



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

VERIFICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE
CON WATERGEMS PARA LA PARROQUIA INÉS ARANGO PROVINCIA
DE ORELLANA

MORAN SAMANIEGO ACXEL JOSUE
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

VERIFICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA
POTABLE CON WATERGEMS PARA LA PARROQUIA INÉS
ARANGO PROVINCIA DE ORELLANA

MORAN SAMANIEGO ACXEL JOSUE
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

VERIFICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE CON
WATERGEMS PARA LA PARROQUIA INÉS ARANGO PROVINCIA DE ORELLANA

MORAN SAMANIEGO ACXEL JOSUE
INGENIERO CIVIL

AGUIRRE MORALES FREDY ALEJANDRO

MACHALA, 25 DE AGOSTO DE 2022

MACHALA
25 de agosto de 2022

DISEÑO RED AGUA POTABLE CON WATERGEMS

por Acxel Moran Samaniego

Fecha de entrega: 15-ago-2022 05:54p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1882961227

Nombre del archivo: MOR_N_SAMANIEGO_ACXEL_JOSU_-DISEÑO_RED_CON_WATERGEMS.docx (2.27M)

Total de palabras: 5366

Total de caracteres: 26315

DISEÑO RED AGUA POTABLE CON WATERGEMS

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repository.unab.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

2

forum.susana.org

Fuente de Internet

<1 %

3

www.minsa.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

4

Lecture Notes in Computer Science, 2009.

Publicación

<1 %

5

rraae.cedia.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

6

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

7

ruj.uj.edu.pl

Fuente de Internet

<1 %

8

selvaazul.com

Fuente de Internet

<1 %

9

vdocuments.es

Fuente de Internet

<1 %

10	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
11	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
12	docs.google.com Fuente de Internet	<1 %
13	e-archivo.uc3m.es Fuente de Internet	<1 %
14	es.mongabay.com Fuente de Internet	<1 %
15	maniqui.arqui.com Fuente de Internet	<1 %
16	network.bepress.com Fuente de Internet	<1 %
17	trid.trb.org Fuente de Internet	<1 %
18	www.boliviawebsite.com Fuente de Internet	<1 %
19	www.doccity.com Fuente de Internet	<1 %
20	www.flacsoandes.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
21	www.huelva.es Fuente de Internet	<1 %

22

archive.org

Fuente de Internet

<1 %

23

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, MORAN SAMANIEGO ACXEL JOSUE, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado VERIFICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE CON WATERGEMS PARA LA PARROQUIA INÉS ARANGO PROVINCIA DE ORELLANA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

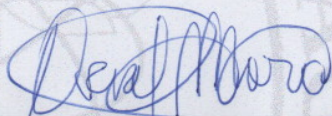
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 25 de agosto de 2022



MORAN SAMANIEGO ACXEL JOSUE
2200366512

RESUMEN

En el presente trabajo se usó del software WaterGEMS y su algoritmo para diseñar de manera óptima la red de distribución de agua potable de 5 comunidades de la parroquia Inés Arango, ubicada en la provincia de Orellana. Se explica la manera en que la herramienta Darwin Designer del software a través de algoritmos genéticos busca los diámetros óptimos para minimizar el costo de las tuberías. Se tomó de referencia el “Código De Práctica Para El Diseño De Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable, Disposición De Excretas Y Residuos Líquidos En El Área Rural”. El trabajo consta de tres partes: en la primera parte se definieron los aspectos teóricos que rigen tanto a las redes de agua como al programa y los algoritmos que éste usa, siendo este un algoritmo genético. En la segunda parte se procedió a realizar el uso del programa WaterGEMS y su herramienta para optimización Darwin Designer usando diámetros interiores de tuberías comerciales y el precio de las tuberías. Como resultado se obtuvo una configuración de tuberías que cumplieron en su mayoría las restricciones con la excepción de 3 de ellas: tuberías T-1 (0,07 m/s), T-8 (0,14 m/s) y T-6 (0,29 m/s), en cuanto a los nodos, el resultado fue más favorable teniendo así un único nodo que excede la presión máxima siendo el nodo J-5 con una presión de 52,02 m.c.a. y con respecto al costo de las tuberías, se obtuvo un ahorro de 130,33 \$ con respecto a la primera configuración.

Palabras clave: WaterGEMS, algoritmos genéticos, red de distribución

ABSTRACT

In this work, the WaterGEMS software and its algorithm were used to optimally design the potable water distribution network of 5 communities of the Inés Arango parish, located in the province of Orellana. It is explained how the Darwin Designer tool of the software, through genetic algorithms, searches for the optimal diameters to minimize the cost of the pipes. The "Code of Practice for the Design of Drinking Water Supply, Excreta Disposal and Liquid Waste Systems in Rural Areas" was used as a reference. The work consists of three parts: in the first part, the theoretical aspects governing both the water networks and the program and the algorithms it uses were defined, this being a genetic algorithm. In the second part, the use of the WaterGEMS program and its optimization tool Darwin Designer was carried out using internal diameters of commercial pipes and the price of the pipes. As a result, a configuration of pipes was obtained that fulfilled most of the restrictions with the exception of 3 of them: pipes T-1 (0.07 m/s), T-8 (0.14 m/s) and T-6 (0.29 m/s), as for the nodes, the result was more favorable having only one node that exceeds the maximum pressure being node J-5 with a pressure of 52.02 m.c.a. and with respect to the cost of the pipes, a saving of \$130.33 was obtained with respect to the first configuration.

Keywords: WaterGEMS, genetic algorithms, distribution network.

ÍNDICE

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
ÍNDICE	11
INTRODUCCIÓN	13
1 GENERALIDADES DEL OBJETO DE ESTUDIO	14
1.1 Definición y contextualización del problema	14
1.2 Objetivos de la investigación	14
1.2.1 Objetivo general	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 Datos del problema	14
1.3.1 Ubicación geográfica.....	15
2 DESARROLLO.....	16
2.1 Fundamentos teóricos.....	16
2.1.1 Redes de agua potable	16
2.1.1.1 <i>Redes abiertas</i>	16
2.1.1.2 <i>Redes cerradas</i>	16
2.1.1.3 <i>Redes mixtas</i>	16
2.1.2 Pérdidas en las redes de agua.....	17
2.2 WaterGEMS.....	17
2.2.1 Optimización de redes de agua.....	17
2.2.1.1 <i>Ecuación de costo mínimo</i>	18
2.2.1.2 <i>Conservación de la energía</i>	18
2.2.1.3 <i>Ecuaciones de pérdida de carga</i>	18
2.2.1.4 <i>Conservación de la masa</i>	18
2.3 Darwin Designer.....	19
2.3.1 Restricciones de diámetros de tuberías	19
2.3.2 Restricciones de presión en los nodos	19
2.3.3 Restricciones de velocidad en las tuberías.....	20
2.4 Algoritmos genéticos.....	20

2.4.1	Operador de selección	21
2.4.2	Operador de cruce	21
2.4.3	Operador de mutación	22
2.4.4	Reemplazamiento	22
2.4.5	Terminación	22
2.5	Criterios de diseño	22
2.6	Uso de WaterGEMS para la optimización de la red.....	23
3.	CONCLUSIONES.....	36
	REFERENCIAS.....	37
	ANEXOS	39

INTRODUCCIÓN

Realizar el cálculo de una red de distribución de agua potable puede llegar a ser una tarea exhaustiva debido a las muchas posibilidades que conlleve a optimizar el conjunto de elementos que abarca la red. El calibrar las redes es complejo debido a las diversas combinaciones con los elementos que conllevan las redes de agua potable.

Encontrar un diámetro adecuado para una red es muy importante. El diámetro es el parámetro que determina el comportamiento del sistema hidráulico a lo largo de la red, determina las velocidades y presiones. [1]

Debido al avance de la tecnología han surgido diferentes opciones para optimizar el cálculo de las redes de sistema de agua potable, muchas empresas han lanzado al mercado diferentes softwares que ayudan al cálculo de las redes de agua potable, sin embargo, la tecnología es un campo que avanza constantemente teniendo así cada vez más y mejores herramientas que nos ayuden en el diseño.

El presente trabajo, buscará optimizar la red de agua potable de la parroquia Inés Arango la cual suministrará agua potable a 5 comunidades, el proyecto se encontrará ubicado en las coordenadas (0292874, 9896653) y beneficiará a una población de 649 habitantes pertenecientes a las 5 comunidades (Alpes, Dicapari, Los Pinos, Porvenir, Valle de los Aucas). Se usará la herramienta Darwin Designer, del software WaterGEMS, la cual permite realizar un diseño óptimo de una red de agua potable, luego de otorgarle ciertas restricciones las cuales ejecutan iteraciones a partir de un algoritmo genético.

1 GENERALIDADES DEL OBJETO DE ESTUDIO

1.1 Definición y contextualización del problema

El abastecimiento de agua en las zonas rurales del Ecuador sigue siendo escaso, ocasionando que las poblaciones de estos sectores tengan que abastecerse de fuentes como de pozos o aguas lluvias. Estas fuentes de agua no llegan de manera óptima al consumidor, puesto que las personas que deseen abastecerse deberán de acercarse hasta la fuente de agua.

Actualmente, el servicio de agua potable en las zonas rurales es limitado o incluso inexistente. El diseño de las redes de agua en los sectores rurales es complejo debido a que, al ser redes muy pequeñas, es posible que, en ciertos tramos, debido a la longitud no se cumplan con los criterios de diseño.

El propósito de este trabajo es encontrar diámetros comerciales óptimos, que cumplan los criterios de diseño a un costo mínimo.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 *Objetivo general*

Realizar el diseño de la red de distribución de agua potable de la parroquia Inés Arango, ubicada en Puerto Francisco de Orellana, Orellana mediante la aplicación del software WaterGEMS con el fin de identificar los parámetros más importantes para la simulación de redes de distribución de agua potable.

1.2.2 *Objetivos específicos*

Determinar los diámetros de las tuberías principales de la red de distribución de la parroquia Inés Arango con la utilización del software WaterGEMS.

Comparar los parámetros de velocidad en las tuberías y de presiones en los nodos con los valores máximos y mínimos de la normativa vigente.

Evaluar si la utilización del software beneficia al diseñado, comparando parámetros de diseño y costos.

1.3 Datos del problema

Para la realización del diseño de la red se contó con la colaboración del departamento de proyectos del municipio de Puerto Francisco de Orellana. Se obtuvo de este

departamento los datos necesarios para llevar a cabo la simulación de la red y optimizar su diseño con el fin de obtener una reducción en el costo de la red.

1.3.1 Ubicación geográfica

La dotación de agua será destinada para las comunidades Los Pinos, El Porvenir, Los Alpes, Valle de los Aucas y Dicapari, pertenecientes a la parroquia Inés Arango ubicada en el cantón Puerto Francisco de Orellana de la provincia de Orellana. El mapa se muestra en la Ilustración 1. Las comunidades se encuentran a 70 km de la ciudad de Francisco de Orellana. [2]

Las coordenadas en el sistema WGS 84 17 son las que se presentan a continuación:

X: 0292874

Y: 9896653

Ilustración 1. Mapa de Ubicación de las Comunidades que integran el Proyecto



Fuente: [2]

2 DESARROLLO

2.1 Fundamentos teóricos

2.1.1 *Redes de agua potable*

Las redes de distribución de agua potable constan de varios elementos necesarios para suministrar agua para uso doméstico, emergencia, incendios, industrial, entre otros, dependiendo de las necesidades del área a suministrar. Entre los accesorios que conforman las redes de distribución de agua potable de tiene, tuberías, bombas, válvulas, uniones, codos, tees, etc. Una red de distribución de agua potable debe de suministrar a todos los nodos, todos los días del año y bajo ciertos parámetros que constan en las normas locales. Entre estos parámetros se debe cumplir con rangos de presiones y velocidades, entre los más importantes. [3]

Las redes de distribución de agua potable se pueden dividir en 3 grandes grupos; redes abiertas, redes cerradas, y redes mixtas.

2.1.1.1 *Redes abiertas*

Son aquellos tipos de redes en los cuales no existe ningún circuito cerrado, son usadas comúnmente en zonas pequeñas, en donde la red principal es una red abierta, y de ella surgen varias redes secundarias o de relleno, que se conectan a las conexiones domiciliarias, pero para el cálculo hidráulico, la red principal es considerada como una red abierta. Este es el tipo de red que se tiene en el presente trabajo.

2.1.1.2 *Redes cerradas*

Este tipo de redes tienen como finalidad tener circuitos cerrados. Esta configuración permite el suministro de agua por más de un tramo, de este modo agregándole confiabilidad al suministro de agua en la red. Este tipo de redes son las más usadas en las ciudades. Otra de las características es que permite aislar a sectores en caso de fallas en alguno de los tramos del sistema a través de válvulas ubicadas de manera estratégica según lo indique la normativa.

2.1.1.3 *Redes mixtas*

Estas redes son las que involucran los dos tipos anteriores, en la cual de una red principal cerrada se desprenden ramales secundarios teniendo así en el centro una red cerrada y en el perímetro redes abiertas (de ramales secundarios). [4]

2.1.2 Pérdidas en las redes de agua

Las pérdidas de agua mundialmente arrojan cifras alarmantes, las mismas que podrían suministrar de agua a 200 millones de personas; esto se traduce en una pérdida de 45 billones de metros cúbicos, y una pérdida económica aproximada de 14 billones anuales. [5] Este problema requiere de tomar acciones por parte de las empresas que suministran agua con el fin de reducir estas pérdidas.

Las pérdidas pueden ser aparentes o reales. Relacionadas con el primer grupo se podría tener pérdidas debido a errores de recolección, hidrómetros defectuosos y usos no autorizados de agua. En cuanto a fugas reales, se tienen agujeros en las tuberías o fugas en los nodos.

Las pérdidas en las redes de distribución generalmente surgen debido al exceso de presión en zonas específicas de la red, por lo cual es importante la optimización de esta, sin dejar de lado las presiones mínimas, las cuales generan escasez de agua en donde la presión no es la adecuada. [5]

2.2 WaterGEMS

WaterGEMS es un software desarrollado por la empresa Bentley que se usa en el cálculo y análisis de redes de agua potable. Es una potente herramienta que permite, a partir de datos de entrada encontrar puntos críticos en la red para ser analizados. El algoritmo de cálculo está basado en el gradiente hidráulico y permite la implementación de archivos DXF para importar un modelo previamente creado en un software de CAD, ahorrando así el tiempo que se pueda llevar el trazado de la red en WaterGEMS. El programa cuenta con todo tipo de elementos que conformen una red de distribución como pueden ser: tanques, reservorios, bombas y válvulas. [6]

2.2.1 Optimización de redes de agua

La optimización de una red de agua potable consiste en que, para una topología determinada, encontrar la combinación de diámetros comerciales de tuberías, respetando las presiones mínimas requeridas, las mismas que constaran en las normas regionales vigentes. [7] Otro de los aspectos importantes a considerar es el costo total de la red, por lo que incorporar datos de entrada como los expuestos con anterioridad a la optimización de cualquier red de agua potable es esencial en el diseño de las redes de agua potable. [8]

2.2.1.1 Ecuación de costo mínimo

$$\text{Minimizar } f(D_j) = \sum_{j=1}^E C_j \times (D_j, L_j) \quad (1)$$

En la ecuación anterior, E representa el número de tuberías de la red, C_j representa el costo por metro lineal de tuberías, D_j es el diámetro de y L_j es la longitud de las tuberías.

Las redes de agua están sujetas a ciertas leyes físicas que cumplen como son:

- Conservación de la energía
- Conservación de la masa
- Presiones mínimas

2.2.1.2 Conservación de la energía

En la red debe satisfacerse la ecuación de la energía. Esta establece que la suma de las pérdidas de carga debe de ser igual a 0.

$$\sum_{j=1}^T \Delta H_j = 0 \quad (2)$$

Donde T son las tuberías de la red, H_j las pérdidas.

2.2.1.3 Ecuaciones de pérdida de carga

Estas pérdidas se relacionan con la pérdida de presión en la red debido a la rugosidad de las tuberías o a las pérdidas ocasionadas por los diferentes accesorios que conformen la red. Para el estudio de análisis se usará la ecuación de Darcy Weisbach:

$$\Delta H_j = H_{j,n} - H_{j,k} = f \frac{L_j V^2}{D_j 2g} \quad (3)$$

Se puede observar, que la pérdida está en función de la velocidad, g es la aceleración de la gravedad, y f depende del régimen del flujo.

2.2.1.4 Conservación de la masa

Esta ley establece que, para cada nodo, el volumen de agua que ingresa es igual al volumen de agua que sale del mismo.

$$-\sum Q_{in} + \sum Q_{out} + DM = 0 \quad (4)$$

Donde DM es el consumo en el nodo, Q_{out} es el caudal que sale del nodo y Q_{in} es el caudal que ingresa en el nodo. [8]

2.3 Darwin Designer

Entre las herramientas que posee WaterGEMS, y la que se usará en el presente trabajo se tiene a Darwin Designer, la misma que a través de algoritmos genéticos y restricciones, entrega diámetros recomendados para el diseño de una red.

Darwin Designer es una potente herramienta de WaterGEMS que permite encontrar combinaciones de tuberías que representen un costo bajo y además un beneficio máximo. Está sujeta a restricciones que el usuario le asigne de presión en el caso de nodos y de velocidad en el caso de tuberías. [9] Esta herramienta usa los algoritmos genéticos para realizar dicha optimización. En su mayoría, los investigadores han determinado que es una herramienta muy buena para la optimización y rehabilitación de redes de agua potable. [10]

Se debe de tener presente que la herramienta Darwin Designer no puede, de ninguna manera reemplazar el criterio del ingeniero, puesto que, al obtener los diámetros a través de esta herramienta, se debe de ajustar los diámetros como se considere correcto [11]. En el presente trabajo se realizaron correcciones en la salida del tanque, puesto que usando Darwin Designer se obtuvo un diámetro interno de 46 mm, y en tramos aguas abajo, se aumentaba a 90 mm. Se realizaron correcciones similares en varios puntos de las redes logrando así que la red se configure de valores mayores a menores de diámetro según [4].

2.3.1 Restricciones de diámetros de tuberías

Estas restricciones las otorga el usuario al asignar un catálogo de tuberías que usará el programa para dimensionar la red. Entre los parámetros que se encuentran en el catálogo son diámetros, costos y rugosidad. Entonces, el tamaño de la tubería se selecciona de la siguiente manera:

$$D_{i-min} \leq d_i \leq D_{i-max} \quad (5)$$

2.3.2 Restricciones de presión en los nodos

Para mantener un sistema de red de agua potable en presiones óptimas, éstas deberán de estar por encima de los niveles mínimos (10 m.c.a.) y por debajo de los niveles máximos (50 m.c.a.), para evitar fugas en el sistema. Por esto, las restricciones de presión en los nodos de la red se dan de la siguiente manera:

$$H_{i-\min} \leq H_i \leq H_{i-\max} \quad (6)$$

2.3.3 Restricciones de velocidad en las tuberías

Otro de los parámetros a usarse en el diseño de las redes de agua potable, establece que la red tenga en sus tuberías velocidades adecuadas para el funcionamiento óptimo del sistema, puesto que de éstas depende el comportamiento hidráulico de la red. [12] La normativa establece una velocidad máxima de 4.5 m/s y si bien no especifica una velocidad mínima, especifica una velocidad adecuada para que no exista sedimentación y se estableció en 0.3 m/s. [13] Esta restricción es definida de la siguiente manera: [10]

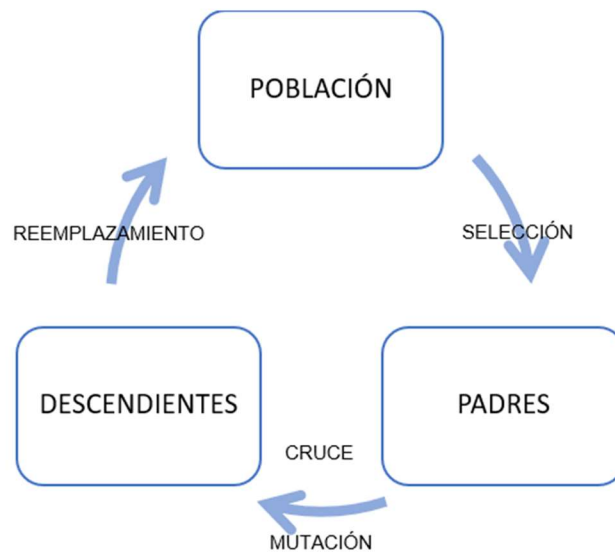
$$V_{i-\min} \leq V_i \leq V_{i-\max} \quad (7)$$

2.4 Algoritmos genéticos

La aplicación de algoritmos genéticos para la optimización de redes de agua potable no es nueva. Esta metodología está basada en la teoría de la selección natural, formulada por Charles Darwin la cual menciona que los individuos que mejor se adapten al sistema serán los que sobrevivirán. [14]

En la Ilustración 2 se muestra el ciclo de evolución que se aplica en los algoritmos genéticos:

Ilustración 2. Ciclo de evolución de algoritmos genéticos



Fuente: Autor

La población es el conjunto de soluciones que tiene el problema en cuestión. Este conjunto de soluciones está en función del número de diámetros disponibles y del número de tuberías.

Los padres, son los candidatos mejor seleccionados para obtener descendencias del conjunto de la población inicial.

Los descendientes, o hijos, resultan del cruce o mutación de los padres. Se puede crear un descendiente simplemente uniendo dos partes de los padres o bien, del mismo modo anterior, pero con una mutación en uno de los cromosomas del hijo.

Generalmente, los individuos se representan mediante codificación discreta o en binaria.

2.4.1 Operador de selección

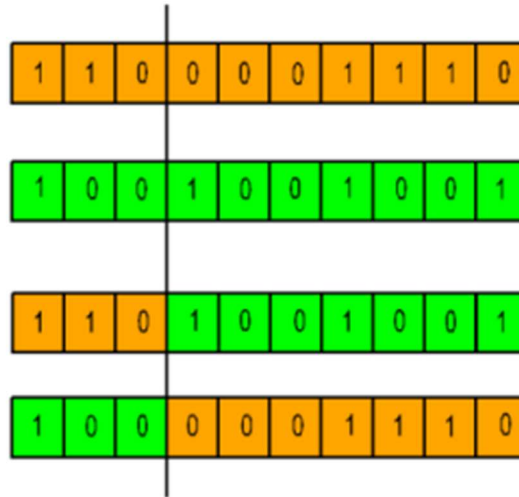
Consiste en seleccionar el individuo que se adapte mejor al sistema, es decir, aquel cuya descendencia herede mejores aptitudes a la siguiente generación, para evitar la pérdida del gen efectivo.

2.4.2 Operador de cruce

Consiste en, a partir de dos soluciones que hayan sido seleccionadas con anterioridad, se cree un hijo el cual se adapte mejor. Se realiza dividiendo de manera aleatoria en un punto en común a ambas soluciones padres y uniéndolas entre sí para formar un

descendiente. En la Ilustración 3 se muestra de manera gráfica la forma de actuar del operador.

Ilustración 3. Cruce de punto único



Fuente: [8]

2.4.3 Operador de mutación

La mutación consiste en alterar uno o varios de los valores de los genes de un cromosoma, esto se realiza después del cruce entre dos soluciones padres. El alterar el cromosoma puede generar una mejor solución que en el simple cruce, es por ello que se recomienda asignarle este operador para la optimización de los problemas que requieran de AG. Esta mutación es definida por el usuario.

2.4.4 Reemplazamiento

El reemplazamiento consiste en reemplazar el cromosoma hijo, el cual tiene una solución óptima en la población inicial. Se podría reemplazar con un cromosoma aleatorio o a uno en específico, por ejemplo, no reemplazar con el mejor cromosoma de la población.

2.4.5 Terminación

Se encuentra una solución cuando se genere el individuo que cumpla las restricciones iniciales o bien, cuando concluya el número de generaciones que el usuario definió. [15]

2.5 Criterios de diseño

Los criterios de diseño son parámetros técnicos que deben de cumplirse en la red. Estos criterios de diseño son establecidos en la normativa “Código De Práctica Para El Diseño

De Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable, Disposición De Excretas Y Residuos Líquidos En El Área Rural” y menciona lo siguiente:

- A. Sin importar el nivel de servicio de la red, la misma será diseñada con el caudal máximo horario.
- B. Puede constar cualquiera de las tres configuraciones de red antes mencionadas (abierta, cerrada o mixta).
- C. Presión mínima de 10 m.c.a.
- D. Presión máxima de 50 m.c.a.
- E. El menor diámetro para los tramos será de 19 mm.
- F. Se dispondrá de válvulas que permitan excluir zonas de la red con finalidades operativas.
- G. Se deberá considerar la presión que produce el golpe de ariete en ramales aislados y aquellos que requieran de bombas. [13]

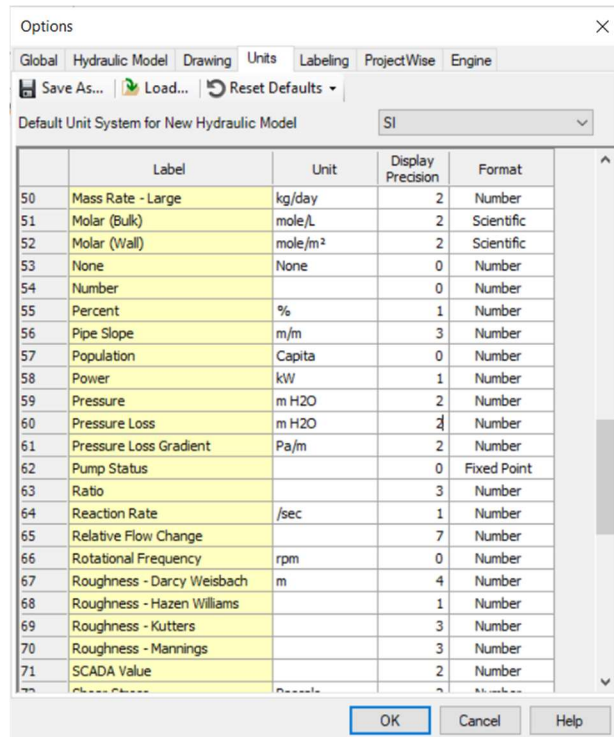
2.6 Uso de WaterGEMS para la optimización de la red

Para la simulación de la red se utilizó una versión académica que proporciona Bentley.

Previo al uso del software, se deberá realizar un análisis topológico de la red en AutoCAD con la finalidad de encontrar posibles errores que ocasionen problemas al importar la red a WaterGEMS. [16]

Al abrir el programa primero se debe de configurar las unidades en las que se mostrarán los datos. El apartado donde se pueden cambiar las unidades se encuentra en la pestaña Tools, luego en opciones de esta y por último en unidades. Se recomienda seleccionar la presión en unidades de metros de columna de agua como se muestra en la Ilustración 4.

Ilustración 4. Unidades de WaterGEMS

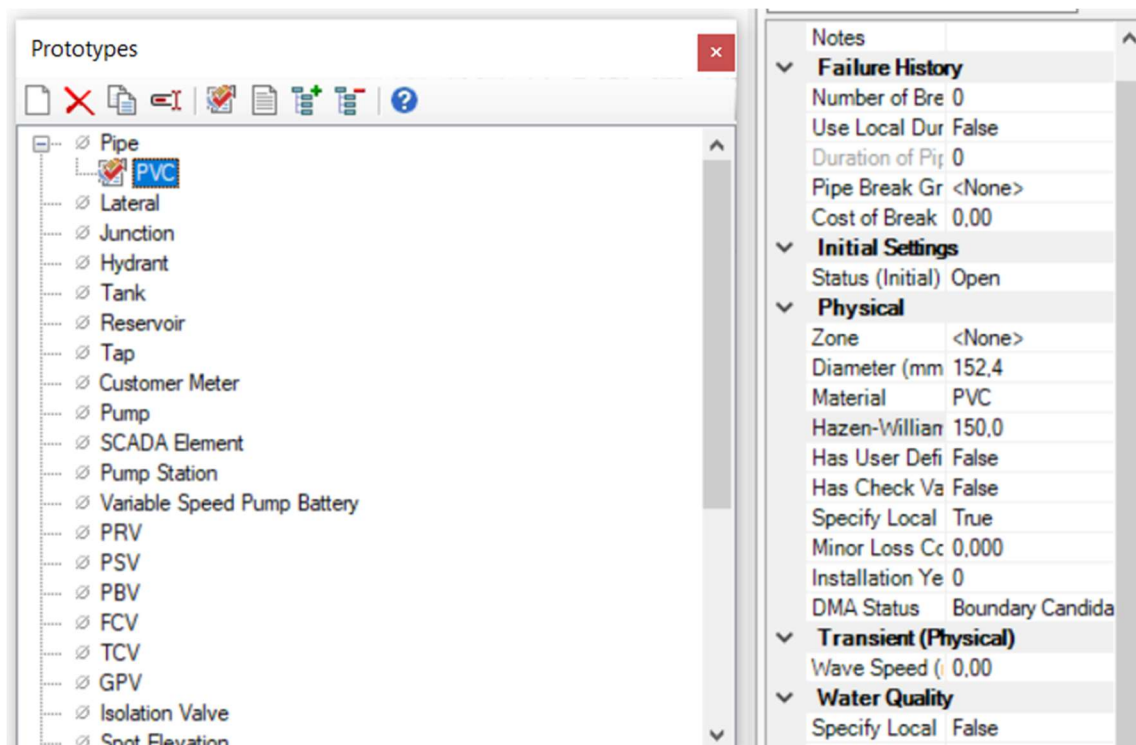


Fuente: WaterGEMS, Autor

Luego, se recomienda crear una carpeta y en la misma guardar el archivo de WaterGEMS.

Se deberá de crear un prototipo de tubería a usar. Este procedimiento se realizará en Prototypes (Ilustración 5), se añadirá una nueva tubería y se asignará el tipo de material (PVC).

Ilustración 5. Creación de tubería de PVC

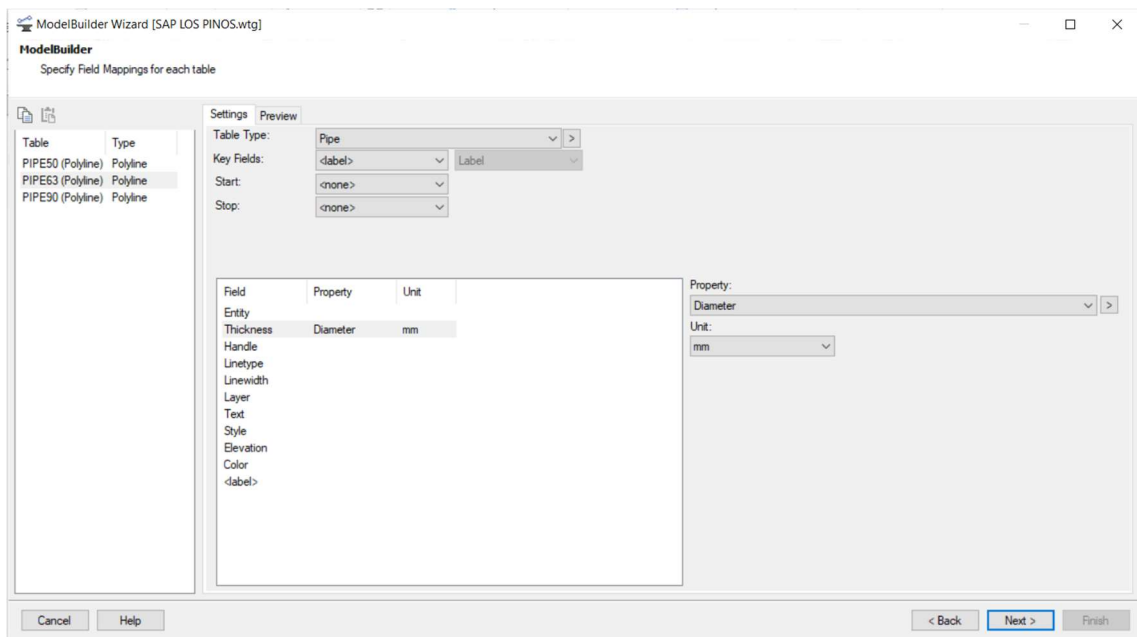


Fuente: WaterGEMS, Autor

Se importó el plano de la red hasta WaterGEMS con la ayuda de Model Builder (Ilustración 6), herramienta que permite importar archivos tipo CAD para crear las redes de manera rápida, además de asignarle una capa a cada tubería, se le asignó también un grosor correspondiente al diámetro de cada tubería. Para el trazado de la red se extrajo polilíneas cuyas capas coincidan con el diámetro de estas.

Esta herramienta genera tuberías y nodos, también se le puede añadir una tolerancia en la cual, si no se unen dos tramos de tubería, el programa las unirá formando un nodo. Esto evita la creación de nodos huérfanos en la red.

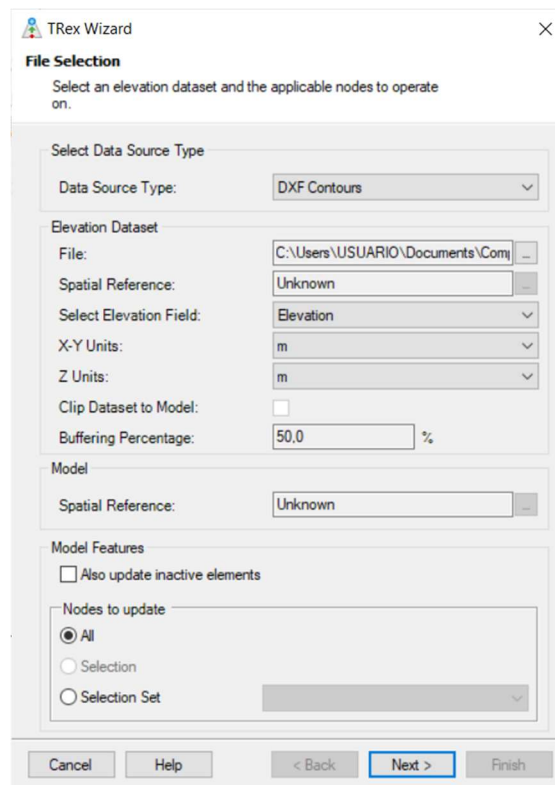
Ilustración 6. Parámetros de ModelBuilder



Fuente: WaterGEMS, Autor

Para asignar las cotas a los nodos de manera eficiente, se utilizó la herramienta T-Rex (Ilustración 7), la misma que, a partir de un archivo dxf que contenga las curvas de nivel del terreno, le asignará la cota correspondiente a cada nodo.

Ilustración 7. Uso de la herramienta T-Rex



Fuente: WaterGEMS, Autor

Es importante mencionar que se deben de verificar las cotas puesto que en este caso de estudio surgieron cotas que no correspondían a la topografía. Para la respectiva evaluación y corrección, se utilizaron las Flex Table (Ilustración 8), herramienta que muestra los parámetros de los diferentes elementos de la red. Se corrigieron las cotas de los nodos J-2 y J-10, por los valores de 311,59 y 321,16 m respectivamente, los que corresponden a los extremos de la red.

Ilustración 8. Corrección de cotas en los nodos

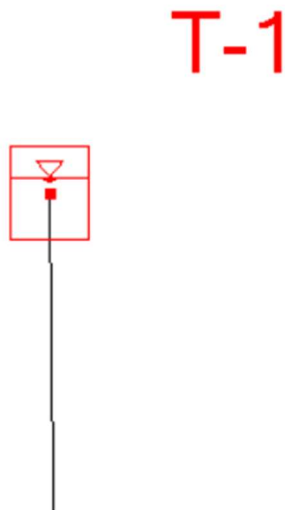
	ID	Label	Elevation (m)	Zone	Demand Collection	Demand (L/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)
32: J-1	32	J-1	310,29	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
33: J-2	33	J-2	180,90	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
35: J-3	35	J-3	346,63	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
37: J-4	37	J-4	341,84	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
38: J-5	38	J-5	317,86	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
40: J-6	40	J-6	349,32	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
41: J-7	41	J-7	345,94	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
43: J-8	43	J-8	342,03	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
45: J-9	45	J-9	347,50	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
48: J-10	48	J-10	151,19	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
50: J-11	50	J-11	335,00	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
51: J-12	51	J-12	335,00	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
53: J-13	53	J-13	335,00	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)
54: J-14	54	J-14	335,77	<None>	<Collection:>	(N/A)	(N/A)	(N/A)

27 of 27 elements displayed

Fuente: WaterGEMS, Autor

A continuación, se sustituye el nodo donde inicia la red por el tanque y se le aplican los parámetros necesarios, como se muestra en la Ilustración 9.

Ilustración 9. Parámetros del tanque

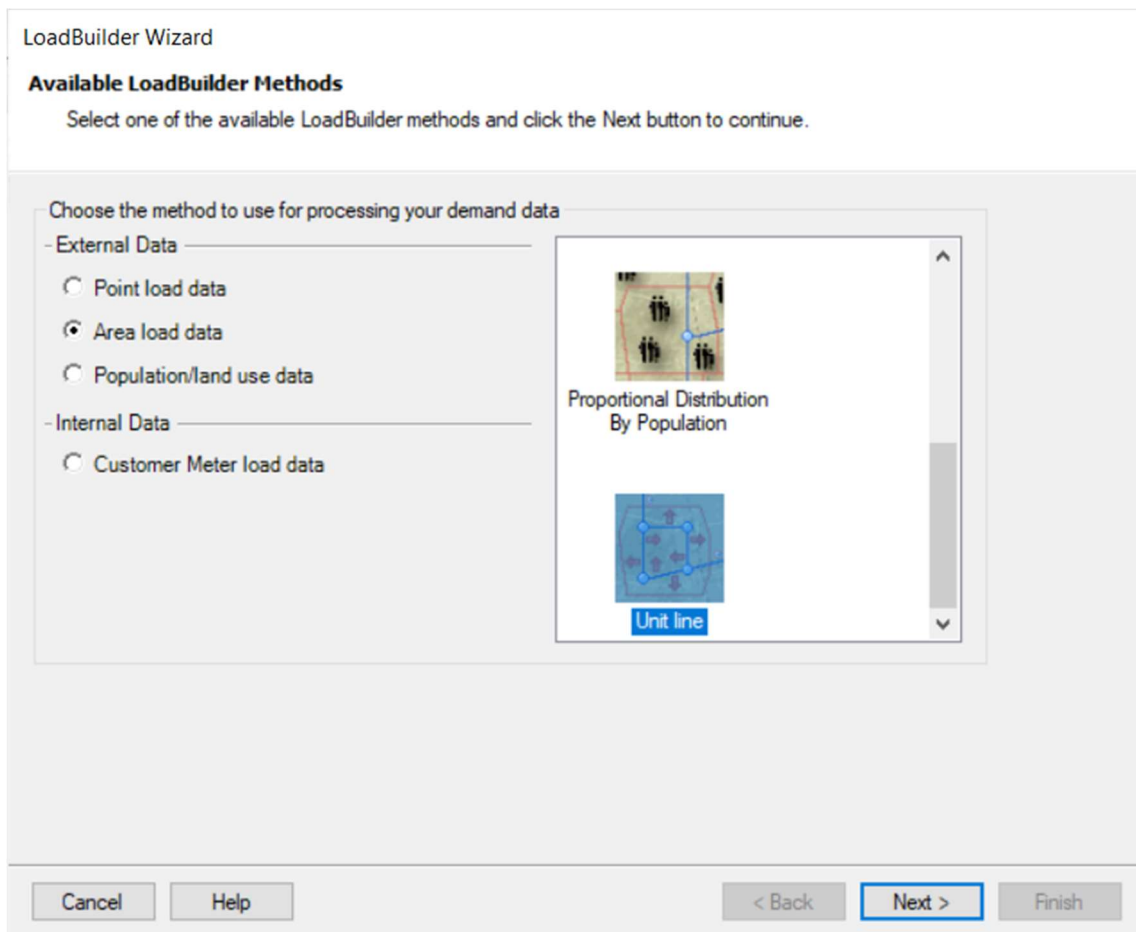


Operating Range	
Operating Range Elevation	
Elevation (Base)	371,30
Elevation (Min)	371,30
Elevation (Initial)	371,40
Elevation (Maximum)	376,10
Use High Alarm	False
Use Low Alarm	False
Operational	
Controls	<Collection>
Physical	
Elevation (m)	351,41
Zone	<None>
Volume (Inactive)	0,00
Installation Year	0
Section	Circular
Diameter (m)	4,00
Volume Full (Capacity)	(N/A)
Has Separate	False

Fuente: WaterGEMS, Autor

Con la ayuda de la herramienta LoadBuilder (Ilustración 10) se distribuirá el caudal por longitudes. El cálculo del caudal máximo horario se puede ubicar en el Anexo A.

Ilustración 10. Asignación de demandas



Fuente: WaterGEMS, Autor

Una vez trazada la red y añadirle las cotas y demandas, se procederá a usar la herramienta de optimización Darwin Designer (Ilustración 11), la misma que se encuentra en la pestaña Analysis. Se deberá de crear un nuevo estudio de diseño, además de un nuevo evento de diseño y aplicar las restricciones necesarias (presión y velocidad).

Ilustración 11. Restricciones de Darwin Designer

The screenshot shows the Darwin Designer interface with two main tables. The top table, titled 'Representative Scenario', lists design event parameters. The bottom table, titled 'Boundary Overrides', lists pipe constraints for each event.

Start Time	Design Time	Time From Start (hours)	Override Scenario Demand Alternative?	Demand Alternative	Demand Multiplier	Minimum Pressure (Default) (m H2O)	Maximum Pressure (Default) (m H2O)	Consider Pressure Benefit (Default)	Minimum Velocity (Default) (m/s)	Maximum Velocity (Default) (m/s)	Notes
12:00:00	12:00:00	0,000	<input type="checkbox"/>	Base Demand	1,000	10,00	50,00	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50	

Design Event	Pipe	Override Defaults?	Minimum Velocity (m/s)	Maximum Velocity (m/s)
1 New Design Event - 1	T-1	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
2 New Design Event - 1	T-2	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
3 New Design Event - 1	T-3	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
4 New Design Event - 1	T-4	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
5 New Design Event - 1	T-5	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
6 New Design Event - 1	T-6	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
7 New Design Event - 1	T-7	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
8 New Design Event - 1	T-8	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
9 New Design Event - 1	T-9	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
10 New Design Event - 1	T-10	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
11 New Design Event - 1	T-11	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
12 New Design Event - 1	T-12	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
13 New Design Event - 1	T-13	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
14 New Design Event - 1	T-14	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
15 New Design Event - 1	T-15	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
16 New Design Event - 1	T-16	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
17 New Design Event - 1	T-17	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
18 New Design Event - 1	T-18	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
19 New Design Event - 1	T-19	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
20 New Design Event - 1	T-20	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50
21 New Design Event - 1	T-21	<input type="checkbox"/>	0,30	4,50

Fuente: WaterGEMS, Autor

Luego de aplicar los ajustes necesarios, el software nos mostrará los resultados. Se podrá observar las tuberías y nodos que cumplan con las restricciones, así como las que violaron las mismas de la siguiente manera.

En la Ilustración 12 se muestra que los nodos J-3 y J-9 no se encuentran dentro del rango de presiones que expresa la norma vigente.

En la Ilustración 13 se muestra que las tuberías T-1, T-6 y T-8 no cumplen con el rango de velocidades definido con anterioridad.

Ilustración 12. Resultados simulados de nodos

Solutions						
	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H2O)	Required Maximum Pressure (m H2O)	Simulated Pressure (m H2O)	Violation (m H2O)
1	New Design Event - 1	J-1	10,00	50,00	39,80	0,00
2	New Design Event - 1	J-2	10,00	50,00	38,43	0,00
3	New Design Event - 1	J-3	10,00	50,00	9,74	0,26
4	New Design Event - 1	J-4	10,00	50,00	26,94	0,00
5	New Design Event - 1	J-5	10,00	50,00	49,80	0,00
6	New Design Event - 1	J-6	10,00	50,00	10,02	0,00
7	New Design Event - 1	J-7	10,00	50,00	12,24	0,00
8	New Design Event - 1	J-8	10,00	50,00	17,88	0,00
9	New Design Event - 1	J-9	10,00	50,00	9,56	0,44
10	New Design Event - 1	J-10	10,00	50,00	45,81	0,00
11	New Design Event - 1	J-11	10,00	50,00	27,85	0,00
12	New Design Event - 1	J-12	10,00	50,00	27,82	0,00
13	New Design Event - 1	J-13	10,00	50,00	27,77	0,00
14	New Design Event - 1	J-14	10,00	50,00	26,90	0,00
15	New Design Event - 1	J-15	10,00	50,00	21,95	0,00
16	New Design Event - 1	J-16	10,00	50,00	22,79	0,00
17	New Design Event - 1	J-18	10,00	50,00	28,26	0,00
18	New Design Event - 1	J-19	10,00	50,00	30,79	0,00
19	New Design Event - 1	J-20	10,00	50,00	28,95	0,00
20	New Design Event - 1	J-21	10,00	50,00	26,47	0,00
21	New Design Event - 1	J-22	10,00	50,00	29,48	0,00
22	New Design Event - 1	J-23	10,00	50,00	25,57	0,00
23	New Design Event - 1	J-24	10,00	50,00	20,13	0,00
24	New Design Event - 1	J-25	10,00	50,00	23,66	0,00
25	New Design Event - 1	J-26	10,00	50,00	20,72	0,00
26	New Design Event - 1	J-27	10,00	50,00	30,21	0,00

Fuente: WaterGEMS, Autor

Ilustración 13. Resultados simulados de tuberías

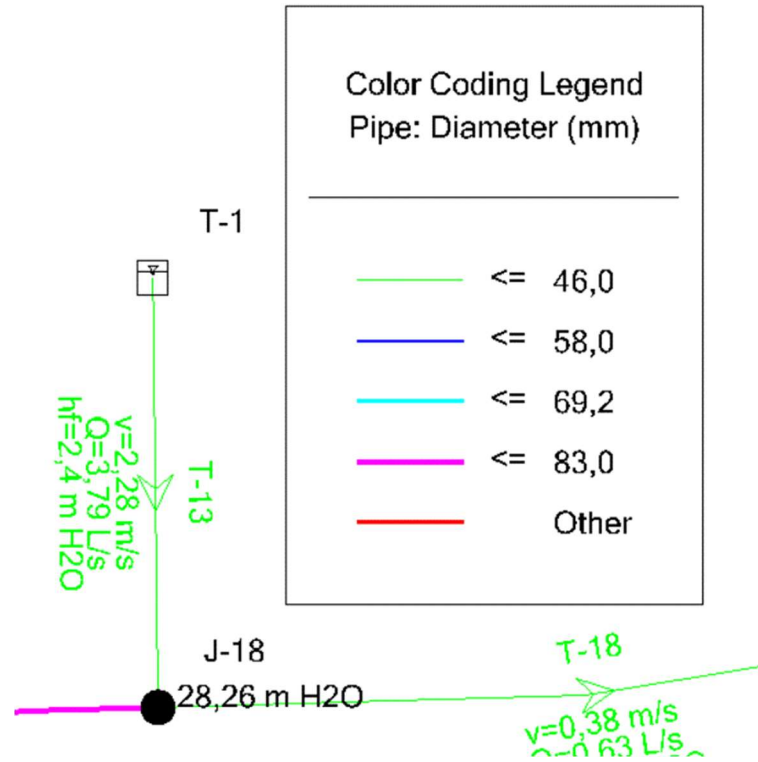
Solutions						
	Design Event	Element	Minimum Velocity (m/s)	Maximum Velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T-1	0,30	4,50	0,07	0,23
2	New Design Event - 1	T-2	0,30	4,50	0,36	0,00
3	New Design Event - 1	T-3	0,30	4,50	0,32	0,00
4	New Design Event - 1	T-4	0,30	4,50	0,41	0,00
5	New Design Event - 1	T-5	0,30	4,50	0,32	0,00
6	New Design Event - 1	T-6	0,30	4,50	0,29	0,01
7	New Design Event - 1	T-7	0,30	4,50	0,35	0,00
8	New Design Event - 1	T-8	0,30	4,50	0,14	0,16
9	New Design Event - 1	T-9	0,30	4,50	0,43	0,00
10	New Design Event - 1	T-10	0,30	4,50	0,61	0,00
11	New Design Event - 1	T-11	0,30	4,50	0,42	0,00
12	New Design Event - 1	T-12	0,30	4,50	0,63	0,00
13	New Design Event - 1	T-13	0,30	4,50	2,28	0,00
14	New Design Event - 1	T-14	0,30	4,50	0,58	0,00
15	New Design Event - 1	T-15	0,30	4,50	0,60	0,00
16	New Design Event - 1	T-16	0,30	4,50	0,61	0,00
17	New Design Event - 1	T-17	0,30	4,50	0,60	0,00
18	New Design Event - 1	T-18	0,30	4,50	0,38	0,00
19	New Design Event - 1	T-19	0,30	4,50	0,64	0,00
20	New Design Event - 1	T-20	0,30	4,50	0,43	0,00
21	New Design Event - 1	T-21	0,30	4,50	0,59	0,00
22	New Design Event - 1	T-22	0,30	4,50	0,48	0,00
23	New Design Event - 1	T-23	0,30	4,50	0,46	0,00
24	New Design Event - 1	T-24	0,30	4,50	0,57	0,00
25	New Design Event - 1	T-25	0,30	4,50	0,37	0,00
26	New Design Event - 1	T-26	0,30	4,50	0,52	0,00

Fuente: WaterGEMS, Autor

Al importar el modelo optimizado, se deberá verificar la red, es decir, se determinará si los resultados obtenidos luego de la optimización corresponden a una red real.

Se encontró que a la salida del tanque se contaba con un diámetro interior de 46 mm y en el nudo siguiente, se aumentaba a 90 mm (Ilustración 14), lo cual resulta inviable. Siguiendo la recomendación de [14], se cambió el diámetro de 46 mm por un diámetro de 83 mm.

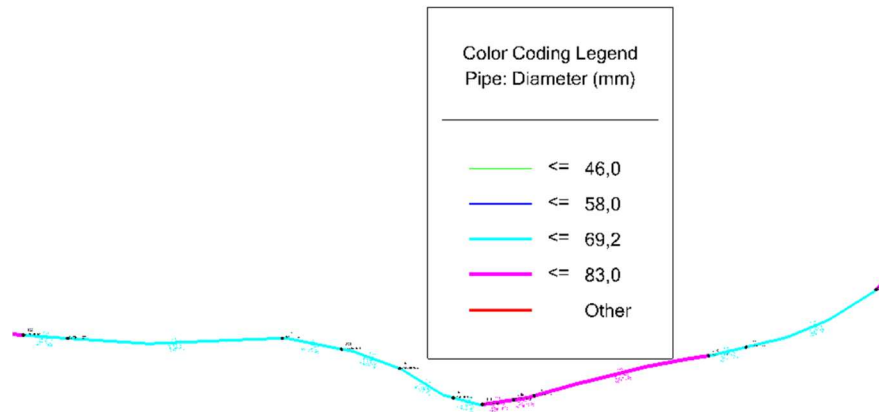
Ilustración 14. Corrección de diámetro a tubería que sale del tanque



Fuente: WaterGEMS, Autor

Además de esta corrección, se aplicaron también correcciones de 69,2 a 83 mm a las siguientes tuberías: T-12, T-19, T-10, T-16, T-17, T-15, T-21 y T-14. En la Ilustración 15 se observa el problema mencionado.

Ilustración 15. Diámetros inviábiles de la red



Fuente: WaterGEMS, Autor

Una vez realizadas las correcciones anteriormente mencionadas, se procedió a calcular nuevamente la red arrojando los siguientes resultados:

TABLA 1. Resultados de tuberías después de la corrección

ID	Label	Length (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (mm)	Material	Velocity (m/s)
31	T-1	454,19	J-1	J-2	46	PVC	0,07
47	T-8	934,89	J-5	J-10	46	PVC	0,14
44	T-6	430,55	J-9	J-3	69,2	PVC	0,29
42	T-5	389,72	J-8	J-6	83	PVC	0,32
36	T-3	330,62	J-4	J-5	46	PVC	0,32
46	T-7	502,3	J-7	J-9	69,2	PVC	0,35
34	T-2	1.563,59	J-3	J-1	46	PVC	0,36
82	T-25	680,79	J-20	J-8	83	PVC	0,37
71	T-18	46,88	J-18	J-4	46	PVC	0,38
62	T-14	25,87	J-19	J-20	83	PVC	0,4
75	T-21	125,72	J-22	J-19	83	PVC	0,41
39	T-4	393,12	J-6	J-7	69,2	PVC	0,41
65	T-15	35,25	J-21	J-22	83	PVC	0,41
70	T-17	35,88	J-23	J-21	83	PVC	0,42
68	T-16	35,79	J-14	J-23	83	PVC	0,42
52	T-10	17,54	J-13	J-14	83	PVC	0,42
55	T-11	18,5	J-12	J-13	83	PVC	0,42
49	T-9	12,37	J-11	J-12	83	PVC	0,43
74	T-20	104,57	J-16	J-11	83	PVC	0,43
56	T-12	22,45	J-15	J-16	83	PVC	0,44
72	T-19	83,76	J-24	J-15	83	PVC	0,44
79	T-23	300,96	J-26	J-24	83	PVC	0,46
76	T-22	189,58	J-25	J-26	83	PVC	0,48
83	T-26	675,49	J-27	J-25	83	PVC	0,52
80	T-24	313,22	J-18	J-27	83	PVC	0,57
59	T-13	22,95	T-1	J-18	83	PVC	0,7

Fuente: Autor

Como se muestra en la TABLA 1, las velocidades en su mayoría pudieron satisfacer la restricción de velocidad cuyo rango se estableció de 0,3 a 4,5 m/s. Las tuberías que no cumplen con las restricciones son; T-1, que corresponde al extremo izquierdo de la red como se muestra en el Anexo B; la tubería T-8 que corresponde al extremo derecho de la red como se muestra en el Anexo C. La tubería T-6 corresponde a un tramo del lado izquierdo de la red.

En cuanto a presiones se obtuvieron los siguientes datos.

TABLA 2. Resultados de los nodos después de la corrección

ID	Label	Elevation (m)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)
45	J-9	347,5	360,6	13,08
35	J-3	346,63	359,91	13,26
40	J-6	349,32	362,88	13,54
41	J-7	345,94	361,73	15,75
43	J-8	342,03	363,47	21,4
73	J-24	343,68	366,08	22,36
78	J-26	343,95	366,94	22,95
57	J-15	341,32	365,85	24,49
58	J-16	340,34	365,8	25,41
77	J-25	341,6	367,54	25,89
69	J-23	336,89	365,32	28,37
37	J-4	341,84	371,06	29,16
66	J-21	335,79	365,23	29,38
54	J-14	335,77	365,41	29,57
53	J-13	335	365,45	30,39
51	J-12	335	365,5	30,43
50	J-11	335	365,53	30,46
61	J-18	340,72	371,26	30,48
81	J-27	337,46	369,96	32,43
64	J-20	332,27	364,8	32,46
67	J-22	332,57	365,15	32,51
63	J-19	330,56	364,85	34,22
33	J-2	311,59	353,62	41,94
32	J-1	310,29	353,7	43,32
48	J-10	321,16	369,29	48,04
38	J-5	317,86	369,99	52,02

Fuente: Autor

Como se muestra en la TABLA 2, el nodo J-5 no cumple con el requisito máximo de presión, teniendo una presión de 52,02 m.c.a, el mismo que al tener una cota de 317,86 m y al estar cercano al tanque, se justifica su alta presión. La ubicación de este se muestra en el Anexo D.

Como se observa en la TABLA 3, hay una diferencia entre el diseño original (Diseño 1) y el diseño optimizado (Diseño 2).

TABLA 3. Costos de diseños

ID	Label	Length (m)	Ø Primer Diseño	Ø Diseño Optimizado	Costo Diseño 1	Costo Diseño 2
31	T-1	454,19	50	50	1725,92	1725,92
47	T-8	934,89	63	50	5375,62	3552,58
71	T-18	46,88	90	50	498,33	178,14
36	T-3	330,62	63	50	1901,07	1256,36
34	T-2	1.563,59	50	50	5941,64	5941,64
82	T-25	680,79	90	90	7236,8	7236,8
62	T-14	25,87	90	90	275	275
75	T-21	125,72	90	90	1336,4	1336,4
44	T-6	430,55	63	75	2475,66	2721,08
65	T-15	35,25	90	90	374,71	374,71
70	T-17	35,88	90	90	381,4	381,4
68	T-16	35,79	90	90	380,45	380,45
52	T-10	17,54	90	90	186,45	186,45
55	T-11	18,5	90	90	196,66	196,66
49	T-9	12,37	90	90	131,49	131,49
74	T-20	104,57	90	90	1111,58	1111,58
56	T-12	22,45	90	90	238,64	238,64
72	T-19	83,76	90	90	890,37	890,37
79	T-23	300,96	90	90	3199,2	3199,2
76	T-22	189,58	90	90	2015,24	2015,24
46	T-7	502,3	63	75	2888,23	3174,54
83	T-26	675,49	90	90	7180,46	7180,46
80	T-24	313,22	90	90	3329,53	3329,53
39	T-4	393,12	63	75	2260,44	2484,52
42	T-5	389,72	63	90	2240,89	4142,72
59	T-13	22,95	90	90	243,96	243,96
Total					54016,14	53885,84
Fuente: Autor						

3. CONCLUSIONES

Se concluye que el software WaterGEMS es una herramienta útil para optimizar redes de agua potable que permite al encontrar diámetros mínimos beneficiando el presupuesto final de la red.

Luego de realizar la optimización se pudo encontrar diámetros que no se pueden configurar de la manera en la que el software arroja los resultados, siendo necesaria una corrección manual. Dado lo anterior, se concluye que, el uso del software no sustituye en ninguna circunstancia el criterio del diseñador, sin embargo, es una herramienta que permite optimizar costos y se recomienda su uso.

Una vez ejecutada el último cálculo hidráulico, se pudo determinar las tuberías que no cumplen con los criterios de diseño, siendo éstas la tubería T-1 con una velocidad de 0,07 m/s, la tubería T-8 con una velocidad de 0,14 y la tubería T-6 con una velocidad de 0,29 m/s. Por lo anterior, se concluye que los resultados fueron satisfactorios.

Luego de la corrección manual se pudo observar que el nodo J-5 obtuvo una presión de 52,02 m.c.a, esta presión está muy cerca del valor máximo de presión (50 m.c.a.) por lo que se concluye que es aceptable.

Con referencia a los costos, se puede observar en la TABLA 3 que el costo total de tuberías para el primer diseño fue de 54016,14 \$ y para el diseño optimizado el costo total de tuberías fue de 53885,84 \$ reflejando un ahorro de 130,30 \$.

REFERENCIAS

- [1] C. A. García Ubaque, E. O. Ladino Moreo y M. C. García Vaca, «Determination of the Inside Diameter of Pressure Pipes for Drinking Water Systems Using Artificial Neural Networks,» *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 31, nº 59, 2022.
- [2] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana, «Servicio Nacional de Contratación Pública,» 26 Abril 2022. [En línea]. Available: https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=4JhkX5w88kxx_IFvG7U1m2u-k2Ow03cohfEToSjWR5o,. [Último acceso: 3 Julio 2022].
- [3] E. Pino, V. Angely, C. Franz, M. Jesus, C. Eduardo y A. Luis, «Diseño Óptimo de Redes de Distribución de Agua Usando Un Software Basado En Microalgoritmos Genéticos Multiobjetivos,» *Ribagua*, vol. 4, nº 1, pp. 6-23, 2017.
- [4] R. López Cualla, Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995.
- [5] Y. L. S. Alex Takeo, B. d. S. Fernando das Graças, d. S. André Carlos, T. d. R. José Antonio, d. F. Claudio Lindemberg y d. M. V. Victor Eduardo, «Proposal of optimal operation strategy applied to water distribution network with statistical approach,» *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, vol. 15, nº 2, pp. 2-12, 2020.
- [6] U. Mohseni, A. Pathan, P. Agnihotri, N. Patidar, S. Zareer, V. Saran y V. Rana, «Design and Analysis of Water Distribution Network Using Watergems – A Case Study of Narangi Village,» *International Conference on Intelligent Computing & Optimization*, vol. 371, pp. 695-706, 2021.
- [7] M. Carini, M. Maiolo, D. Pantusa, F. Chiaravalloti y G. Capano, «Modelling and optimization of least-cost water distribution networks with the multiple supply sources and users,» *Ricerche di Matematica*, vol. 67, nº 2, pp. 465-479, 2018.
- [8] G. Pereyra, D. Pondolfi y A. Villagra, «Diseño y optimización de redes de distribución de agua utilizando algoritmos genéticos,» *Informes Científicos y Técnicos (Universidad Nacional de la Patagonia Austral)*, vol. IX, nº 1, pp. 37-63, 2017.
- [9] P. Ghosal, A. Javaregowda, A. Gupta y D. Singh, «A novel framework of multivariate modeling of water distribution network through 3³ factorial design and artificial neural network,» *Journal of Environmental Science and Health*, pp. 551-562, 22 Febrero 2019.
- [10] T. Gebremedhin y T. Aregaw, «Optimization of Water Distribution System Using WaterGEMS: The Case of Wukro Town, Ethiopia,» *Civil and Environmental Research*, vol. 12, nº 6, pp. 1-14, 2020.

- [11] M. Pawar, N. Sonaje y S. Bagal, «Commercial Viability Analysis for Converting Conventional Water Supply System into 24x7 Water Supply Systems by Using Water Gems,» *Techo-Societal* , pp. 887-894, 2019.
- [12] S. Ghosh, U. Shankar y S. Chowdhury, «Modelling Water Resources in the Ancient Indus Valley City of Dholavira and Lesson Learnt,» *Emerging Technologies for Agriculture and Environment*, pp. 223-238, 21 Junio 2019.
- [13] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Código De Practica Para El Diseño De Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable, Disposición De Excretas Y Residuos Líquidos En El Área Rural,» Código Ecuatoriano de la Construcción, Quito, Ecuador, 1997.
- [14] J. Saldarriaga, L. López, D. Paez, D. Luna y S. Gonzáles Hernández, «Diseño optimizado de redes de distribución de agua potable (PROGRAMA REDES) (Optimized Design of Water Distribution Networks (Software REDES)),» de *Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks*, Bogotá, 2017.
- [15] O. Kramer, «Genetic Algorithms,» *Studies in Computational Intelligence*, vol. 679, pp. 11-19, 2017.
- [16] D. I. Sánchez Tapiero y M. Mendoza Valencia, «SIG aplicado a la optimización del tiempo de diseño en redes de distribución de agua potable,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 42, nº 1, pp. 68-80, 2021.

ANEXOS

Anexo A. Cálculo del Caudal Máximo Horario

1.- POBLACION DE DISEÑO

Pa = 183 habitantes actuales
Pa = 0 Poblacion flotante
r = 5,19 INDICE DE CRECIMIENTO ANUAL (2001-2010)
n = 25 años

METODO ARITMETICO: 421 hab.
METODO GEOMETRICO 649 hab. ASUMIDO PERIODO: 2017 - 2037
METODO LOGARITMICO 670 hab.

El índice de crecimiento anual corresponde a la provincia de Orellana. Datos tomados del INEN.

2.- DOTACION

Pob. Futura: 649 habitantes
Nivel de servicio II b - Poblacion Concentrada
Dotación Basic 185 lt/hab/dia

Dotación Futura:

Dotacion Asumida: 185 lt/hab/dia
Periodo Diseño: 25 años

DOTACION MEDIA FUTURA:

Se calcula aplicando el incremento de 1 lt/hab/dia y por año.

Dot. Med. Fut. = 185 lt/hab/dia/año + 25 años
Dot. Med. Fut. = 210 lt/hab/dia

la dotación inicial sera la misma q se utilice para toda la duración del proyecto

3.- CAUDAL MEDIO

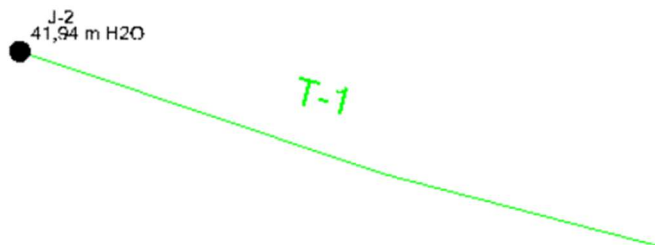
Qmd = f * Dot. Med. Fut * # habitantes Nivel de servicio:
Qmd = 1,89 lt/seg f = 1,2 II b

4.- CAUDAL MAXIMO HORARIO

QMH = Qmd * (KMH) ADOPTADO: 2
QMH = 3,79 lt/seg

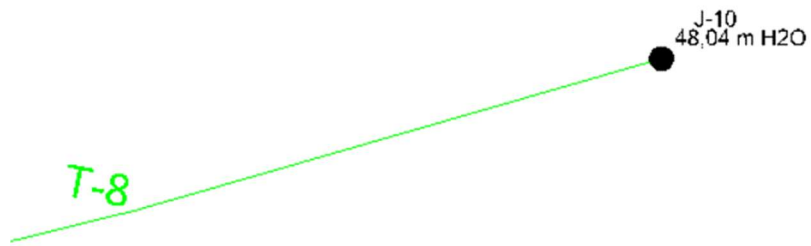
Fuente: [2]

Anexo B. Tubería T-1



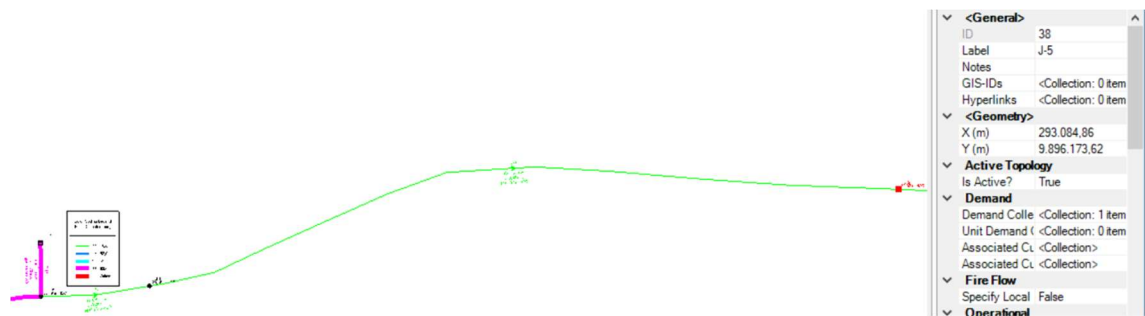
Fuente: WaterGEMS, Autor

Anexo C. Tubería T-8



Fuente: WaterGEMS, Autor

Anexo D. Nudo J-5



Fuente: WaterGEMS, Autor