.36	1.49	0.02	0.03
2	572.26	570.68	3.26	3.25	150.00	1.081	570.90	569.26	1.36	1.45	0.01	0.03
3	572.26	569.86	3.39	3.43	150.00	1.100	570.90	568.47	1.36	1.42	0.02	0.03
4	570.87	570.39	0.95	1.15	150.00	0.931	569.38	568.80	1.49	1.62	0.01	0.03
5	570.39	569.86	1.05	0.66	150.00	0.785	568.77	568.44	1.62	1.42	0.01	0.03
6	569.86	566.85	5.51	5.72	150.00	1.719	568.41	565.29	1.45	1.56	0.04	0.04

Fuente propia: Cálculos propios en Programa Microsoft Excel

## 5.6.2 Sistema condominial

En la imagen 5.12 se puede apreciar el área seleccionada para la revisión de una porción de alcantarillado condominial, que incluye Cajas de registros.

Imagen 5.12 Área de Alcantarillado Condominial para nuevos cálculos.



Fuente propia: Programa QGIS 3.0.3

En el sistema condominial, no se hicieron más cambios que los de los caudales, como se puede ver en la tabla 5.4, se obtuvo un nuevo cálculo, tomando 1.50 l/s como valor mínimo para las tuberías. El nuevo cálculo se realizó en base a los lotes aproximados que estarán conectados a las tuberías para el cálculo del aporte por habitantes, incluyendo el cálculo de caudal de infiltración aproximado por ser tuberías de PVC y los caudales esperados por un aporte industrial, comercial e institucional según la Guía Técnica de INAA. La tensión tractiva con estos nuevos valores de caudal, dan mayores a 1.0 Pa., lo que garantiza el buen funcionamiento de la red, esto se puede apreciar en las tablas 5.5 y 5.6.

Se utilizó la misma dotación de Agua Potable de 189 lppd reportada en los cálculos anteriores y en base a la población previamente definida, se seleccionó el factor  $K=1.8$  para el cálculo de caudal máximo.

Tabla 5.4 Revisión de caudales alcantarillado condominial

Cálculo de Caudales														
Tramo	PV(a.arriba)	PV(a.abajo)	ID tubería	Long(m)	Conexiones	Pob(hab)	Qm(l/s)	K	Qmáx(l/s)	Qinf(l/s)	Qesp	Qdiseño		
												Calculado	Proyecto	Propuesto
1	CR-2B-8I63	2A-8I63	CR-2B-8I63_2A-8I63	16.517	9	54	0.095	1.800	0.170	0.000	0.015	0.186	0.153	1.500
2	2A'-8I63	2A-8I63	2A'-8I63_2A-8I63	22.436	2	12	0.021	1.800	0.038	0.001	0.003	0.042	0.153	1.500
3	2A-8I63	2-8I63	2A-8I63_2-8I63	5.06	11	66	0.116	1.800	0.208	0.000	0.018	0.226	0.458	1.500
4	CR-3-8I63	2-8I63	CR-3-8I63_2-8I63	36.521	2	12	0.021	1.800	0.038	0.001	0.003	0.042	0.153	1.500
5	2-8I63	1-8I63	2-8I63_1-8I63	27.645	15	90	0.158	1.800	0.284	0.001	0.025	0.309	0.763	1.500
6	CR-1B-8I63	CR-1A-8I63	CR-1B-8I63_CR-1A-8I63	24.499	5	30	0.053	1.800	0.095	0.001	0.008	0.103	0.153	1.500
7	CR-1A-8I63	1-8I63	CR-1A-8I63_1-8I63	3.721	5	30	0.053	1.800	0.095	0.000	0.008	0.103	0.305	1.500
8	1-8I63	8I63	1-8I63_8I63	24.421	24	144	0.252	1.800	0.454	0.001	0.040	0.494	1.221	1.500

Fuente propia: Cálculos propios en Programa Microsoft Excel

Tabla 5.5 Cálculos hidráulicos sistema condominial

Tramo	Elev de PV (A.arriba)	Elev de PV (A.abajo)	Pendiente		n de Manning	Diámetro (mm)	RhLL (m)	QLL (l/s)	VLL (m/s)	A (m2)	VD (m/s)	Vd/VLL	d/D	Qd/QLL	D (mm)	q (Rad)	rh/RhLL	rh	τ
			Terreno	Tubo														(m)	(Pa)
1	568.16	568.92	-4.60	0.67	0.009	100.00	0.03	6.09	0.8	0.008	0.644	0.830	0.340	0.2463	34.000	2.490	0.757	0.0189	1.2
2	569.54	568.92	2.76	3.36	0.009	100.00	0.03	13.67	1.7	0.008	1.144	0.658	0.224	0.1097	22.400	1.972	0.533	0.0133	4.4
3	568.92	569.03	-2.17	0.51	0.009	100.00	0.03	5.35	0.7	0.008	0.586	0.860	0.364	0.2805	36.400	2.591	0.798	0.0199	1.0
4	569.91	569.03	2.41	2.52	0.009	100.00	0.03	11.84	1.5	0.008	1.036	0.688	0.242	0.1267	24.200	2.057	0.570	0.0143	3.5
5	569.03	572.99	-14.32	0.54	0.009	100.00	0.03	5.46	0.7	0.008	0.595	0.855	0.360	0.2748	36.000	2.574	0.791	0.0198	1.0
6	569.23	569.60	-1.51	0.65	0.009	100.00	0.03	6.01	0.8	0.008	0.637	0.833	0.342	0.2496	34.200	2.499	0.760	0.0190	1.2
7	569.60	572.99	-91.10	0.48	0.009	100.00	0.03	5.19	0.7	0.008	0.573	0.868	0.370	0.2891	37.000	2.616	0.808	0.0202	1.0
8	572.99	568.57	18.10	0.59	0.009	100.00	0.03	5.71	0.7	0.008	0.613	0.843	0.350	0.2627	35.000	2.532	0.774	0.0193	1.1

*Tabla 5.6 Cálculos topográficos sistema condominial*

Cálculos Topográficos												
Tramo	Elev de PV (A. arriba)	Elev de PV (A. abajo)	Pendiente		Diámetro (mm)	VD(m/s)	Elevación invertida		Profundidad de excavación		HP	
			Terreno	Tubo			PV(a.arriba)	PV(a.abajo)	PV(a.arriba)	PV(a.abajo)	Calculada	Propuesta
1	568.16	568.92	-4.60	0.67	100.00	0.644	567.43	567.32	0.73	1.60	0.01	0.03
2	569.54	568.92	2.76	3.36	100.00	1.144	568.83	568.08	0.71	0.84	0.02	0.03
3	568.92	569.03	-2.17	0.51	100.00	0.586	567.90	567.87	1.02	1.16	0.00	0.03
4	569.91	569.03	2.41	2.52	100.00	1.036	568.51	567.59	1.40	1.44	0.01	0.03
5	569.03	572.99	-14.32	0.54	100.00	0.595	567.23	567.08	1.80	5.91	0.00	0.03
6	569.23	569.60	-1.51	0.65	100.00	0.637	568.52	568.36	0.71	1.24	0.01	0.03
7	569.60	572.99	-91.10	0.48	100.00	0.573	568.33	568.31	1.27	4.68	0.00	0.03
8	572.99	568.57	18.10	0.59	100.00	0.613	570.65	570.51	2.34	-1.94	0.00	0.03

*Fuente propia: Cálculos propios en Programa Microsoft Excel*

## **VI Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

1. Mediante esta investigación, se ha construido una metodología de evaluación de las Redes de un alcantarillado sanitario con ayuda de los softwares libres QGIS y EPA SWMM, aplicados al sistema de alcantarillado de la ciudad de Jinotepe, Carazo.
2. Debido a que se necesitaba realizar la simulación hidráulica en el programa EPASWMM y la base de datos en el programa QGIS, se creó una base de datos previa en Excel en base a los planos del diseño original del sistema, los cuáles a su vez, fueron ordenados para un mejor entendimiento de las redes en estudio.
3. En base a la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Jinotepe realizada en EPASWMM, se pudieron ver problemas en cuánto a los caudales, velocidades y tensión tractiva del sistema. Debido al cálculo de caudales menores 1.5 l/s, se pudo ver que una gran cantidad de tuberías tienen velocidades por debajo de 0.3m/s lo que, a su vez, hace que la tensión sea menor a 1Pa.
4. Se graficó el 100% de la Ampliación de la red de alcantarillado sanitario de Jinotepe en el programa QGIS y se añadieron los datos de todos los elementos del sistema, con el propósito de proveer de una herramienta de gestión de la información de la red a las autoridades involucradas.
5. Se añadieron la mayoría de las funciones utilizables en los programas, sin embargo, siempre es posible añadir mayor información sobre estos, pero dada a la magnitud de esta investigación solo se explican los primordiales con los fines descritos inicialmente.
6. Los resultados obtenidos en el desarrollo del ejemplo práctico muestran una variación porcentual muy baja, en comparación con los resultados obtenidos en el

nuevo cálculo de las pequeñas secciones, la variación de los resultados puede deberse a la precisión numérica que se maneja en la calculadora interna del programa.

7. Con ayuda de ambos programas, se facilita el acceso a la información de los elementos, ya que se integran en ambos, la representación topográfica, información hidráulica y visualización de los resultados del modelamiento hidráulico de los pozos, cajas de registro, tuberías, estación de bombeo y planta de tratamiento. Esto representa un ahorro en tiempo, recursos y dinero, los reportes se presentan de una forma que pueden ser exportados a cualquier programa para una mejor presentación, sobre todo a Excel (los datos tabulares) y PDF, JPEG o DXF (los datos gráficos).

8. Una de las mayores utilidades de lo desarrollado en esta investigación, es que, en caso de querer realizar cambios en el sistema representado, solo se deben cambiar los datos en el programa y esta automáticamente calculará la información que se necesite.

## 6.2 Recomendaciones

1. Para poder realizar cualquier simulación hidráulica en el programa EPASWMM o una base de datos en el programa QGIS, se recomienda tener una base de datos previa principalmente en Excel o en algún tipo de archivo cuya información sea de fácil acceso y uso para su digitalización en los programas. Es de mayor utilidad si el sistema ya se tiene en AutoCAD, si los datos ya se tienen tabulados o al menos ordenados, problema que fue presentado en esta investigación, pues no se contaba con información ordenada.
2. A pesar de ser programas especializados, el usuario de los mismos no necesita ser un experto para poder realizar las actividades antes descritas, sin embargo, se recomienda el estudio de las bases hidráulicas del programa EPASWMM para comprender los resultados obtenidos en la simulación hidráulica, además del adiestramiento en el programa QGIS.
3. Se recomienda crear continuos respaldos de la información de ambos programas, sobre todo las hojas de Excel exportables e importables a los programas, pues al realizar un pequeño cambio en algún elemento, todo el sistema podría sufrir cambios.
4. Se recomienda en EPASWMM el uso continuo de la opción MAP del panel informativo, para el gráfico del comportamiento de todos los aspectos hidráulicos del sistema.
5. Con el objetivo de disminuir el tiempo usado en la digitación de todos los datos del sistema en ambos programas, se sugiere que las bases de datos iniciales se apropien a las bases de datos importables a ambos programas, pues al hacer esto, se reduce el tiempo usado en el proceso descrito en este trabajo monográfico.
6. El programa EPASWMM es un auxiliar de diseño y de modelación hidráulica, que no sustituye en un 100% los métodos convencionales en hojas de Excel u otros programas con el mismo fin. Se aconseja realizar una revisión de los datos, antes de declararlos 100% confiables, o garantizar una configuración inicial detallada que represente los datos que se abarcan en las normativas del país.

7. Los aspectos considerados en este trabajo, pueden servir para conocer las herramientas adicionales que presenta el programa y que exploran otras áreas que pueden ser objeto de estudio para futuros trabajos.
8. Siempre que se realice una revisión o un diseño de un alcantarillado sanitario, se aconseja auxiliarse de bibliografía del campo, además de las normativas nicaragüenses.
9. Se recomienda que esta metodología sea aplicada y se adecue a sistemas de Alcantarillado Sanitario simplificado y las redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos, donde el concepto es el mismo, sin embargo, se deberán tomar en cuenta las normativas apropiadas para la revisión de los aspectos técnicos.
10. Se recomienda ampliamente el uso de ambos programas, que no tienen ningún costo para quien desee usarlos y a la vez dar a conocer e incentivar a los alumnos de ingeniería civil sobre implementar estos programas como auxiliares de trabajo para una nueva generación de ingenieros.

## VII Bibliografía

1. Anuario Estadístico 2015. Instituto Nacional de Información de Desarrollo. 2015.
2. Cortés, Manuel E., Iglesias Miriam. (2004). “Generalidades sobre Metodología de la Investigación”. Campeche, México.
3. Universidad Veracruzana. (2010). “Guía Técnica para la Elaboración de Procedimientos”. Veracruz, México.
4. Pacajoj Ixquiac, S. (2014). “*APLICACIONES PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLADOS DEL PROGRAMA AUTOCAD® DESARROLLO DE URBANIZACIONES (LAND DEVELOPMENT DESKTOP R2.)*”. Managua, Nicaragua.
5. Baldizón A., María E. *Apuntes de Ingeniería Sanitaria I*. Curso de Sanitaria 2017 UNI. Managua, Nicaragua.
6. Lazo Sandoval, E. (2016). “*Aplicación de softwares libres en sistemas de alcantarillado sanitario en Nicaragua, tomando como estudio de caso el sistema de alcantarillado sanitario existente del casco urbano de la ciudad de Boaco en el período octubre 2015 a mayo 2016*”. Managua, Nicaragua.
7. <https://www.epa.gov/>
8. <https://www.QGIS.org/es/site/>
9. ENACAL. (2017). “*Estudio de Factibilidad y Diseño Final del Proyecto Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alcantarillado Sanitario de la Ciudad de Jinotepe, Departamento de Carazo*”. Managua, Nicaragua.
10. ENACAL (2013). “*Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*”. Nicaragua.

## **ANEXOS.**

**ANEXO I.** Base de datos levantada como trabajo de gabinete.

**ANEXO II.** Planos de la ampliación de la Red de Alcantarillado Sanitario de la ciudad de Jinotepe por Sectores Mejorados.

**ANEXO III.** Gráficos de EPASWMM del comportamiento hidráulico de la Red de Alcantarillado Sanitario.

**ANEXO IV.** Bases de datos de los elementos de la Red de alcantarillado Sanitario de QGIS.

**ANEXO V.** Fotos de visita de Campo realizada a la Red de Alcantarillado Sanitario existente de la ciudad de Jinotepe.



Recorrido por la red existente del Alcantarillado Sanitario de Jinotepe.





Recorrido por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales actual de Jinotepe.

