

**Sistemas de Información Geográfica SIG para la Construcción de Modelos de Redes de
Distribución de Agua Potable**

Libardo José Murillo Anacona

Diplomado en Ingeniería Ambiental y Herramientas Aplicadas en Recursos Hídricos

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento de Ingeniería Civil
Pamplona Norte de Santander

2022

**Sistemas de Información Geográfica SIG para la Construcción de Modelos de Redes de
Distribución de Agua Potable**

Libardo José Murillo Anacona

Monografía de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Ing. Sánchez Tapiero Diego Iván

Universidad de Pamplona

Facultad de ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil

Pamplona Norte de Santander

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente de Jurado

Jurado 1

Jurado 2

DEDICATORIA

Dedicado principalmente a Dios, seguido de mis padres José A. Murillo y Dora M. Anacona por apoyarme y motivarme en realizar este proyecto de vida, a mis hermanos por estar presente en este proceso, mi novia por alentarme y ayudarme en esta meta, por último, a amigos y colaboradores que me acompañaron durante la formación.

Libardo José Murillo Anacona

AGRADECIMIENTOS

Yo, LIBARDO JOSÉ MURILLO ANACONA, expreso mis agradecimientos a:

La UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, institución educativa que me abrió sus puertas para cursar mis estudios de pregrado.

Al ingeniero, DIEGO IVÁN SÁNCHEZ TAPIERO, director de trabajo de grado.

Y por último a cada uno de los docentes y profesionales de la UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, que aportaron cada uno de sus conocimientos durante mi formación éticamente y profesionalmente.

TABLA DE CONTENIDO

NOTA DE ACEPTACIÓN.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	14
2.1. Definición de Sistemas de Información Geográfica	14
2.2. Origen y Desarrollo.....	15
2.3. Usos de los Sistemas de Información Geográfica.....	17
2.4. SIG Aplicados a la Ingeniería Civil	18
2.5. Tipos de Programas Aplicados en SIG	19
2.5.1. ArcGIS PRO:.....	19
2.5.2. QGIS:.....	21
2.5.3. Global Mapper:.....	23
2.5.4. AutoCAD Map 3D:	24
2.5.5. Bentley Map:	25
2.5.6. GvSIG:.....	26
2.5.7. Arc View GIS 3. 2ª	26
2.6. Comparativa de los Softwares de Información Geográfica	28
2.6.1. Diferencias de los softwares.	29
2.6.2. Diferencia entre un SIG y un CAD	30
2.7. Componentes de un SIG	30

2.7.1. Hardware:	30
2.7.2. Software:.....	31
2.7.3. Datos:.....	31
2.7.4. Metodología:.....	31
2.7.5. Sistemas de referencia y georreferenciación	31
2.8. Características de los SIG	32
2.8.1. Mapas interactivos.....	32
2.8.2. Tipos de datos geográficos.	33
2.8.3. Modelos de geoprocésamiento	34
2.8.4. Modelo de datos	34
2.8.5. Metadatos	34
2.9. Análisis Espacial	34
2.9.1. Análisis de vecindad.....	34
2.9.2. Análisis de proximidad.....	35
2.9.3. Superposición topológica	35
2.9.4. Análisis de redes.....	35
2.10. Ventajas y Desventajas de los SIG	35
2.10.1. Ventajas	35
2.10.2. Desventajas.....	36
2.11. Errores en el Uso de los SIG.....	36
3. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE RDAP.....	37
3.1. Calidad del Agua.....	37
3.2. Ciclo Integral del Agua.....	38
3.3. Componentes de las Redes de Distribución de Agua Potable RDAP.....	38
3.3.1. Tuberías:	39

3.3.2. Hidrantes:	39
3.3.3. Válvulas:	39
3.3.4. Accesorios especiales:	39
3.4. Formas de Distribución.....	40
3.4.1. Por gravedad:	40
3.4.2. Por bombeo:.....	40
3.4.3. Distribución mixta:	40
3.5. Softwares de Simulación de Redes de Abastecimiento	40
3.6. Descripción del Simulador software EPANET.....	41
3.6.1. Características de un modelo hidráulico.....	42
3.6.2. Componentes físicos en el software EPANET	43
3.6.3. Componentes no físicos en el software EPANET	48
3.7. Descripción del Simulador WaterCAD	50
3.7.1. Parámetros de los análisis.....	51
3.7.2. Componentes de WaterCAD	52
4. METODOLOGÍA	54
4.1. Uso de los SIG en la Construcción de Modelos de Redes de Distribución de Agua Potable (RDAP)	54
4.1.1. Tecnologías relacionadas.....	55
4.1.2. Desarrollo de los SIG en las redes RDAP	56
5. INVESTIGACIÓN	57
5.1. Fuente de Información Utilizada en la Investigación	57
5.1.1. Investigación nacional	58
5.1.2. Investigación internacional.....	69
6. CONCLUSIONES	73
7. REFERENCIAS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Esquema de modelado de datos en SIG. -----	15
Figura 2-2 Modelos de datos software ArcGIS.-----	20
Figura 2-3 Modelo de datos software QGIS. -----	22
Figura 2-4 Modelo de datos software Global Mapper. -----	23
Figura 2-5 Dibujo obtenido mediante el software AutoCAD Map 3D. -----	24
Figura 2-6 Modelo de datos software Bentley Map. -----	25
Figura 2-7 Modelo de datos software gvGIS. -----	26
Figura 2-8 Modelo de datos software Arc View GIS 3. 2ª -----	27
Figura 2-9 Comparativa de un modelo ráster y uno vectorial. -----	33
Figura 3-1 Distribución de red hidráulica. -----	37
Figura 3-2 Sistema de funcionamiento de una PTAP. -----	38
Figura 3-3 Modelo de datos software EPANET.-----	42
Figura 3-4 Componentes físicos en una RDAP: -----	43
Figura 3-5 Curvas de funcionamiento de bombas. -----	49
Figura 3-6 Curva de rendimiento. -----	49
Figura 3-7 Curva de volumen. -----	50
Figura 3-8 Modelo de datos software WaterCAD. -----	51
Figura 3-9 Esquema del software WaterCAD. -----	53
Figura 4-1 Componentes de los sistemas de información. -----	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Comparativa software SIG. -----	28
Tabla 3-1 Ecuaciones de perdidas (perdidas en ft y caudal en cfs)-----	46
Tabla 3-2 Coeficiente de rugosidad. -----	46
Tabla 3-3 Coeficiente de rugosidad Darcy - Weisbach. -----	46
Tabla 3-4 Coeficiente de perdidas menores. -----	47

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Ecuación de perdidas Darcy-Weisbach.-----	45
Ecuación 2 Ecuación de perdidas menores.-----	47

RESUMEN

El objeto de estudio de esta investigación es la aplicación de software de sistemas de información geográfica (SIG), a través de la investigación teórica de programas libres y privados (de pago) para el manejo de datos alfanuméricos y espaciales como ArcGIS, QGIS, Global Mapper, entre otros.

Estos programas tienen la particularidad de ser aplicados para la elaboración de simulaciones o modelos de redes de distribución de agua potable (RDAP), proyectos de carreteras, puentes, etc. Con la relación de los programas de dibujo asistido por CAD, que cuentan con información técnica de cada uno de los proyectos.

Finalmente, se describe el proceso descrito por cada uno de los autores al simular RDAP utilizando software de código abierto y privado, con el fin de conocer la interacción de cada uno de los componentes de la red, para así conocer su velocidad, presión, pérdidas que se pueden presentar en las redes.

Palabras clave: Redes de distribución de agua potable (RDAP), Modelización, Software, Sistemas de Información Geográfica (SIG).

ABSTRACT

The object of study of this research is the application of geographic information systems (GIS) software, through the theoretical investigation of free and private (paid) programs for the management of alphanumeric and spatial data such as ArcGIS, QGIS, Global Mapper, among others.

These programs have the particularity of being applied for the elaboration of simulations or models of potable water distribution networks (DNWD), road projects, bridges, etc. With the relation of the CAD assisted drawing programs, which have technical information of each one of the projects.

Finally, it describes the process described by each of the authors when simulating DWDN using open source and private software, in order to know the interaction of each of the components of the network, to know their velocity, pressure, losses that may occur in the networks.

Key words: Drinking water distribution networks (DWDN), Modeling, Software, Geographic Information Systems (GIS).

1. INTRODUCCIÓN

El ser humano en su preservación y obtención de los recursos básicos, ha habitado cerca de los afluentes (ríos, lagos, quebradas), estableciéndose en la construcción de pequeñas a grandes ciudades, lo que está directamente vinculado con el tratamiento y potabilización del agua cruda para su sustento, durante el paso del tiempo el ser humano se ha ingeniado en tratar y distribuir este líquido vital a cada uno de los habitantes, construyendo una serie de canales, hasta llegar con la idealización y elaboración de RDAP. Pero la selección de este tipo de distribución tiene sus problemas y limitaciones a la hora de prestar un nuevo servicio a nuevas localidades o proyectos.

Con la invención de ordenadores y el estudio geoespacial, se realiza la implementación de los SIG, se usa para optimizar los tiempos en la parte de diseño, modelo de nuevos tramos de red, como también de su reparación y operación. Se define los SIG “como el grupo de herramientas o datos que permiten al usuario la captura, almacenamiento, procesamiento y por último la representación gráfica de la información geográfica con sus respectivos atributos” (Sandoval et al., 2013, p. 113).

Este tipo de sistemas se enlazan para crear modelos relacionados en la proyección de RDAP, para obtener datos georreferenciados y tener información con exactitud los puntos, tramos de tubería con su respectiva cota, pendiente, entre otras cosas. Además de darle la proyección a nuevas secciones de tramos de tubería, también establecer operaciones de mantenimiento y seguimiento mediante el análisis temporal de posibles adicciones de la red.

2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

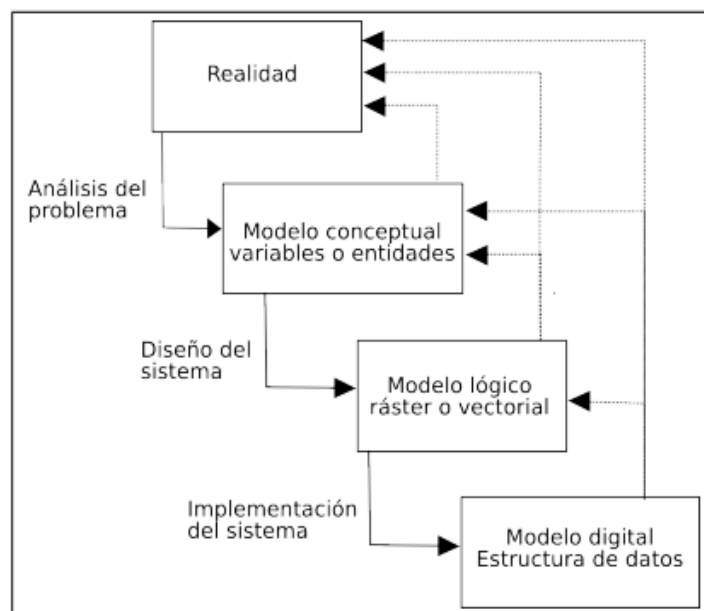
2.1. Definición de Sistemas de Información Geográfica

Como definición del SIG, para (Bartolin, 2013) describe lo siguiente “como sistemas o métodos donde se recolecta, almacena, verifica, manipula y analiza los datos espacialmente georreferenciados sobre la superficie de la Tierra” (p. 41). Otras definiciones de los sistemas de información se tienen lo siguiente:

Permite la recolección de cualquier tipo de información o dato que contenga una localización geográfica, representados mediante capas llenas de información como la distribución de edificios, recursos, representación política de municipios, ciudades, países, etc. Estos sistemas es la mezcla de los softwares, hardware y datos geográficos, los cuales se muestran en una representación gráfica, los SIG están elaborados para la captura, almacenamiento, manipulación y su posterior análisis para la interacción de datos espaciales para ultimo entregarlos de manera lógica y coordinada. (Ministerio de Educacion Nacional, 2010)

Como se ha afirmado antes, la aplicación de programas de los SIG es la obtención de la información espacial, bajo condiciones de manejabilidad, compresión y versatilidad en la entrega de datos; disminuyendo en una cantidad considerable de tiempo la interpretación y su posterior aplicación a actividades de ingeniería, economía y sectorización de la información.

Los SIG; manejan los siguientes procesos para la obtención de los resultados con valores de la realidad, la compilación de las variables, luego el diseño del sistema y por último la implementación en cualquier área de trabajo, tal y como se pueden observar en la figura 2-1.

Figura 2-1 Esquema de modelado de datos en SIG.

Fuente: (Sarría, 2014); “Sistemas de información geográfica”; Universidad de Murcia; 2014.

2.2. Origen y Desarrollo

Después de que los griegos hicieran la aportación de la representación cartográfica, para el año de 1854 el médico inglés John Snow implementó los planos cartográficos del distrito Soho con su respectiva fuente de abastecimiento de agua pública, superponiéndolos con los decesos producidos por los focos de cólera, lo que dio como resultado la fuente de epidemia que se propagaba por el consumo del agua contaminada, que estaba pasando en el distrito de Soho en Londres por ese momento. La conclusión de John Snow después de la observación con respecto a la fuente de abastecimiento a su alrededor se produjeron más de 500 decesos en tan solo 10 días, con esta implementación de una forma convencional se realiza el primer análisis espacial (Siabato, 2018)

Para el autor (López Lara et al., 2019) afirma que el inicio de los SIG; sucede con el cambio de los formatos analógicos como por ejemplo la cartografía convencional, al formato

digital, mediante al desarrollo de los sistemas, software y hardware durante el paso del tiempo (p. 2)

Con la carrera del hombre para llegar a la luna y el lanzamiento del primer satélite artificial, se crea el enlace de los ordenadores para el análisis de la información espacial, mediante esta implementación se maneja una gran cantidad de datos, además de aumentar la velocidad de acceso estos mismos, la reducción de los costes en el proceso de los planos cartográficos y su respectiva actualización. (López Lara et al., 2019, p. 2)

Para la década de los 60, se crean los primeros prototipos GIS como SYMAP, GRID, IMGRID entre otros, estos eran muy costosos y su finalidad se empleaba para la impresión de mapas.(Bartolin, 2013, p. 42)

En el año de 1964, se realiza la gran aparición de los SIG con la aplicación del geógrafo Roger Tomlinson, el cual pretendía analizar, manipular y el análisis de datos de tierras de Canadá (Canadá Land Inventory), con el desarrollo del banco de datos el cual fue denominado como Canadian Geographic Information System (CGIS), este incluía un sistemas de coordenadas y codificación de líneas para la integración de topologías, además de ordenar y almacenar la información los elementos con sus respectivos atributos y su localización en el espacio, con el que se extendió la cartografía mejorando su análisis espacial con la realización de mediciones, digitalizar y escaneo de datos con la finalidad de representarlos en capas. (López Lara et al., 2019, p. 2)

Para los años de 1970 en adelante, con el uso de los CAD se mejora la productividad para la creación de los mapas dentro de la cartografía, y con la mejora de los hardware y el perfeccionamiento de los software y por último la aceptación de profesionales, se afianza la expresión de los SIG, encaminado a la solución de problemas prácticos, para los años ochenta se

desarrolla los proyectos Map Overlay and Statiscal System con el surgimiento de CARIS, ESRI, M&S Computing como lo principales softwares comerciales.

Al mismo tiempo se implementa el concepto orientado a objetos dentro de SIG, donde se aplicó para los nuevos conceptos relacionados a cada entidad como, por ejemplo, la topología, atributos, geometría y simbología. (MasterGIS, 2022)

Para el siglo XXI surge el crecimiento de software de código libre, la fotografía aérea, imágenes satelitales, los cuales realizan la observación constante de fenómenos ocasionados en la superficie, por otro lado, la aparición de avances en los hardware la información es tomada de la captura de satélites, los sistemas de posicionamiento global GPS, entre otros. Información que es muy utilizada en el ámbito de la ubicación de elementos mediante el geoposicionamiento a la representación de datos, por ejemplo, marketing, emergencias, mercadeo, área de las ingenierías para la delimitación y proyección de nuevas estructuras, estudios de cambio climático, etc. Los sistemas de información es uno de los métodos más utilizados para el ser humano para la vida cotidiana. (Bartolin, 2013, p. 43)

2.3. Usos de los Sistemas de Información Geográfica

Las aplicaciones en campo de estas tecnologías son muy amplias debido a la base de datos que acceden, analizando su información con una mayor facilidad, que los sistemas convencionales, se realiza la incorporación de esta metodología en las siguientes prácticas como:

1. Aplicación en la planeación y ordenamiento territorial.
 - Planes de ordenamiento territorial y catastral, utilizado en la creación de mapas interactivos de las delimitaciones de localidades, barrios dentro de las ciudades o pueblos.
2. Aplicación para estudios ambientales.

- Bases de datos para la modelación de cuencas hidrográficas, estudios de precipitaciones, inundaciones y mediciones de especies o fauna, de tipo forestal, cambios en el uso del suelo.
3. Aplicación en el análisis de comercio y mercado.
 - Censos de la población y económicos, estudios de mercados mediante los procesos de geomarketing o geo demografía y áreas de influencia.
 4. Aplicación en la infraestructura.
 - Se realiza el trazado y la planificación de estructuras de transporte en la determinación de caminos para el mantenimiento y futuras proyecciones de nuevas vías y sistemas de navegación.(López Lara et al., 2019, p. 196)
 5. Aplicación en la infraestructura básicas.
 - Se utiliza para el trazado de redes eléctricas, distribución de agua sanitaria, potable, de gas, etc. Proyectando nuevos trazados, conectividad y evaluaciones económicas como técnicas.

2.4. SIG Aplicados a la Ingeniería Civil

Según los autores, (Mejía-Pedrero & Ruíz-Tapia, 2011, p. 40) describe lo siguiente, en cuanto a las formas y usos de esta tecnología en las aplicaciones de los SIG son muy extensas dando al usuario la experiencia, la imaginación, claridad de los objetos, simulación, proyección de diferentes aplicaciones, para un correcto entendimiento de los objetos en el espacio.

En la ingeniería civil se pueden realizar las siguientes aplicaciones en el manejo de este tipo de softwares dirigidos a la recolección de información espacial y geográfica:

- Trazado de vías, como el alzado de perfiles, detalles y por último en las secciones longitudinales.

- Modelación de redes sanitarias y redes de distribución, con la creación de simulaciones de todo un sistema para analizar su comportamiento y desempeño.
- Modelación de inundaciones, niveles de escorrentía se realiza con la relación de datos de batimetría, topografía para obtener la información de los causes de ríos, quebradas, en otros, delimitando mediante fronteras de estudio para entregar valores de la proyección de 1D y 2D.
- Trazado de lotes o predios, cálculo de movimiento de tierras, es la aplicación más usada en la información geográfica, debido a la interacción con las entidades municipales o distritales en la aplicación de planes de ordenamiento territorial (POT) y catastro.

2.5. Tipos de Programas Aplicados en SIG

Para el uso de los SIG, hay varias aplicaciones destinadas al proceso de imágenes cartográficas; los cuales, están destinados de un sistema libre y privado; por ejemplo, se pueden encontrar los siguientes programas:

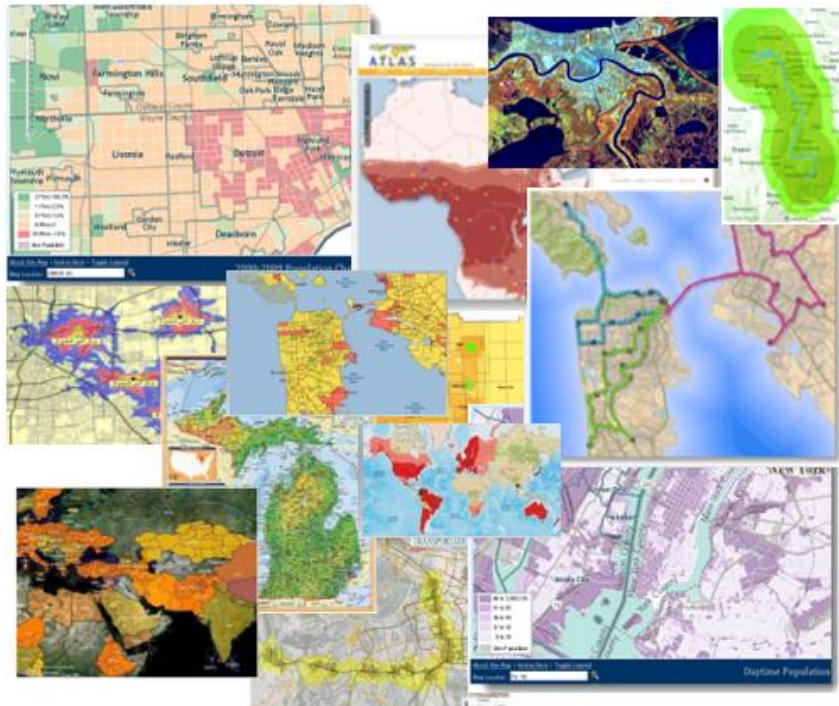
- ArcGIS PRO.
- QGIS.
- Global Mapper.
- AutoCAD 3D.
- Bentley Map.
- GvSIG.
- ArcView GIS 3.2^a.

2.5.1. ArcGIS PRO:

ArcGIS PRO es un completo software en el empleo de la información geográfica en el cual se realiza la recopilación, organización, administración, como también el análisis y

distribución de la información, mediante su capa de interacción, este software es muy utilizado por sus múltiples funciones. (Resources ArcGIS, 2022)

Figura 2-2 Modelos de datos software ArcGIS.



Fuente: (Resources ArcGIS, 2022)

2.5.1.1. Arquitectura

La arquitectura de ArcGIS es muy amplia ya que tiene complementos de escritorio, servidor, web y dispositivo móvil, el cual proporciona e integra la información geográfica de una forma completa. Para la aplicación de escritorio se destacan ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox.

ArcMap permite el acceso a datos, búsquedas y su respectiva salida de datos, ArcCatalog organiza cada uno de los datos geográficos y por último ArcToolbox permite los procesos de georreferenciación mediante la combinación capas y transformación de coordenadas.

2.5.1.2. SIG Embebido

Mediante el desarrollo del software ArcGIS Engine posee un conjunto de componentes en base a las interfaces de programación de aplicaciones como Java, C++, Python, etc. La funcionalidad es permitir el análisis de la información geográfica y su disposición final. (Samaniego & Chiriboga, 2009)

2.5.1.3. SIG Servidor

Dentro de este complemento se encuentra las aplicaciones de ArcGIS Server y ArcIMS, el primero permite la comunicación del cliente servidor, mediante las funciones de ayuda en base a ejecutar tareas de geoprocésamiento, las aplicaciones que ofrece Arc Server es la de ArcGIS Explorer, ArcGIS Mobile y ArcGIS Desktop.

ArcIMS es el complemento integrado al uso de la arquitectura de ArcGIS para la distribución y difusión de información geográfica mediante la creación de mapas sencillos y gestionar servicios de cartografía.

2.5.1.4. SIG Móvil

Es utilizado para el trabajo en campo mediante el uso de dispositivos tecnológicos como los dispositivos móviles, sistemas de posicionamiento global y tecnología Wireless, permitiendo realizar tareas de capturar, almacenar, manipular y analizar la información geográfica.

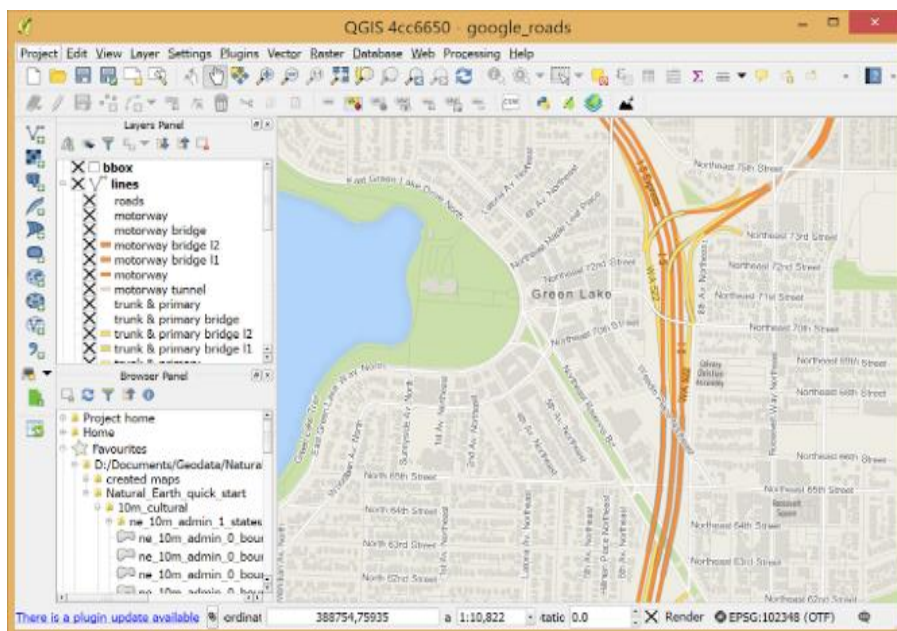
2.5.2. QGIS:

Software de código libre, licenciado por General Public License, el cual maneja la información geográficas mediante la visualización, la edición y análisis de los datos, para diseñar mapas con datos espaciales, de las características del terreno. (QGIS, 2022)

Las características principales en la utilización de este software son:

- La visualización y superposición de diferentes datos obtenidos de las capas de PostgreSQL con PostGIS y SpatiaLite.
- Creación de mapas mediante las herramientas de proyección, marcadores espaciales superposición de vectores para entregar como resultado el mapa con etiquetas de identificación, autor.
- Creación, edición de información espacial usando herramientas de georreferencia.
- Realizar el análisis mediante las opciones de algebra de mapas, análisis del terreno, entre otros.
- Integra servidores para la publicación de los proyectos mediante los servicios de WMS (Web Map Services) y WFS (Web Feature Server).

Figura 2-3 Modelo de datos software QGIS.



Fuente: (QGIS, 2022)

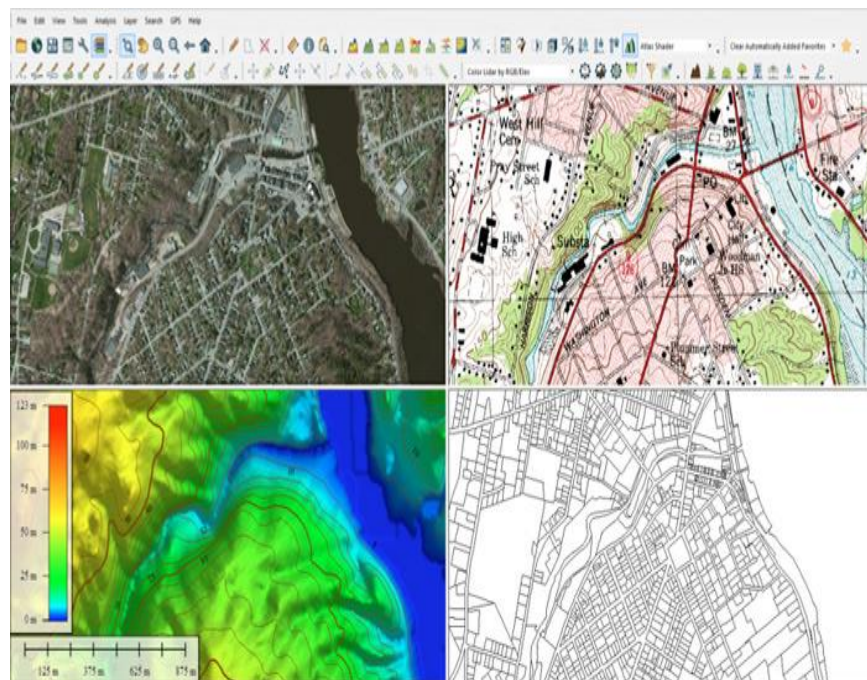
2.5.3. *Global Mapper:*

Es un software de manejo de la información geográfica, donde se combina los datos espaciales y de geo procesamiento, mediante las aplicaciones de dibujo asistido CAD, SIG y por ultimo las aplicaciones en la ingeniería.(Global Mapper, 2022)

Con la importación de los datos mediante la geo-rectificación el software proporciona una herramienta para crear raster, además de trabajar con datos espaciales, puede trabajar con tipos de datos de Oracle Spatial, ESRI ArcSDE, ESRI File y Personal Geodatabases, MS SQL Spatial, , PostGIS y Spatialite.

Otras de las funciones es la de analizar la información en 3D, con el software se realiza la modelación de cuencas, perfiles, simulaciones de la escorrentía y generar contornos para el cálculo de volúmenes de superficies.

Figura 2-4 Modelo de datos software Global Mapper.



Fuente: (Global Mapper, 2022)

2.5.4. *AutoCAD Map 3D:*

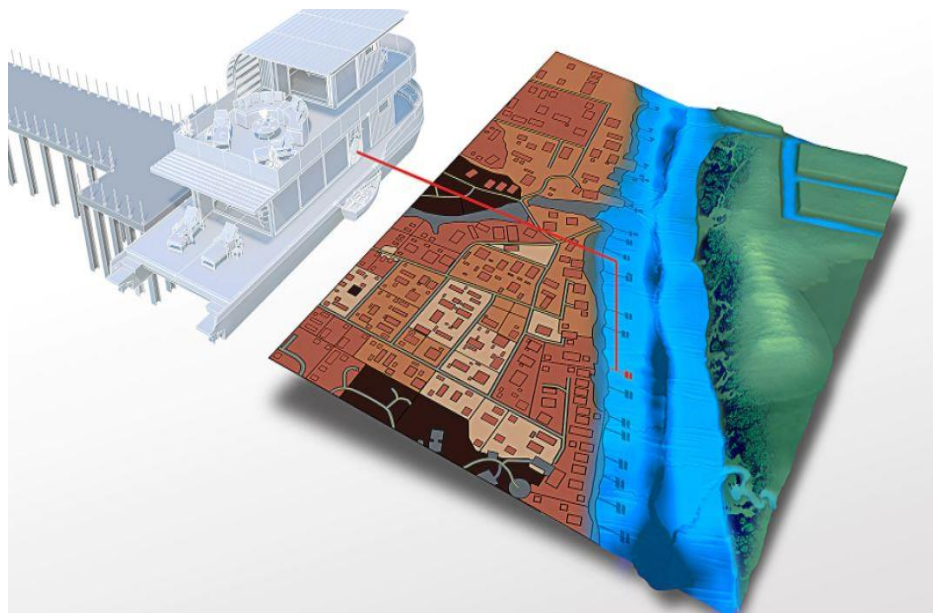
Software de la familia de Autodesk que proporciona acceso a los datos de información geográfica y a la cartografía, el cual facilita la planificación, diseño de los modelos. Mediante el enlace de los datos y las herramientas de AutoCAD.(Autodesk, 2022)

El software permite la apertura de archivos y base de datos GIS archivos tipo SHP, KML, SQLite, GDB y base de datos de Oracle, PostGIS, MS SQL Server.

Una de las ventajas del software es mantener la información en su formato original y tener la capacidad de manejar la información en archivos tipo DWG para que el usuario este más cómodo y está más familiarizado con la ventana grafica.

También destaca la función de correlacionar el Rubber Sheeting, el cual tomará la información georreferenciada dentro de un espacio ya con sus condiciones espaciales, por último, el uso de AutoCAD Map permite a los usuarios realizar consultas, añadir información de tipo espacial y alfanumérica, donde se obtendrá valores exactos de las dimensiones de los proyectos en base a la superficie que presenta.

Figura 2-5 Dibujo obtenido mediante el software AutoCAD Map 3D.



Fuente: (Autodesk, 2022)

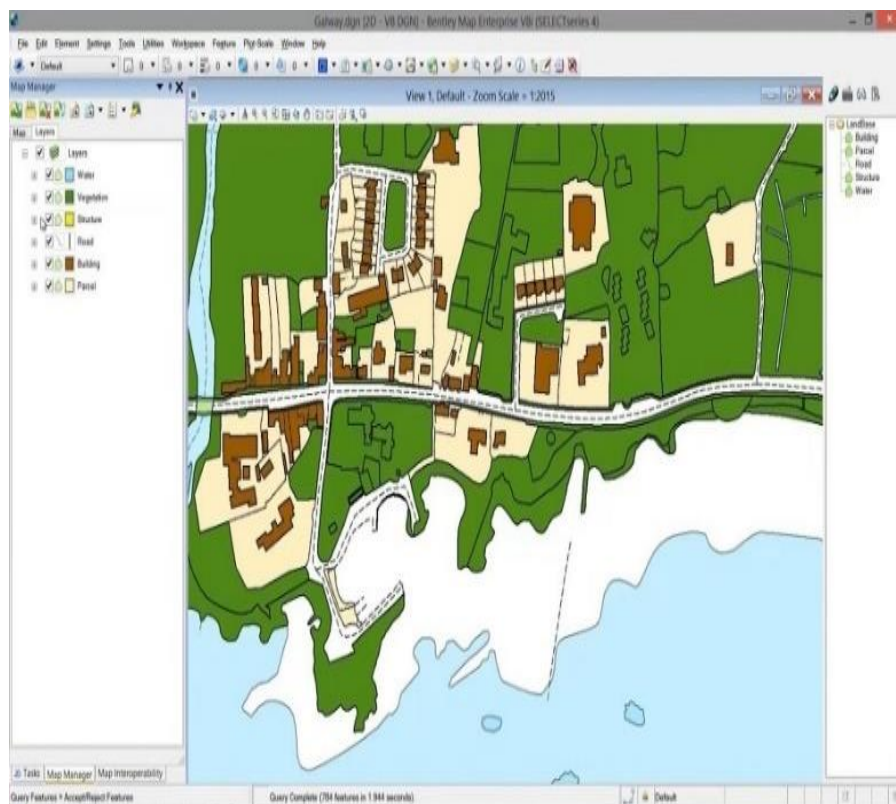
2.5.5. Bentley Map:

Software de la familia de la empresa de Bentley donde integra archivos tipo CAD y GIS, uniendo este tipo de información todo en uno. Combinándolos para la entrega de información en modelos de dibujo en 2D y 3D.(Bentley, 2022)

Permite consultas en la base de datos de Microsoft SQL Server, Oracle Spatial, ESRI File Geodatabase, ArcGIS Server & Online, PostgreSQL (PostGIS) y Web Feature Service (WFS) para darle una mayor fluidez al programa a la hora de realizar la búsqueda de los espacios de trabajo.

Edita y administra los datos espaciales de una forma rápida además de la entrada directa a la información, proporcionando diseños manteniendo la información de los datos espaciales mediante la integración de distintas bases de datos.

Figura 2-6 Modelo de datos software Bentley Map.



Fuente: (Bentley, 2022)

2.5.6. GvSIG:

Es una herramienta de información geográfica muy completa en el manejo de los datos espaciales y geográficos integrando dicha información en base de datos locales como remotas.(García León et al., 2014)

Software con acceso a la información mediante los servidores de datos DataServer Explorer que permite guardar la información dentro de estos espacios.

Además de contar con el ingreso de la información geográfica almacenada en el Data Store de acuerdo a sus ficheros de dbf, shp, dxf y base de datos PostgreSQL.

Figura 2-7 Modelo de datos software gvGIS.

The screenshot shows the gvSIG 1.9 interface. The top window displays a table of attributes for the layer 'Intersec Influ-Biens_POL.shp'. The table has columns for FID, DIST, IDENT..., NUM..., MUNICI..., DENPRI, DENACC, BIC, SHAPE_AREA, and SHAPE_LEN. The bottom window shows a map view with a yellow and blue circular overlay on a street map.

FID	DIST	IDENT...	NUM...	MUNICI...	DENPRI	DENACC	BIC	SHAPE_AREA	SHAPE_LEN
3.0	150.0	16052	16052	Cartagena	Casino		N	587.06164	104.3329
3.0	150.0	16032-1	16032-1	Cartagena	Capilla del Cristo del Socorro de la Ca...	Capilla del Cristo Moreno	S	62.66561	35.45746
3.0	150.0	16032	16032	Cartagena	Catedral Antigua de Santa Maria		S	1245.18102	143.46301
2.0	100.0	16006	16006	Cartagena	Plaza del Ayuntamiento y Héroes de ...		N	4472.45882	590.77393
2.0	100.0	16548	16548	Cartagena	Teatro Romano		S	15686.90796	939.70491
2.0	100.0	16032-1	16032-1	Cartagena	Capilla del Cristo del Socorro de la Ca...	Capilla del Cristo Moreno	S	62.66561	35.45746
2.0	100.0	16032	16032	Cartagena	Catedral Antigua de Santa Maria		S	1245.18102	143.46301
1.0	50.0	16010	16010	Cartagena	Palacio Municipal	Ayuntamiento	S	1511.3225	168.27111
1.0	50.0	16017	16017	Cartagena	Casa Palacio Pascual de Riquelme (De...		N	193.59314	67.12559
1.0	50.0	16006	16006	Cartagena	Plaza del Ayuntamiento y Héroes de ...		N	4472.45882	590.77393
3.0	150.0	16046	16046	Cartagena	Palacio del Almirante Escaño		N	367.45582	79.3248
3.0	150.0	16053	16053	Cartagena	Casino. Fachada		N	29.91651	25.56338
3.0	150.0	16054	16054	Cartagena	Casino. Portada		N	28.0953	25.34316
2.0	100.0	16007	16007	Cartagena	Monumento a los Héroes de Cavite		N	166.56015	47.81228
1.0	50.0	16013	16013	Cartagena	Salón de Sesiones (Ayuntamiento)		S	37.09763	27.39653
1.0	50.0	16007	16007	Cartagena	Monumento a los Héroes de Cavite		N	166.56015	47.81228

Fuente: (García León et al., 2014); “gvSIG guía para el aprendizaje autónomo”; Universidad Politécnica de Cartagena; 2014.

2.5.7. Arc View GIS 3. 2ª

Programa utilizado por las computadoras personales y estaciones de trabajo, de Enviromental Systems Research Institute, donde manejaban y procesaban la información

geográfica. Hoy en día tiene la capacidad de interpretar, consultar y analizar la información de manera espacial y no espacial. (Sandoval et al., 2013, p. 117)

Los módulos presentes en el software permiten a cada uno de los usuarios el manejo de los datos geográficos en base a los módulos de visualización estos se dividen en los siguientes:

- 3D Analyst: herramienta que permite a los usuarios recrear modelos del terreno con una configuración triangular “triangle irregular network” TIN.
- Spatial analyst: Con la implementación de los datos vectoriales, mediante la aplicación de Arc View se realiza los datos raster, los cuales se puede realizar superficies que se convertirán en mapas.
- Network analyst: herramienta para la optimización de la selección de rutas, distancias entre los puntos en el terreno.

Las estructuras de los datos con Arc View se almacenarán en las carpetas de Project, el cual contendrá la información geográfica y diferentes componentes como tablas, vistas, gráficos, entre otros tipos.

Figura 2-8 Modelo de datos software Arc View GIS 3. 2ª



Fuente: (Sandoval et al., 2013); Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México.

2.6. Comparativa de los Softwares de Información Geográfica

Tabla 2-1 Comparativa software SIG.

CUADRO COMPARATIVO	
Programas	Características
ArcGIS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Software privado. ▪ Interfaz muy simple. ▪ Acceso a los geoprosesos. ▪ Capacidad de raster. ▪ Capacidad de visualización de modelos en 3D.
QGIS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Software libre (código abierto). ▪ Interfaz sencilla. ▪ Empalme de la base de datos mediante plugins (PostgreSQL y PostGIS) ▪ Conexión con GRASS para tareas de topología. ▪ Conversión de archivos Shape a PostGIS.
Global Mapper	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Software privado. ▪ Interfaz muy simple. ▪ Capacidad de visualización de modelos en 3D. ▪ Herramientas o plugins para la realización de los procesos
AutoCAD Map 3D	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Software privado. ▪ Accede a datos espaciales mediante la tecnología de FDO (Feature Data Objects). ▪ Edición de datos geoespaciales.

CUADRO COMPARATIVO

Programas	Características
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conexión con el software de ESRI. ▪ Conversión de archivos DWG a GIS.
Bentley Map	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Software privado. ▪ Accede a datos espaciales Oracle Spatial, SQL Server y PostGIS. ▪ Análisis de datos espaciales. ▪ Integración de modelos 3D. ▪ Generación e impresión de mapas.
GvSIG	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Software libre. ▪ Acceso a formatos vectoriales y raster. ▪ Interfaz de visualización simple. ▪ Integración de algoritmos SEXTANTE.
Arc View 3. 2a	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis vectorial ▪ Visualización en 3D. ▪ Procesamiento básico de imágenes. ▪ Realiza modelos raster.

2.6.1. Diferencias de los softwares.

Las diferencias de los programas radican de la versión, además de si el software es distribuido de manera privada o libre, los componentes y atributos manejados dentro de los softwares se basa en la programación destinada por cada uno los procesos a desarrollar.

2.6.2. Diferencia entre un SIG y un CAD

Se entiende a CAD como el diseño asistido por computador, el cual me permite realizar y plasmar la idealización de un proyecto vial, constructivos, determinando detalles y especificaciones de sus partes, esta clase de software permite realizar dibujos en 2D y 3D, las principales diferencias entre los SIG y los CAD es:(Temes Cordovez & Moya Fuero, 2021)

- Los SIG están reflejando la realidad, mientras el CAD es el diseño de algo que no existe.
- El enfoque del manejo de los datos es diferente, los SIG le apuestan al análisis de los datos espaciales, y los CAD a solo los diseños (dibujo).
- La magnitud de procesamiento de los datos en el SIG es mayor, debido a la información geográfica que acceden mediante los servidores.
- La escala de los proyectos es un factor determinante en la obtención de la información, debido que los SIG manejan áreas muy extensas, y en cambio los CAD están limitados a áreas de proyectos de baja extensión.
- Los SIG realiza el estudio de objetos en la realidad y los CAD es la proyección de los objetos.

2.7. Componentes de un SIG

2.7.1. Hardware:

Es el componente físico o tangible de los sistemas tecnológicos; en otras palabras, son los periféricos de entrada y salida los cuales funcionan los sistemas. (García León et al., 2014, p. 4)

2.7.2. Software:

Son los programas o aplicaciones que facilitan los pasos de mediante ordenes lógicas, este clase de programas son realizadas de acuerdo a la selección del usuario ante la necesidad de realizar el análisis de la información.(García León et al., 2014, p. 4)

2.7.3. Datos:

Es la información de los elementos estructurada en la integración de los datos espaciales y otros componentes, los datos es una porción primordial en los sistemas de información geográfica. (García León et al., 2014, p. 4)

2.7.4. Metodología:

Los métodos que se establecen para la aplicación de un proyecto mediante información geográfica. Estarán determinados por los pasos de trabajo que se planteen por los usuarios para resolver los objetivos.

2.7.5. Sistemas de referencia y georreferenciación

Los sistemas de referencia están dados por espacios (X- Y - Z), datos que se pueden representar el tamaño de los objetos, donde se encuentra ubicados en el espacio. Dado que los sistemas de referencia parten de la idealización estos sistemas son materializados mediante el uso de puntos que están referenciados por un sistema de referencia dados, llamados marcos de referencia.

2.7.5.1. Magna – SIRGAS

En Colombia está dada por parte de (IGAC) instituto geográfico Agustín Codazzi el encargado de determinar, establecer, mantener y proporcionar los sistemas de referencia geodésicos, gravimétricos y magnéticos. Determinando para Colombia el marco geocéntrico

MAGNA y este está definido en el sistema SIRGAS denominándolo así sistema MAGNA – SIRGAS.

2.7.5.2. Georreferenciación:

Es el conjunto de parámetros geográficos, permitiendo contar con información y distribución espacial bajo coordenadas, los objetos poseen una ubicación definida en la superficie el cual permite obtener información de medidas (largo, ancho y su altitud), otra definición tenemos:

La georreferenciación es el uso de coordenadas dentro de un mapa el cual asigna la ubicación espacial a objetos, dichos elementos tienen su respectiva ubicación en el espacio además de la extensión característica que permite ubicarlos dentro de la superficie de la tierra.

Una característica fundamental para los SIG en la localización de las entidades geográficas.

(Resources ArcGIS, 2022)

2.8. Características de los SIG

(Bartolin, 2013) describe las características como sistemas para gestionar, analizar y visualizar los datos mediante componentes geográficas propias, (p. 43). Los SIG estructuran la información en diferentes grupos, los cuales son los siguientes.

2.8.1. Mapas interactivos

Un plano o mapa SIG es la representación gráfica de la toda la información geográfica, datos descriptivos del área estudiada elaborando modelos (mapas) de análisis espacial.

(Resources ArcGIS, 2022)

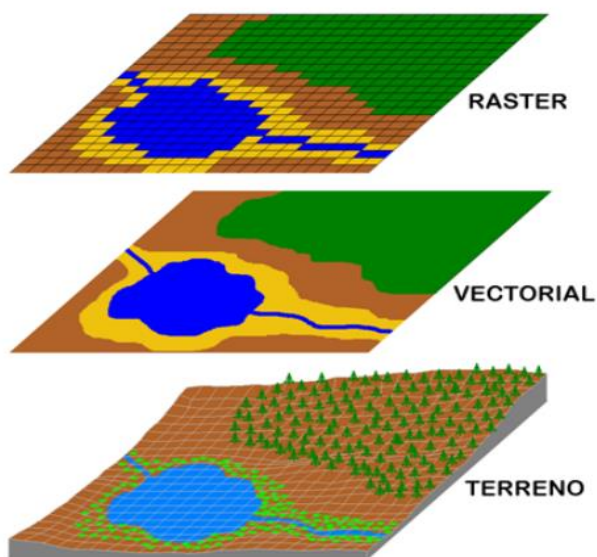
2.8.2. Tipos de datos geográficos.

Según su base de datos se puede visualizar de forma vectorial y matricial, mediante simulaciones digitales de los terrenos, redes lineales, datos procedentes de levantamientos topográficos, atributos y topologías. (Bartolin, 2013, p. 44)

los modelos de datos geográficos se pueden generar de la siguiente manera:

- **Modelo de datos simples CAD:** Es la representación gráfica mediante un sistema de coordenadas, y no representa los valores del mundo real; de acuerdo al uso de coordenadas geográficas.(Ospina, 2010, p. 36)
- **Modelo vectorial o RASTER:** El modelo de datos tipo RASTER, es la representación de la realidad en forma de matriz, como por ejemplo el uso de una malla o pixeles que representan el mundo real. Cada celdas tienen un valor mediante la codificación de la información, es muy útil en descubrir objetos limitados y que estén muy difusos para su análisis.(Ospina, 2010, pp. 36-37)

Figura 2-9 Comparativa de un modelo ráster y uno vectorial.



Fuente: (García León et al., 2014). gvSIG: guía para el aprendizaje autónomo. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2014.

2.8.3. Modelos de geoprociamiento

Los modelos de geoprociamiento, son herramientas utilizadas para analizar datos e información espacial, los modelos estandarizan procedimientos de forma repetitiva, estos modelos se realizan mediante los procesos de dataset aplicándolos a cada herramienta para el geoprociamiento con operaciones pequeñas. (Fernández García, 2012) (p. 15).

2.8.4. Modelo de datos

Es la imagen del mundo, el cual es usado en los SIG, para la producción, análisis y entrega de mapas debidamente referenciados con atributos de elevación, profundidad, de los objetos en ese espacio o área de estudio.

2.8.5. Metadatos

Contienen toda clase de información geográfica así facilitando la interpretación y análisis del usuario mediante el uso de las coordenadas, extensiones, etc. Esta información se puede compartir mediante la integración de otros softwares.(Bartolin, 2013, p. 44)

2.9. Análisis Espacial

Los SIG realizan operaciones analíticas en base a los datos espaciales para la solución de interrogantes en base a las expresiones lógicas y matemáticas para el modelamiento de los atributos geográficos, los análisis que se realizan en la representación de los mapas son:

2.9.1. Análisis de vecindad

Permite definir las áreas de influencia alrededor de un objeto además de establecer y medir las distancias entre los objetos, mediante componentes de Buffer esta herramienta es empleada en las actividades de urbanismo, manejo forestal, identificación de los riesgos naturales, entre otros.

2.9.2. *Análisis de proximidad*

Permite analizar mediciones de diferentes puntos, como también de determinar áreas de estudio, barrios, etc.

2.9.3. *Superposición topológica*

Es la unión de varias capas de información para generar nuevos atributos, muy utilizado en la práctica de los suelos, geología y en las mediciones de catastro.

2.9.4. *Análisis de redes*

Emplea métodos de análisis espacial para determinar las condiciones de las redes como, por ejemplo, la conectividad de los tramos de las tuberías, el servicio de cada uno de los elementos.

2.10. Ventajas y Desventajas de los SIG

2.10.1. *Ventajas*

Las ventajas de este tipo de tecnologías usadas para la representación geográfica, para (Araneda, citado por López Páez, 2019) presenta las principales aspectos como:

- A. Ordena de manera efectiva la información espacial.
- B. Mantiene los datos de una manera compacta.
- C. La información se puede consultar en cualquier tiempo.
- D. Uso ilimitado a la hora de guardar la información.
- E. El uso de diferentes tipos de tecnologías para la entrada a la información de datos como por ejemplo ordenadores, dispositivos móviles, sistemas de geoposicionamiento, etc.
- F. Reduce el tiempo de procesamiento y análisis de la información.

G. La velocidad de actualización de los datos espaciales. (p. 20)

2.10.2. Desventajas

Como cualquiera de otros softwares pueden presentar desventajas al implementar esta tecnología, para el uso de estos sistemas de información:

- A. Costo para la obtención de ciertos softwares de manipulación geográfica.
- B. La falta de presupuesto en la conservación de los equipos y softwares de interacción espacial.
- C. Elevados costos para obtener la información con respecto a la base de datos.
- D. Evaluación de las áreas a intervención de los datos geográficos.
- E. Por último, la adquisición de los sistemas mediante la verificación de los proveedores de los datos y equipos. (Araneda, 2002)

2.11. Errores en el Uso de los SIG

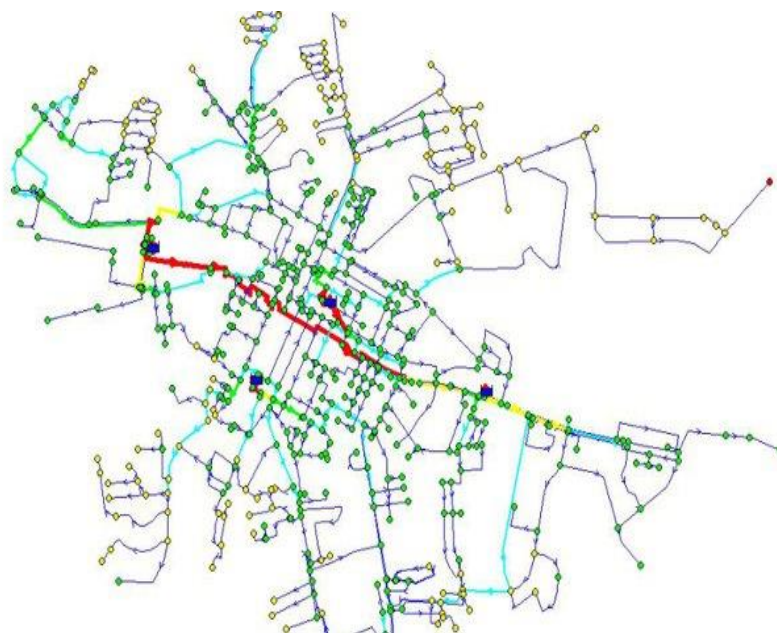
Como cualquier otro software, se pueden presentar errores de tipo manual, a la hora de ingresar la información, también de la metodología de estudio, para el autor (Araneda, 2002) los errores en el uso de los softwares del manejo de sistemas de información se clasifican de la siguiente forma en:

- A. Recolección y su posterior registro en los softwares de información geográfica.
- B. Manipulación e interpretación de los datos.
- C. Errores a la hora de aplicar la teoría correspondiente para el análisis de los datos como su respectivo acceso.
- D. Manipulación incorrecta de los sistemas o softwares, como también el bajo conocimiento en los usuarios.
- E. Por último, la mala comprensión de los datos obtenidos.

3. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE RDAP.

Las RDAP es el conjunto interconectado de tuberías y otros accesorios que se encargara de abastecer de agua desde su lugar de captación, tratamiento hasta cada uno de los sectores de la ciudad, municipio o vereda.

Figura 3-1 Distribución de red hidráulica.



Fuente: (Blog del agua, 2017)

3.1. Calidad del Agua

Hoy en día, la calidad de agua para el ser humano pasó a ser un tema de gran importancia, según (Howe, K. J., Crittenden, J. C., Tchobanoglous, et al, 2017) “El propósito fundamental del tratamiento de aguas domésticas es proteger la salud pública, porque suele contener elementos que pueden dañar la salud y tiene una capacidad única para transmitir con rapidez enfermedades a grandes cantidades de ellas”, (p. 5). Si bien es una práctica que no se ejecuta en algunos países del mundo, las entidades públicas y privadas tienen el compromiso de prestar este servicio vital para el ser humano, sistemas que se pueden desarrollar mediante el tratamiento del agua cruda de los sistemas de captación (ríos, embalses, lagos, entre otros).

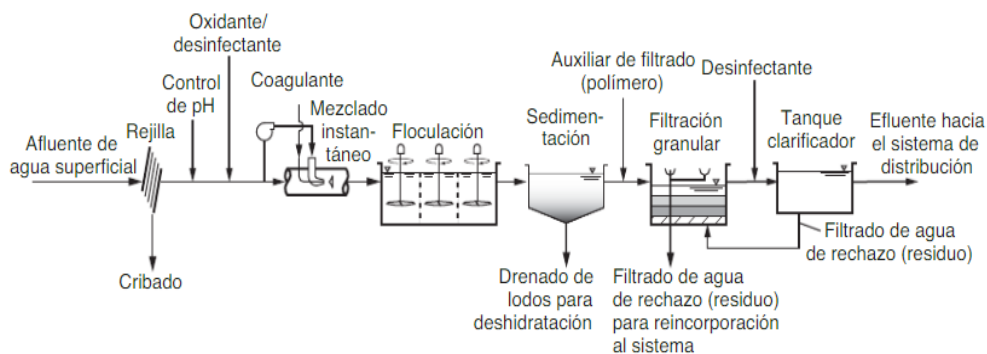
3.2. Ciclo Integral del Agua

Se define como la intervención del ser humano en su fase natural, el ciclo integral del agua es la consecución de una serie de actividades realizadas por el hombre actividades como:

- Captación.
- Tratamiento y potabilización mediante plantas de tratamiento de agua potable. (PTAP).
- Recolección o almacenamiento, su posterior distribución del agua; saneamiento; depuración en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- Por último, el vertido al río o al mar. (Ibarloza Arrizabalaga et al., 2015)

Se describirá las fases del ciclo integral del agua, en la siguiente imagen.

Figura 3-2 Sistema de funcionamiento de una PTAP.



Fuente: Tomada; Howe, K. J., Crittenden, J. C., Tchobanoglous, G., Trussell, R. R., Hand, D. W. (2017). "Principios de tratamiento del agua". Cengage Learning.

3.3. Componentes de las Redes de Distribución de Agua Potable RDAP.

Una red de distribución está conformada por los siguientes accesorios y elementos para su correcta operación.

3.3.1. Tuberías:

Es el conjunto formado por tubos de forma de sección circular que sirve para distribuir o transportar compuestos líquidos o gaseosos, elaborado de diferentes tipos de materiales.

(Comisión Nacional del Agua, 2007, p. 2)

3.3.2. Hidrantes:

Es un dispositivo que tiene una conexión especial, la cual es instalada por ciertos tramos de la red, el propósito de estos elementos es la prestar un servicio para abastecer de agua a la población y para casos especiales como un incendio.(Comisión Nacional del Agua, 2007, p. 2)

3.3.3. Válvulas:

Son accesorios utilizados para bajar la velocidad y bajar la presión presente en la tubería.

Estas pueden ser clasificadas de acuerdo a:

- **Aislamiento o seccionamiento:** Son usadas para interrumpir e impedir el paso del líquido por el resto del sistema para ciertos tramos de la tubería.
- **Control:** Utilizadas para regular el consumo o la presión dentro de la tubería, delimitando el paso del caudal en las secciones donde se encuentre la válvula.

3.3.4. Accesorios especiales:

Son todos los elementos encargados de ramificar, realizar intersecciones, cambios en la dirección de la red, modificación del diámetro, uniones de tubería.(Comisión Nacional del Agua, 2007, p. 2)

3.4. Formas de Distribución

3.4.1. *Por gravedad:*

En una de las formas comunes, donde el agua circula mediante la diferencias de altura de la fuente abastecedora hasta la población.(Comisión Nacional del Agua, 2007, p. 8)

3.4.2. *Por bombeo:*

En el caso de sistema por bombeo se presentan de dos maneras:

- ***Bombeo directo a la red, sin almacenamiento:*** Los equipos impulsan y abastecen directamente la red, este se diseña con el caudal máximo horario QMH.(Comisión Nacional del Agua, 2007, p. 8)
- ***Bombeo directo a la red, con excesos a tanques de regulación:*** “Tanque es colocado después de la red en un punto opuesto a la entrada de abastecimiento mediante el bombeo y la tubería es conectada directa a la tubería que enlazan las bombas de impulsión con el tanque de regulación” (Comisión Nacional del Agua, 2007, pp. 8-9).

3.4.3. *Distribución mixta:*

Para este caso, se presenta se bombea el agua hasta el tanque y este después mediante gravedad abastece a la población y así las dos formas se complementan para la función de distribuir.(Comisión Nacional del Agua, 2007, pp. 9-10)

3.5. Softwares de Simulación de Redes de Abastecimiento

Existe una gran variedad de software para la modelación de sistemas de abastecimiento, así como de otras funciones importantes a la hora de presentar modelos matemáticos en esta área.

- **GISRED:** Realizada por un grupo de la universidad Politécnica de Valencia España, llamado REDSHIP, se crea como una extensión de Arc View GIS 3.2. (Bartolín, 2013) describe que el software es programado para cumplir los objetivos en la aplicación de los SIG para el abastecimiento de agua potable en áreas urbanas mediante la construcción de modelos matemáticos implementados en las redes de distribución. (p. 90).
- **KYPIPE 2000:** Elaborado para la obtención de cálculos estáticos y dinámicos presentes en las redes hidráulicas, el cual es utilizado para solucionar problemas en la calibración, diseño y operación de las redes de abastecimiento.
- **EPANET:** Software matemático para componentes físicos y no físicos en los sistemas de redes hidráulicas.
- **WATERCAD:** Software elaborado por la empresa de software Bentley, realiza los análisis hidráulicos, tiene en cuenta una serie de parámetros operativos en los diferentes elementos dentro del sistema, las capacidades del software es el manejo de costos, calibraciones en el sistema para su posterior optimización además de manejar la compatibilidad con otras plataformas. (Valenzuela Peña & Orillo Cruz, 2019, pp. 20-21)

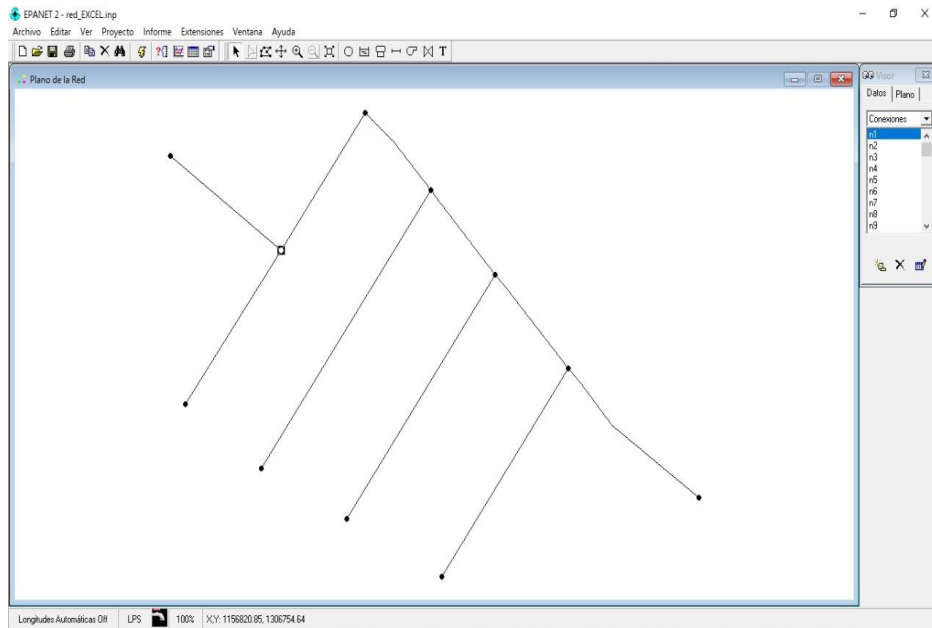
3.6. Descripción del Simulador software EPANET

Software utilizado para el estudio de redes de distribución, de código abierto el cual fue elaborado por la Environmental Protection Agency (EPA). Para el autor, (Gamboa Bohórquez & Rico Rodriguez, 2020) describe lo siguiente:

Un software versátil a la hora de trabajar mediante la simulación hidráulica con modelos directos y modelos de periodos hidráulicos, además de analizar los comportamientos de la calidad del agua presentes en una red, además de contar con una variedad de herramientas para

estudiar los movimientos y su posterior destino muy importantes en las redes de distribución. (p. 23).

Figura 3-3 Modelo de datos software EPANET.



Fuente: Autor; Tomada software libre EPANET 2.0.

3.6.1. Características de un modelo hidráulico

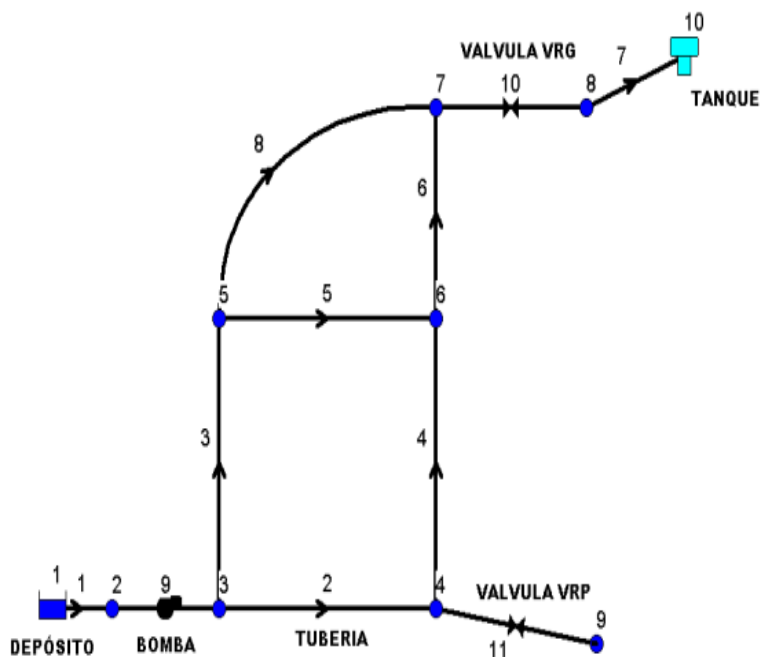
Basados en el manual de (EPANET 2.0, 2006, p. 2), el software de EPANET incluye las siguientes características en la aplicación de su software:

- No presenta un límite en la extensión o límite en la red de distribución.
- Calcula pérdidas por diferentes expresiones como la de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning.
- Modelación de redes con presencia de bombas de impulsión.
- Modelación de válvulas, reductoras, control de caudal, de retención, etc.
- Modelación de periodos estáticos o dinámicos que se puedan presentar en el proyecto.

3.6.2. Componentes físicos en el software EPANET

El software de Epanet simula una red de distribución mediante la unión de líneas que representan las tuberías (pipes) a los nudos (junctions), este software cuenta con elementos como las bombas de impulsión (pumps), diferentes tipos de válvulas (valves), tanques (tanks) y depósitos de agua (reservoirs). (EPANET 2.0, 2006, p. 23), en la imagen a continuación se describe un modelo de los componentes como, por ejemplo:

Figura 3-4 Componentes físicos en una RDAP:



Fuente: (EPANET 2.0, 2006); Universidad de Valencia; 2006.

3.6.2.1. Conexiones:

Hace referencia a la unión de puntos, los cuales se representan la entrada y salida del agua en la red, la información requerida por parte del software al usuario es la cota, demanda de agua, calidad de agua inicial, este tipo de componente da como resultado la presión, calidad del agua y su altura piezométrica.

3.6.2.2. Depósitos:

Son componentes que representan la obtención de agua infinita, como por ejemplo es el modelo de un lago, río, aguas subterráneas, las características de este componente es la altura piezométrica y su calidad de agua.

3.6.2.3. Tanque:

Componente de almacenamiento, donde durante la simulación el volumen de agua presente en el dispositivo puede variar con el tiempo, las características de los tanques es su cota inicial, diámetro, calidad de agua inicial y valores máximos y mínimos del nivel del agua,

3.6.2.4. Emisores:

Es el destino final de la red de distribución mediante la sección de la tubería expuesta a la atmosfera, este componente es utilizados en el software para la aplicación de rociadores o sistemas de irrigación de la red.

3.6.2.5. Tuberías:

Son las conexiones que destinan el agua de un punto al otro, el software plantea en su análisis que las tuberías están completamente llenas, sus parámetros de entrada es la incorporación de, nudos, diámetro de tubería, longitud del tramo, coeficiente de perdida y como valores obtenidos es la velocidad, caudal, perdidas, factores de fricción y variación de la velocidad.

3.6.2.6. Perdidas de carga:

Se debe a la rugosidad presentada en los materiales de la tubería, este se puede medir usando tres métodos diferentes:

$$h_f = f * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 1 Ecuación de pérdidas Darcy-Weisbach.

Donde:

h_f : Pérdida de carga por fricción.

f: Factor de fricción de Darcy – Weisbach.

L: Longitud de la tubería (m).

D: Diámetro de la tubería (m).

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2).

v: Velocidad del fluido (m/s).

- Método de Hazen – Williams: el método tiende a ser un poco impreciso cuando se trata de un fluido diferente al agua.
- Método de Darcy – Weisbach: Es uno de los más exactos este se puede utilizar con cualquier fluido. EPANET utiliza diferentes expresiones en las secciones de la tubería.
 - ✓ Régimen laminar ($Re < 2000$)
 - ✓ Régimen turbulento ($Re > 4000$)
 - ✓ Para flujo transito ($2000 < Re < 4000$)
- Método de Chezy – Manning: Este es más usado en para conductos de lámina libre.

Tabla 3-1 Ecuaciones de pérdidas (pérdidas en ft y caudal en cfs)

<i>Formula</i>	<i>Coefficiente de Resistencia (A)</i>	<i>Exponente de Caudal (B)</i>
Hazen-Williams	$4.727 C^{-1.852} d^{-4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0252 f(\epsilon, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$4.66 n^2 d^{-5.33} L$	2

Notas: C = coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams
 ϵ = coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (ft)
f = factor de fricción (depende de ϵ , d, y q)
n = coeficiente de rugosidad de Manning
d = diámetro de la tubería (ft)
L = longitud de la tubería (ft)
q = caudal (cfs)

Fuente: (EPANET 2.0, 2006); Universidad de Valencia; 2006.

Tabla 3-2 Coeficiente de rugosidad.

<i>Material</i>	<i>Hazen-Williams C (adimensional)</i>	<i>Manning's n (adimensional)</i>
Hierro Colado	130 – 140	0,012 - 0,015
Hormigón o Revestido de Hormigón	120 – 140	0,012 - 0,017
Hierro galvanizado	120	0,015 - 0,017
Plástico	140 – 150	0,011 - 0,015
Acero	140 – 150	0,015 - 0,017
Arcilla Vitrificada	110	0,013 - 0,015

Fuente: (EPANET 2.0, 2006); Universidad de Valencia; 2006.

Tabla 3-3 Coeficiente de rugosidad Darcy - Weisbach.

<i>Material</i>	<i>Darcy-Weisbach ϵ (mm)</i>
PVC y PE	0,0025
Fibrocemento	0,025
Fundición revestida	0,03
Fundición no revestida	0,15
Hormigón armado	0,1
Hormigón liso	0,025

Fuente: (EPANET 2.0, 2006); Universidad de Valencia; 2006.

3.6.2.7. Pérdidas menores:

Estas pérdidas se encuentran en cada uno de los accesorios que presenta la tubería de conexión, es importante considerar estas pérdidas debido a la exactitud de los modelos.

$$h_l = K \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Ecuación 2 Ecuación de pérdidas menores.

Donde:

h_l : Pérdidas menores.

K: Coeficiente de pérdidas menores.

v: Velocidad de flujo (m/s).

g: Gravedad (m/s^2)

Tabla 3-4 Coeficiente de pérdidas menores.

<i>Conectores</i>	<i>Coeficiente de pérdidas</i>
Válvula de Globo, totalmente abierta	10.0
Válvula de Ángulo, totalmente abierta	5.0
Válvula de Retención de Clapeta, totalmente abierta	2.5
Válvula de Compuerta, totalmente abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo a 45°	0.4
Codo cerrado con inversión del flujo	2.2
Te estándar – dirección de paso	0.6
Te estándar – dirección desvío	1.8
Entrada Recta	0.5
Salida brusca	1.0

Fuente: (EPANET 2.0, 2006); Universidad de Valencia; 2006.

3.6.2.8. Bombas de impulsión:

Son dispositivos que le adicionan energía al fluido dentro de la tubería aumentando su altura piezométrica, uno de las características de las bombas es el caudal y la carga, en la digitación de los valores de funcionamiento del equipo, para que no se presenten errores en la simulación de la red.

3.6.2.9. Válvulas:

Son elementos o líneas que restringen o disminuyen la presión y el caudal que pasa por ese punto de la red, en el software se presentan los siguientes tipos de válvulas:

- **Válvulas reductoras de presión (VRP):** Limita la presión en cierto tramo de la red, este tipo de válvula puede trabajar totalmente abierta, parcialmente abierta y cerrada.
- **Válvulas sostenedoras de presión (VSP):** Este dispositivo mantiene la presión en el mismo punto, se presenta las mismas características de las reductoras de presión como que pueden trabajar totalmente abiertas, parcialmente abierta y por último cerradas.
- **Válvulas de rotura de carga (VRC):** realiza una caída en la presión de la válvula donde se establece un valor determinado para el funcionamiento dentro de la red.
- **Válvulas controladoras de caudal (VCQ):** Tiene como función limitar el caudal a un valor determinado.
- **Válvulas reguladoras por estrangulación (VRG):** Genera la simulación de una válvula parcialmente cerrada para ajustar valores de pérdidas.
- **Válvulas de propósito general (VPG):** Es usada para representar una línea con un comportamiento diferente, se utilizada en la modelación de turbinas o en su defecto válvulas para controlar el caudal.

3.6.3. Componentes no físicos en el software EPANET

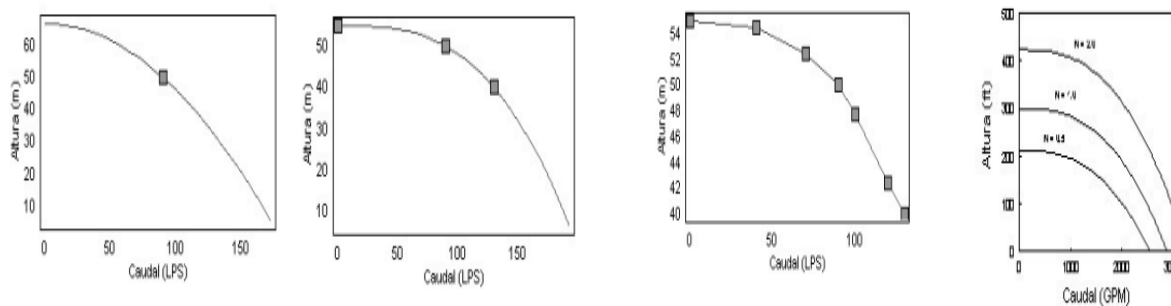
El software además cuenta con el manejo de información para la operación de los equipos como lo son las curvas, patrones y controles, que se describirán los cuales son:

3.6.3.1. Curvas:

Las curvas para el software es la relación entre datos, magnitudes o cantidades, Epanet utiliza las siguientes clases:

- ✓ **Curva Característica de una bomba:** Es la relación en la altura versus caudal que pasa por el equipo, Epanet usa diferentes tipos de curvas, el cual depende de la cantidad de puntos establecidos por los fabricantes de los equipos en sus especificaciones técnicas o establecidas por el usuario.

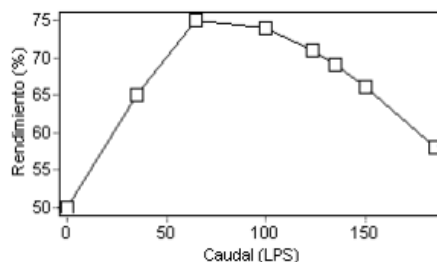
Figura 3-5 Curvas de funcionamiento de bombas.



Fuente: (EPANET 2.0, 2006); Universidad de Valencia; 2006.

- ✓ **Curva de rendimiento:** Este tipo de curva que establece el rendimiento de las bombas respecto a las condiciones de caudal y rendimiento mecánico eléctrico.

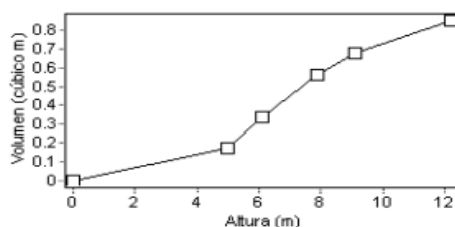
Figura 3-6 Curva de rendimiento.



Fuente: (EPANET 2.0, 2006); Universidad de Valencia; 2006.

- ✓ **Curva de volumen:** Se establece como el volumen que presenta un fluido en el tanque, que se transforma en función de la altura del fluido.

Figura 3-7 Curva de volumen.



Fuente: (EPANET 2.0, 2006); Universidad de Valencia; 2006.

- ✓ **Curva de pérdidas:** Este tipo de curva representa las pérdidas, para una serie de válvulas esta curva es la relación de las pérdidas – caudal.

3.6.3.2. Patrones de tiempo:

Es la serie de factores que puede variar con el tiempo, como ejemplo altura de los depósitos, demanda de los nudos, la variación de los consumos por horas en rangos definidos por el usuario.

3.6.3.3. Controles:

Son series que determinan el comportamiento de la red con respecto al tiempo, donde se evidencia el comportamiento de la red como una función del tiempo, los controles se pueden observar cómo controles simples y controles programados.

3.7. Descripción del Simulador WaterCAD

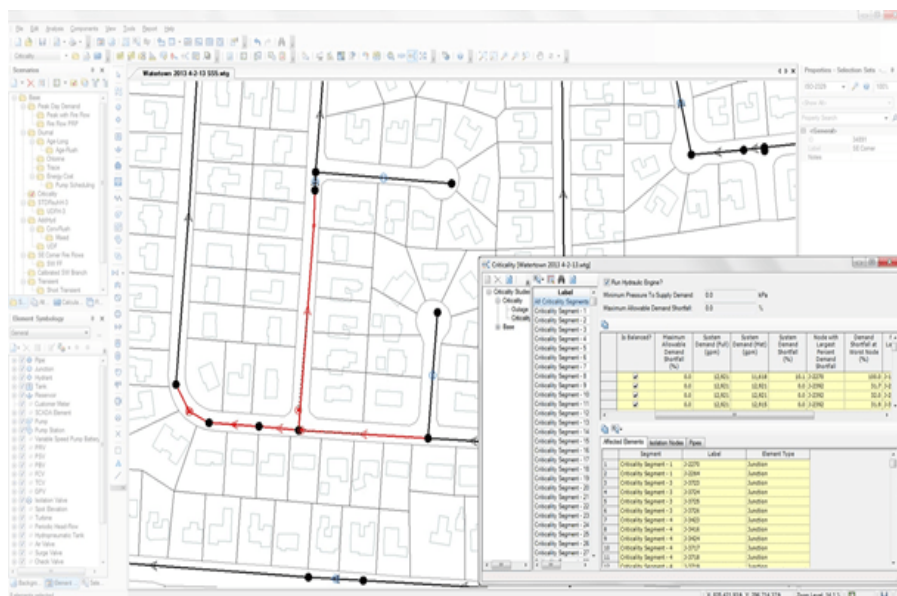
Realizado por la empresa de Bentley es un software comercial donde se desarrolla el análisis, modelación e implementación de redes hidráulicas a presión, mediante la integración de entornos de información geográfica con la finalidad de analizar cada uno de los comportamientos

hidráulicos efectuando el cambio de las dimensiones de las tuberías, la adición de componentes como válvulas, bombas, depósitos, etc.

El software tiene los siguientes aspectos, realizar el procesamiento de los datos, manejo por el usuario a diferentes plataformas, analiza modelos hidráulicos, cuenta con la asistencia de soporte técnico y por último cuenta con una gran variedad de elementos hidráulicos. (Valenzuela Peña & Orillo Cruz, 2019)

Importantes para considerar en la realización de los modelos hidráulicos, además de contar con la relación y extracción de los valores en Excel, la compatibilidad de las plataformas de CAD y GIS con el cual se optimiza los tiempos de trabajo.

Figura 3-8 Modelo de datos software WaterCAD.



Fuente: (WaterCAD, 2022)

3.7.1. Parámetros de los análisis

El software utiliza conceptos de la hidráulica mediante el:

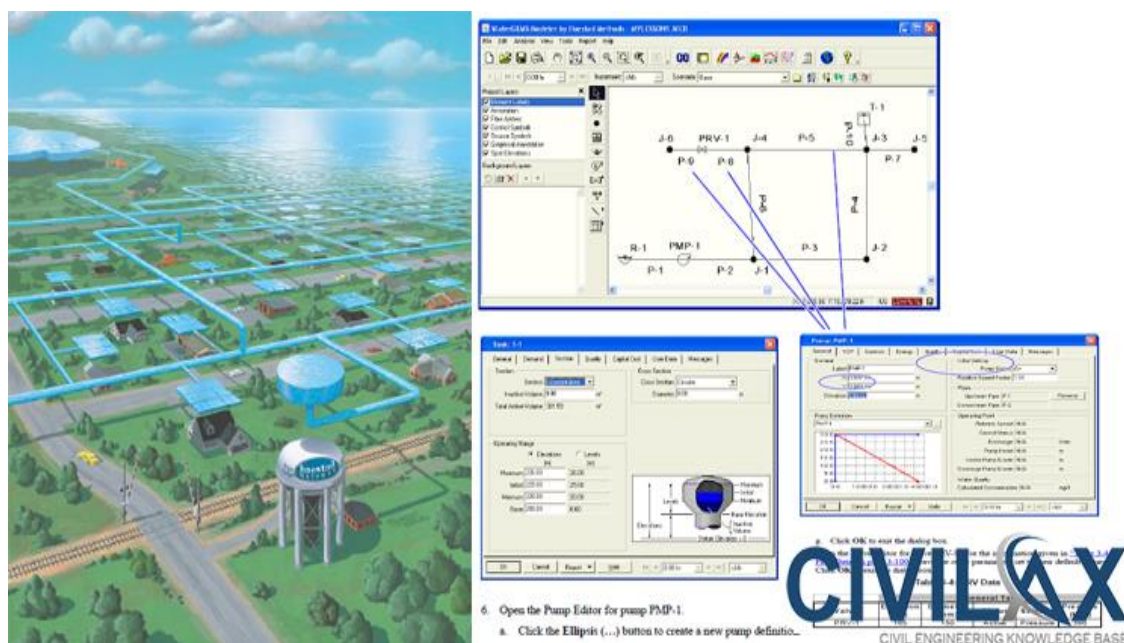
- Dimensionamiento de la red, el software no presenta límites de acuerdo a los nudos, elementos que puedan estar en la red de distribución.

- Para pérdidas por fricción el software usa las ecuaciones Chezy- Manning Hazen-Williams, o Darcy-Weisbach.
- Cuenta con las pérdidas por tipo de accesorios y elementos, como por ejemplo los cambios de dirección (codos, tee, reducciones, entre otros), la adición de bombas de impulsión.
- El software maneja un amplio inventario de elementos (accesorios y aparatos), de acuerdo a la necesidad de la red.
- Realiza el análisis de procesos de energía, la simulación de incendios, entre otros aspectos.
- Realiza el análisis de la red en lapsos de tiempo para precisar los caudales máximos horarios según la red diseñada.

3.7.2. Componentes de WaterCAD

Son elementos que permiten la circulación y distribución del líquido a través de la fuente de captación hasta la entrega final en los finales de los tramos de red de distribución.

Figura 3-9 Esquema del software WaterCAD.



Fuente: (Civilax, 2015)

3.7.2.1. Componentes físicos

- **Reservorios:** Representa una fuente infinita externa a la red de distribución, como por ejemplo (lagos, ríos, acuíferos, etc.).
- **Válvulas:** Utilizadas en el software para controlar la presión y caudal que se desplaza dentro de la red, WaterCAD maneja ciertas válvulas como entre estos tenemos equipos reductores de presión, sostenedoras de presión, controladoras de caudal y de propósito general. (Valenzuela Peña & Orillo Cruz, 2019)
- **Bombas:** Generadoras de energía mediante la impulsión del líquido a través de la tubería para elevar la altura piezométrica, las condiciones de la bomba pueden variar según la capacidad de impulsión.
- **Tanques:** Destinados por el almacenamiento de agua, este en la simulación del modelo puede variar con el tiempo. El funcionamiento de los tanques y en los

reservorios el programa simula estos elementos con un volumen infinito y su altura es constante en todo momento. (Valenzuela Peña & Orillo Cruz, 2019, p. 26)

- **Nudos:** Es la representación como uniones conectando la tubería el cual sirve para el paso del agua o actúa como salida de estos, en el software debe contener cierta información como la demanda en ese punto, la cota de elevación.

3.7.2.2. Componentes no físicos

El software además de contemplar los elementos físicos cuenta también con la interacción de los componentes no físicos, el programa contempla los siguientes aspectos.

- **Curvas características de bombas:** representa la relación del caudal y la altura que impulsa una bomba, este se puede observar en la ficha técnica de los rendimientos de las bombas de impulsión.
- **Curvas de rendimiento del sistema:** Es utilizado para el cálculo de energía el cual trabaja la bomba, curva calculada por el programa. (Valenzuela Peña & Orillo Cruz, 2019)

4. METODOLOGÍA

4.1. Uso de los SIG en la Construcción de Modelos de Redes de Distribución de Agua

Potable (RDAP)

Según el autor, (Bartolin, 2013) menciona la importancia de esta tecnología aplicada a la simulación de redes hidráulicas, aplicando el concepto de:

Son métodos y medios de georreferenciación que se están consolidando en la actualidad, debido a la actualización de los componentes como software y hardware, que permiten la interacción de la información geográfica a los modelos de distribución de agua potable, mediante el enlace de la información geográfica que permite los SIG, se evidencia la ubicación de cada uno de los puntos en el espacio, el cual es una base para la obtención de planos, en la ubicación de los elementos de la red, importantes para la planificación de campañas de mantenimiento, prevención, gestión de averías, demanda de los sistemas, etc. (p. 48)

Lo cual conlleva a la relación de estas dos actividades, para la interpretación y un óptimo modelado de los componentes que tiene las redes de distribución con el uso de los SIG.

4.1.1. Tecnologías relacionadas

La característica principal de los softwares de información geográfica es la de abarcar grandes cantidades de datos, los cuales se pueden representar en:

4.1.1.1. Mapeos:

Es la organización de archivos cartográficos mediante la interacción de varias capas de información para así obtener un mapa a detalle, con datos como niveles, alturas, entre otros.

4.1.1.2. Herramientas CAD:

Empleadas para el diseño de proyectos constructivos y obras de infraestructura, en este tipo de herramientas, se describe cada una de las longitudes, áreas y procesos constructivos, tiene la relación con demás programas para el vínculo de la información y realizar una proyección de este en los SIG.

4.1.2. Desarrollo de los SIG en las redes RDAP

Diferentes autores, definen este desarrollo en varios aspectos, como las fronteras existentes entre los sistemas y las condiciones ambientales externas a los proyectos, con respecto a esos aspectos se establecieron metodologías para el paso a paso de las fases de modelación de las redes de distribución como, por ejemplo.

4.1.2.1. Estudios preliminares.

Se definen las áreas de estudio, identificando los problemas presentes en cada una de las actividades, para realizar la planificación de los sistemas, donde se puede llevar a conocer la factibilidad de los proyectos.

4.1.2.2. Análisis y diseño.

Después de definir el área de estudio, las condiciones del sistema para aplicar, se realiza conceptualización del sistema, delimitando el proyecto o sistema respecto a la teoría aplicada en el área hidráulica.(Sandoval et al., 2013, p. 114)

4.1.2.3. Desarrollo y ejecución.

Continuando con la metodología, en este punto se ejecuta toda la recopilación de todos los datos, como lo descrito en los planos, datos de los componentes, como también de sus características y especificaciones que permitan cumplir con los parámetros de para realizar el proyecto.(Sandoval et al., 2013, p. 114)

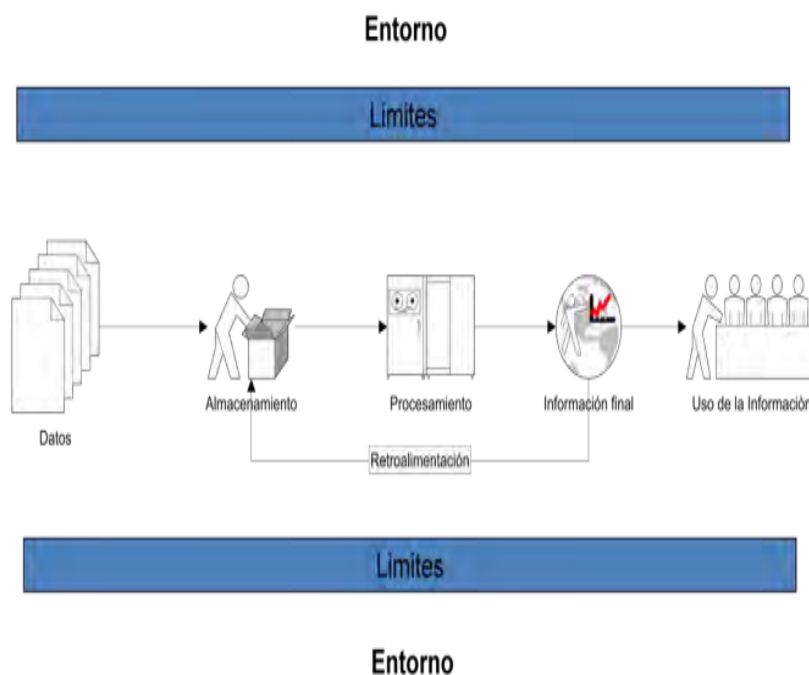
4.1.2.4. Inserción.

Esta fase la ejecutará las entidades prestadoras del servicio, siguiendo los criterios establecidos anteriormente, con el fin de observar la interacción de los modelos propuestos.

4.1.2.5. Producción.

Por último, esta fase la ejecutara los prestadores del servicio, con el fin de dar un mantenimiento a la red que se encuentra dentro del área de análisis, apoyándose la información suministrada por la base de datos geográfica.

Figura 4-1 Componentes de los sistemas de información.



Fuente: (Ospina, 2010); Diseño de un modelo de datos geográficos para la gestión empresarial. Caso de estudio: aguas KAPITAL Bogotá S.A. ESP.

5. INVESTIGACIÓN

5.1. Fuente de Información Utilizada en la Investigación

Las fuentes usadas para la investigación se tomarán de nivel nacional e internacional para la elaboración de este documento.

5.1.1. *Investigación nacional*

- ✓ Con el propósito de demostrar la importancia del uso de SIG para la optimización del tiempo de diseño en redes de distribución de agua potable los investigadores (Sanchez & Mendoza, 2021) aplicaron una metodología en la que definieron los softwares a utilizar, los alcances, parámetros y delimitaciones de la red se desarrollaron bajo la normatividad colombiana vigente, para lo cual modelaron una red de tipo ampliación para el sistema existente en la ciudad de Cúcuta- norte de Santander utilizando la topografía y la población de diseño de la tesis de grado de (Sánchez Tapiero, 2017), el software de sistema de información fue el programa de ArcGIS y para el modelo hidráulico se realiza la simulación de la red en Epanet 2.0, la metodología de estudio fue la siguiente, esta inicia con el trazado de la red, luego el uso de los SIG y por último la simulación de la red.

Para el trazado de la red utilizaron el software de AutoCAD puesto que este permite un manejo más rápido y eficaz, así mismo recalcan que es importante tener el plano del área de estudio con su correspondiente topografía con los datos de las curvas de nivel y perfiles de las vías; como resultado de esta primera fase se tiene un trazado de la red en CAD la cual presenta el trazado hidráulico de una red de distribución combinada o mixta conformada por redes cerradas y abiertas, este trazado se realizó mediante el plano topográfico, cumpliendo con los parámetros exigidos por la normatividad colombiana.

En la segunda fase para la implementación de SIG los autores utilizan el software ArcGIS; la importancia de la integración de los SIG en el mantenimiento de las redes radica en la mejora en la eficacia y eficiencia del sistema ya que al aplicarlos en el diseño generan información de base precisa lo que permite una disminución en el tiempo y en el

proceso de analizar los resultados debido a la conexión con el área gráfica de los SIG presentándolos de una forma más representativa, a su vez esto permite detectar las zonas con más vulnerabilidad que puedan requerir un mantenimiento o renovaciones en los accesorios y tramos de tubería, así mismo en el desarrollo de esta fase se logra obtener los datos de entrada necesario para realizar la simulación por medio de Epanet.

La simulación de la red en Epanet los autores llevaron a cabo la simulación de dos formas diferentes según lo establecido por las normas, el primero es sin tener presente los incendios y el otro es con la contingencia de incendio, esto se realiza con el fin de comprobar que la red diseñada tolere estas eventualidades inesperadas con esa magnitud de emergencia, como resultado se obtiene la información de los diámetros finales de diseño en las secciones de tubería para un periodo extendido de 24 horas siendo estos valores mayores al mínimo aceptado en la normatividad igualmente las presiones del sistema se encuentran en el rango aceptado.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y las evidencias mostradas los autores comprueban que la implementación de los SIG en el diseño de redes de distribución de agua potable para optimizar tiempo en analizar y realizar el procesamiento de los datos con una mayor velocidad y exactitud.

- ✓ De igual manera, el trabajo de grado por los autores, (Castro Sanchez et al., 2021) implementaron un sistema para la optimización de las RDAP para el municipio de Villeta – Cundinamarca, se basaron de la resolución 0330 de 2017 para la proyección del proyecto, siguiendo cada uno de los parámetros que establece las normas colombianas.

Desarrollaron la categorización del municipio extraen datos de suelos, climatología, hidrografía, además de profundizar temas como la instalación de red de distribución y los años que esta lleva prestando el servicio para los habitantes de Villeta.

La metodología la dividieron en las siguientes etapas:

Primera etapa: Evaluación y diagnóstico.

Realizaron reuniones con la empresa prestadora de servicios para conocer los problemas que estaba presentando la red, como fallos en las conexiones, posibles roturas de tramos de tubería. Como esa clase de fallas proceden a procesar la información mediante la creación de un modelo de la conformación de la red, mediante el software de diseño asistido, referenciado con cotas, altitudes, etc., y luego modelarlo en software hidráulico.

Segunda etapa: Caracterización sociodemográfica y económica del área de estudio.

De acuerdo, con la resolución 0330 se categoriza las actividades económicas realizadas dentro y fuera del área de municipio, para así tener en cuenta los caudales especiales en la red.

Tercera etapa: Diseño de la propuesta.

Mediante la programación y el software de modelado hidráulico los atores proceden a pasar cada una de la información, para alcanzar el óptimo diseño de la RDAP, estableciendo el caudal de entrada impuesto por la PTAP, como de definir las pérdidas presentadas en las secciones de la tubería.

Cuarta etapa. Modelado tramo de EPANET.

Por último, ya con todos los datos ingresados por parte de los autores ya definen mediante el cambio de secciones de tubería, como la adición de componentes físicos de la

red, se logra los resultados de optimizar cada uno de los puntos de la red, así conociendo presiones, velocidades, diámetros, entre otros, para la obtención de este diseño.

Como resultados de la tesis, se logra por parte de los autores, tener una simulación del comportamiento de la red como conocer las presiones para beneficiar a los habitantes siguiendo cada una de las condiciones de la normatividad.

- ✓ Mediante la implementación de los diseños de las redes de distribución los autores, (Gamboa Bohórquez & Rico Rodriguez, 2020) elaboraron de la mano de la empresa prestadora del servicio la modelación de la red de distribución, para observar falencias presentadas en la red, siguiendo las normas correspondientes para el sector de acueducto.

La metodología aplicada para esta tesis de grado, constaba del uso del software de diseño asistido AutoCAD Civil, donde se encuentra la información de los trazados de la red, niveles, cotas y demás información para su respectiva interpretación, como lo realizado de otros autores se realiza el acople de los softwares donde los autores realizan el trazado mediante Epanet, y este último programa será el encargado de arrojar cada uno de los resultados.

Siguiendo con lo anterior, delimitan el estudio en un periodo de 24 horas, durante ese tiempo se verificaron los rangos de presiones, velocidades, perdidas de carga, entre otras, basados en la normatividad colombiana de acueducto y alcantarillado, impuesta por la resolución 0330 de 2017.

Las limitaciones del proyecto es la falta de proyección de la red, como en la extensión y ampliación del acueducto, por otra parte, los autores realizan la descripción

de la red, longitudes, diámetros, material, aplicación de motobombas debido que se encuentran pozos profundos, determinantes para la simulación de la red.

Como conclusión los autores reflejan que presentan problemas en ciertos tramos de la red, que deben realizar su respectiva intervención acatando lo descrito por la resolución 0330 de 2017, fallas como en el diámetro en unos sectores de la red, velocidades en sectores del municipio no están sobre la media de 0,5 m/s y los 2 m/s establecidos por la normativa.

- ✓ Así mismo, los autores, (Martinez Cortes & Cardozo Nuñez, 2020) Describe una serie de pasos para la obtención de modelos hidráulicos a partir de los SIG con el uso de software de diseño asistido, en la obtención de información con respecto a las bases de datos de catastro que maneja la ciudad, con esto anteriormente dicho, desarrollaron la metodología en base a la división en tres fases las cuales son:

Primera etapa, Depuración de los planos records:

Realizan la interpretación de los planos mediante la revisión de los planos de acueducto y alcantarillado, para la información de la red hidráulica se tiene en cuenta los accesorios, secciones de tuberías, además de información alfanumérica como las cotas, pendiente, longitudes, entre otros.

Segunda etapa: Interconexión de los datos (CAD a Shape)

Se realiza el enlace de la información, plasmada en los planos digitales a softwares de información geográfica, para esta de tesis de trabajo se manejaron basados en el programa de ArcGIS, para el cambio de propiedades exportando la información en tipo Shapefile.

Tercera etapa: Exportación del archivo Shapefile.

Ya realizada el intercambio de los archivos en objeto, dwf a. shape, se realizó el manejo de la información ahora mediante los softwares SIG para tener la información alfanumérica, en cada uno de los nodos extraídos de los planos con su respectiva información alfanumérica.

Cuarta etapa, Construcción de la base de datos de los planos.

Los autores definen la base de datos, para establecer los protocolos de entrada mediante la adición de una georreferenciación de los puntos extraídos anteriormente, para este caso se eligieron las bases MAGNA – ciudad de Bogotá.

Quinta etapa: Creación topológica y simbología.

Con esta herramienta garantizan la conectividad de los puntos y continuidad de las redes, y por último paso de la metodología presentada por los autores tenemos la herramienta de simbology, representado la dirección del fluido en la tubería, debido a que esta última etapa es la validación final de la red de distribución.

Como resultados finales de la modelación de la red, se tiene en cuenta que se debe realizar una depuración de la información debido que se presentan problemas en como esta ordenado los datos en los dibujos digitales. En conclusión, la implementación de este tipo de información aplicada a la hidráulica tiende a optimizar el tiempo para vigilar el comportamiento de las redes de distribución, que beneficiaran a la empresa prestadora de servicio para posibles adiciones o fallas en la red.

- ✓ En ese mismo orden de ideas el autor, (Florian Pulido, 2017) según su tesis presenta la modelación de las RDAP para el municipio de Madrid Cundinamarca, mediante el software Epanet.

El autor presenta la siguiente metodología de trabajo que consta en la realización partidas en cuatro etapas (4), como:

Primera etapa, diagnóstico de la RDAP:

La etapa preliminar, realiza la recolección de datos, información obtenida por parte de la empresa prestadora del servicio, información como el mapa de la red, curvas de consumo, velocidades, entre otros.

Segunda etapa, construcción del modelo digital:

Procede a la interpretación de cada uno de los datos, importantes para el trazado de la red mediante la interacción del software de diseño asistido con la relación del simulador para establecer cada uno de los puntos, como longitudes de tubería, nodos, etc.

Tercera etapa, calibrar el modelo digital:

Después de realizar la simulación de la red de distribución mediante el software libre Epanet, proceden a optimizar la red mediante los cambios en relación de diámetros, adicción de componentes para cumplir con la normatividad.

- Cuarta etapa, propuesta de optimización:

Por último, el autor realiza la optimización por sectores o tramos de la red que arrojaron valores críticos en la simulación, este se debe a los parámetros como diámetros, edad de la tubería, rugosidad de la red y fugas que se presentan en los sistemas.

- ✓ En la ciudad de Bogotá los autores, (Salazar et al., 2017) realizaron un estudio para demostrar la relación existente entre la cantidad de tuberías presentes en la RDAP y la población en un área urbana determinada, de forma que los resultados logre contribuir en la mejora de futuros diseños más óptimos y eficientes para una distribución sostenible y equitativa de agua potable.

Para tal fin llevaron a cabo un estudio implementando los SIG y la relación de variables con el uso de software de programación como lo es MATLAB que puede determinar diferentes características hidráulicas y topologías mediante el ingreso de diferente información como por ejemplo la relación de la demanda poblacional o demanda de la red en diferentes tramos (Salazar et al., 2017), aplicadas en la RDAP de la ciudad de Bogotá dividiéndolo por sectores hidráulicos.

Para el desarrollo del proyecto los autores proponen una metodología que se divide en dos partes: la recopilación de información fiable, suficiente y representativa de la región de análisis; y el procesamiento de los datos para su posterior análisis. Esta información la obtienen del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes y de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).

Como resultado, los análisis se centran en la cantidad de nodos presentes en la red partiendo desde la suposición de una relación directa entre el caudal demandado y la población en cada nodo de la red, por lo que se asume que el caudal consumido en cada nodo de la red es proporcional a número de personas en esa área. Mediante el análisis con SIG se hizo uso de la herramienta Densidad Kernel de ArcGIS la cual permite el análisis de información generando capas raster según la densidad espacial de la variable analizada con la cual se obtuvo la densidad de la demanda, presión, LGH, velocidad, diámetros, número de tuberías y población de cada red, también se reclasifica la escala de valoración con los mismos valores y patrón de colores, según la densidad de la variable, para poder compararlas entre ellas.

Como resultado del uso de los SIG los autores recalcan que las densidades generadas para toda la ciudad de Bogotá hay ciertas curiosidades y análisis que valdría la pena entrar a analizar en trabajos posteriores. Se pudo observar sobre la densidad de nodos del sistema, que en la mayoría de la red se cumplía la relación de una mayor densidad poblacional y a su vez una mayor densidad de nodos. Sin embargo, hay una zona en particular al de la ciudad que llama la atención debido a que hay una baja densidad poblacional y una muy alta densidad de tubos y nodos.

Como conclusión los autores no obtuvieron una relación entre la población y el diseño de las RDAP y por lo tanto no permite la obtención de información concluyente para llegar a diseños más óptimos y eficientes con base en la situación demográfica de las ciudades.

- ✓ Por otra parte, los autores, (Diaz Morales & Mercado Yepes, 2016) realizan la elaboración de esta tesis de grado, busca presentar el manejo de la red hidráulica identificando valores de velocidad, caudal, presión en la red, etc. Mediante la implementación de herramientas de información geográficas así permitiendo validar los datos, debido a que la red de distribución presenta fallas en la prestación de los servicios.

Los primeros pasos es la depuración de la información, como planos del trazado de la red, georreferenciada, cartografía del municipio. Los autores se ayudaron de software para la simulación WaterGEMS V8I de Arcmap.

La metodología aplicada por los autores se divide en la siguiente:

Fase 1: Obtención de la información los cuales se basaron en los planos de la red de acueducto del municipio, para obtener los datos característicos como la longitud,

tipos, componentes físicos dentro de la red, los autores se basaron de la cartográfica dada por el IGAC, y por consiguiente establece los caudales de entrada, número de la población, localización de tanques de almacenamiento.

Fase 2: Depuración y aislamiento de la información mediante el enlace de datos del trazado de las redes al simulador WaterGEMS con la relación en base de la topografía, curvas de nivel, de las redes en el municipio.

Fase 3: Simulación de RDAP, en esta fase se realiza la conversión de archivos DWF a MBD, donde cada plano se realiza su respectivo análisis, dichos planos se deben estar referenciados con una base de datos, para la obtención de la simulación.

Por último los resultados de la tesis de grado los autores obtienen el comportamiento del sistema, con las diferencias de tuberías presentadas en la red de acueducto, las velocidades, la localización de las uniones, entre otras, para así concluir que el municipio tiene un bajo flujo de agua, además de presentar una variedad en los sectores de vivienda - comercio, indicado por el plan de ordenamiento territorial del municipio.

- ✓ Por último en las investigaciones y proyectos realizados en Colombia, El autor (Ospina, 2010) realiza su tesis con base en la obtención de un modelo para la optimización de actividades por parte de aguas KAPITAL en la ciudad de Bogotá, con el uso de software de información geográfica, para la prestación eficiente de los servicios impuestos por la empresa con base en la calidad de la operación y administración.

El autor realiza la investigación de los diferentes modelos que presenta los SIG comparándolos, además de informar de los errores que se pueden presentar en la recolección, análisis de los datos geográficos impuestos por parte de los usuarios.

La metodología desarrollada se implementa en primero la definición de los parámetros de la gestión de modelamiento para luego describir la necesidad del uso de los datos espaciales, siguiendo con la adaptación y creación de los modelos geográficos del acueducto para si terminar con el ensamble de los mapas descriptivos de la red impuesta por aguas KAPITAL en la ciudad de Bogotá.

Los resultados expresados al final, reflejan la creación de un modelo geográfico para suplir las necesidades impuestas por la empresa Agua KAPITAL S.A E.S. P, en el cual se utilizará en realizar las actividades de operación y técnicas en los negocios de acueducto en la capital colombiana, el análisis de la información geográfica se estableció en 10 áreas con grandes cantidades de información, estructurando la información por fases la cuales son la siguientes.

Primera fase: Es la encargada de verificar la operación de la red como también de su respectivo mantenimiento, ante los daños que se puedan presentar en las tuberías, estado de los hidrantes y realizar análisis de daños en los tramos de la tubería existente.

Segunda fase: Son aquellas que están georreferenciadas y se deben tener en cuenta estos datos para la obtención del modelo.

Tercera fase: Datos que no están en los modelos y deben ser analizados y añadirlos a los modelos geográficos.

5.1.2. Investigación internacional

- ✓ Por su parte, los autores, (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019) En la provincia de Guanacaste, Costa Rica, se llevó a cabo una investigación sobre los SIG y la modelación hidráulica de redes RDAP, la cual tiene como principal objetivo elaborar y ejecutar una metodología para el proceso de modelos hidráulicos, basados en el uso de datos creados mediante la implementación de softwares de información geográfica.

Para el desarrollo de este proyecto los autores presentan como primer aspecto la búsqueda de la información en el área de intervención del proyecto, en este caso se obtiene una información digital como la de dibujo asistido (CAD) en la que se lleva a cabo el proceso de la creación de planos que permite la creación de datos bases y que después se usen en los modelos hidráulicos, el software utilizado para este proyecto es ArcGIS 10, así mismo este software permitirá la revisión de las tuberías e infraestructura para detectar posibles riesgos que puedan afectar el sistema de distribución agua potable a la población.

Las principales actividades desarrolladas en este proyecto son la creación y clasificación de capas por atributos, la reubicación de los puntos en posición real mediante la compresión de los mapas y la cartografía, limpieza de capas, reparación y construcción de la base de datos, así como la verificación de campo.

En el modelado hidráulico de las RDAP permite ver el funcionamiento de estas a lo largo del día bajo condiciones anteriormente establecidas, para este caso de estudio los autores eligieron el software WaterCAD/GEMS V8i, que es un software privado de pago para el análisis de redes de distribución, (González-Ramírez & Bejarano-Salazar, 2019).

WaterGEMS permite simular la red hidráulica, representa los elementos como: Líneas, puntos, tanques, reservorios, hidrantes, bombas, válvulas de control, regulación, etc.

La construcción del modelo hidráulico la dividen en diferentes fases, las cuales varían de acuerdo con el orden de ejecución y de la intervención del usuario como plantea los procesos, para este proyecto los investigadores se ejecutaron 6 fases de estudio.

Culminado este trabajo los autores logran estructurar la metodología que incorpora el tratamiento y gestión de datos de los sistemas de acueducto y sanidad del agua, de manera georreferenciada y adaptada a los estándares de validación, además de la incorporación de estos modelos a la etapa de producción.

- ✓ En ese mismo orden de ideas, el autor, (Reino García, 2014) aplica los SIG con la aplicación del software ArcGIS con el complemento de ArcMAP para representar la RDAP, mediante la relación de datos de los aspectos hidráulicos, donde se limitaron y los alcances.

La metodología impuesta por el autor consta de la siguiente información siguiendo las siguientes fases de estudio y compresión de los datos, siguiendo una serie de fases para la optecion de los resultados los cuales son:

Estudios preliminares:

Es la recolección de la información, mediante la búsqueda en las empresas prestadoras del servicio, quien dispone de los datos como ubicación, características de la tubería, componentes de la red y por último en esta fase la primera característica es la de delimitar el proyecto.

Recopilar la información:

Estudia y analiza de los datos topográficos, planos de distribución de cada uno de los puntos, como el trazado de redes, componentes en la redes hidráulicas y especificaciones como longitudes, diámetros y la información geográfica que se establecieron en el sistema WGS84.

Análisis y diseño:

Se realiza la conceptualización de los sistemas, planificación de los procesos, el autor tiene en cuenta los requerimientos básicos de la normativa aplicada en las redes hidráulicas.

Desarrollo y ejecución

En esta fase el autor realiza la conexión de los diferentes datos mediante el procesamiento de la información entregando los objetivos propuestos en la tesis de grado.

Implantación de pruebas:

Continuando con la proyección del proyecto, el autor define realizar pruebas para comprobar los modelos realizados mediante los sistemas de información.

Mantenimiento:

Son las actividades que son realizadas por la empresa encargada, para prevenir posibles fallas, además de realizar mantenimientos correctivos.

Como resultados de la tesis, mediante el uso de los sistemas de información geográficas con los modelos exportados, se evidencia las ramificaciones de la red hidráulica con sus respectivas informaciones alfanuméricas y de detalle.

El autor concluye, la implementación de estos softwares de información geográfica, se obtiene una mejor interpretación de los datos, ordenados mediante la guía de medidores, ubicación de componentes y su respectiva simbología.

- ✓ Al mismo tiempo para el estado de México se presenta problemas con el uso del agua, en base a las sequias, tiempos de inundaciones, las características de los suelos en ese estado, afectaciones en acuíferos.

Ante esta problemática los autores (Mejía-Pedrero & Ruíz-Tapia, 2011) expresan la importancia de la utilización de los SIG para la toma de decisiones, siendo el objetivo de la investigación el diseñar e integrar datos técnicos mediante una plataforma informática. La aplicación de los SIG constituye una pieza clave en el desarrollo de la creación de los modelos. Se dispone de la información presentada por los planos de la ciudad, para dimensionar la magnitud del problema que se presenta en el área de estudio. En el desarrollo del proyecto los autores destacan las categorías de los campos de aplicación de los SIG, así como su aplicación en diversas disciplinas.

Finalizada esta investigación los autores reconocen que, ante los adelantos informáticos la interfaz de los softwares información geográfica es compleja en la actualidad, por lo que recomiendan contar con un especialista en el manejo e interpretación de los SIG para facilitar los procesos de construcción y modelación de dichos sistemas.

6. CONCLUSIONES

En base a la información recolectada y estudiada con respecto al uso de los SIG se concluye lo siguiente:

De acuerdo con los resultados y conclusiones de los autores la gran mayoría de investigaciones indican sobre la optimización de los diseños de las redes RDAP, en el cual los softwares de georreferenciación realizan una entrega de valores más precisa y rápida, no a lo realizado por los CAD que debían interpolar los datos para la entrega de información que no era muy precisa; ahora con la sincronía entre las utilidades de los datos (dataset, street data, buildings data, vegetation data, etc.) y la representaciones en formatos raster y vectoriales se culmina la entrega de los resultados de los SIG a los métodos hidráulicos muy determinantes en la realización de las de redes RDAP.

Los autores manejan una gran variedad de software en la modelación basados en los SIG como por ejemplo ArcGIS, Global Mapper, QGIS, entre otros, que complementan una base de herramientas muy utilizadas en la información georreferenciada y espacial, para la creación de mapas, realizar consultas en base de datos de componentes físicos en las áreas estudiadas.

Quizás de las conclusiones más importantes en el propósito general de los SIG, es pasar de un modelo de solo la recopilación de los datos utilizadas en programas de inventario y la realización de planos, a la completa incorporación a programas de simulación hidráulica, generando el enlace de la información cartográfica, geográfica, geoespacial a software de modelación hidráulica mediante el funcionamiento de la red, importante en la toma de decisiones de los diferentes planes de operación y prevención.

En conclusión la aplicación de esta serie de programas a la simulación de redes de distribución, constituye un gran aporte a la hora de realizar de diagnósticos de operación, prevención y mantenimiento de las redes de distribución, además de conocer una ubicación exacta de los componentes y su respectivo funcionamiento con el cambio de secciones a la hora de realizar las modelaciones, el enlace de la información de forma preliminar, como la recolección de los planos donde se especifica el diseño de la red, componentes y trazado, con la relación de la topografía de todos los elementos, el uso de los softwares de SIG para la visualización en el espacio de los elementos y por último, darle condiciones a la red para su funcionamiento bajo caracteres dadas por el usuario en base a las demandas de abastecimiento del lugar y cumpliendo con la normativa vigente.

Esto toma una gran importancia para la parte de la ingeniería civil, en sus ramas en la base de la hidráulica, catastro, obras viales, etc. Con la implementación de esta tecnología, si bien con el tiempo las condiciones de la optimización de la informática y la información vienen en constante actualización como la modernización de los hardware y software, sus procesos se disminuyen en base a la optimización de los tiempos de insertar los datos, analizar información insertada y por último entregando los datos de una manera más conjunta.

7. REFERENCIAS

- Araneda, E. C. (2002). Uso de Sistemas de Información Geográficos y análisis espacial en arqueología: Proyecciones y limitaciones. *Estudios Atacameños*, 22, 59–75.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-10432002002200004
- Autodesk. (2022). *Autodesk Map 3D*. <https://www.autodesk.es/products/autocad/included-toolsets/autocad-map-3d>
- Bartolin, H. (2013). *Confección de modelos de redes de distribución de agua desde un SIG y desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones* (Issue October 2013) [Universidad Politecnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/33152>
- Bentley. (2022). *Bentley Map*. 28 Abril 2022. <https://gisgeography.com/bentley-map-cad-gis/>
- Blog del agua. (2017). *EPANET, un potente software gratuito para el análisis de redes de distribución de agua*. <https://blogdelagua.com/actualidad/epanet-un-potente-software-gratuito-para-el-analisis-de-redes-de-distribucion-de-agua/>
- Castro Sanchez, C. J., Hernandez Sanchez, V. D., & Moreno Vanegas, A. J. (2021). *OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE VILLETA – CUNDINAMARCA*. Universidad Piloto.
- Civilax. (2015). *WaterCAD User Guide*. <https://www.civilax.org/watercad-user-guide/>
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable. In *Comisión Nacional del Agua*. [https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA s.f.a. Diseño de redes de distribución de agua potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA_s.f.a._Diseño_de_redes_de_distribución_de_agua_potable.pdf)
- Díaz Morales, D. B., & Mercado Yepes, N. E. (2016). *GESTIÓN TÉCNICA DE REDES DE*

- ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN NEPOMUCENO BOLÍVAR MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG* (Issue August). Universidad de Manizales.
- EPANET 2.0. (2006). EPANET 2. Manual de usuario. In U. de Valencia (Ed.), *Media* (Vol. 806, Issue Enero, pp. 1–92). <http://epanet.info/manuales/epanet-2-manual-de-usuario-espanol/>
- Fernández García, E. (2012). *Ejemplos De Aplicación De Model Builder De Arc Gis 10 En La Gestión Forestal*. Universidad de Oviedo.
- Florian Pulido, S. B. (2017). *PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE -RDAP- DEL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDINAMARCA*. Universidad Católica de Colombia.
- Gamboa Bohórquez, J. Al., & Rico Rodríguez, J. S. (2020). *ELABORACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE FUNZA CUNDINAMARCA UTILIZANDO EL SOFTWARE EPANET*. UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA.
- García León, J., García Martín, A., & Torres Picazo, M. (2014). gvSIG guía para el aprendizaje autónomo. In *gvSIG guía para el aprendizaje autónomo*.
- Global Mapper. (2022). *Global Mapper*.
<https://www.geoenergy.com/es/software/geosoluciones/global-mapper>
- González-Ramírez, E. A., & Bejarano-Salazar, E. (2019). Sistemas de información geográfica y modelado hidráulico de redes de abastecimiento de agua potable: estudios de caso en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(63), 293–318. <https://doi.org/10.15359/rgac.63-2.11>
- Howe, K. J., Crittenden, J. C., Tchobanoglous, G., Trussell, R. R., Hand, D. W. (2017).

- Principios de tratamiento del agua* (C. Learning (ed.); 1st ed., pp. 5–24). <https://www-ebooks7-24-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/?il=3818>
- Ibarloza Arrizabalaga, A., Malles Fernández, E., & Azkue Irigoien, I. (2015). La gestión del ciclo integral del agua: los costes, su recuperación y las buenas prácticas. El caso de Gipuzkoa. *Revista de Estudios de La Administración Local y Autonómica*, 3, 231–246. <https://doi.org/10.24965/reala.v0i3.10250>
- López Lara, E., Posada Simeón, C., & Moreno Navarro, J. G. (2019). Los Sistemas De Información Geográfica. *Sistemas De Información Geográfica*, 789–804. <https://doi.org/10.33262/cde.3>
- López Páez, H. R. (2019). *Evolución de los Sistemas de Información Geográficos en el Ejército de Colombia*. 1–32.
- Martinez Cortes, M. F., & Cardozo Nuñez, J. L. (2020). *METODOLOGÍA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE UN CATASTRO DE REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN UN SOFTWARE SIG PARA EL BARRIO GUACAMAYAS. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.*
- MasterGIS. (2022). *MG TV ? EP #3: Historia de los SIG*. https://www.youtube.com/watch?v=099lhkQTY1o&ab_channel=MasterGIS
- Mejía-Pedrero, L. E., & Ruíz-Tapia, L. A. (2011). Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para la toma de decisiones . Caso CONAGUA Estado de México Caso CONAGUA Estado de México Geographic Information System Applied in the Decision Making Process at the Mexico State Office of National Water. *Revista de Estudios En Contaduría, Administración e Informática*, 1(1), 30–47.
- Ministerio de Educacion Nacional. (2010). *Sistema de Información Geográfico (SIG)*.

<https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>

Ospina, D. M. (2010). *Diseño de un modelo de datos geográficos para la gestión empresarial.*

Caso de estudio: Aguas Kapital Bogotá S.A. ESP. Empresa de acueducto [UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/5132/>

QGIS. (2022). *QGIS.* <https://qgis.org/es/site/about/index.html>

Resources ArcGIS. (2022). *Introducción a SIG.* <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm#:~:text=Un mapa SIG es una,mantener el contenido del SIG>

Reino García, A. E. (2014). *Aplicación de GIS en la implementación del sistema de control Georeferenciado para la Red Distribución del Sistema de Agua Potable de Patamarca Patrono San Andrés.* UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.

Resources ArcGIS. (2022). *ArcGIS.* <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

Salazar, A. C., Saldarriaga, J., & Vega Piia, L. C. (2017). Analisis SIG de caracterrsticass topologicas e hidraulicas vs. densidad poblacional en Redes de Distribuciin de Agua Potable Caso de estudio en la ciudad de Bogota, Colombia. *SSRN Electronic Journal*, XV, 1–8. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3108171>

Samaniego, M., & Chiriboga, P. (2009). *Comparativa entre herramientas de sistemas de información geográfica libre y propietario basada en métricas de calidad desarrollando SIG para Defensa Civil.* Escuela superior politecnica de Chimborazo.

Sanchez, I., & Mendoza, M. (2021). SIG aplicado a la optimización del tiempo de diseño en redes de distribución de agua potable. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, XLII(1), 68–80.

Sánchez Tapiero, D. I. (2017). *Diseño implementado con herramientas tecnológicas de las redes*

de acueducto y alcantarillado sanitario del asentamiento José Bernal, municipio de Cúcuta Norte de Santander. Universidad de Pamplona.

Sandoval, L. F., Zurvia-flores, J. R. R., & Bruno, A. (2013). Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, XXXIV(1), 112–126.

Sarría, F. A. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Universidad de Murcia.

Siabato, W. (2018). Sobre la evolución de la información geográfica: Las bodas de oro de los sig. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(1), 1–9.

<https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.69500>

Temes Cordovez, R. R., & Moya Furo, A. (2021). *QGIS Aplicado al Urbanismo* (Issue sp). <http://catalogo.rebiun.org/rebiun/record/Rebiun28617142>

Valenzuela Peña, M. E., & Orillo Cruz, G. A. (2019). *Agua potable en la localidad de Paucartambo - Cusco*. Universidad Peruana de ciencias aplicadas.

WaterCAD. (2022). *Software de análisis y modelado de sistemas de distribución de agua*. <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watercad>