



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Propuesta de regulación de presiones en una sección de la red de
distribución de agua potable del cantón Jipijapa. Circuitos
abastecidos desde el tanque “El Calvario”.**

AUTOR:

Olmedo Espinoza, Marco Vinicio

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Molina Arce, Stephenson Xavier, Ing., M. Sc, PgDip

Guayaquil, Ecuador

22 de septiembre del 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Olmedo Espinoza, Marco Vinicio** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**.

TUTOR

f. _____

Molina Arce, Stephenson Xavier, Ing., M. Sc, PgDip

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

ALCIVAR STEFANY, Ing., M.Sc.

Guayaquil, a los 22 días del mes de septiembre del año 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Olmedo Espinoza, Marco Vinicio

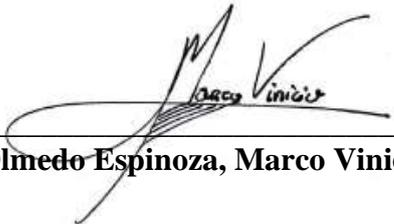
DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Propuesta de regulación de presiones en una sección de la red de distribución de agua potable del cantón Jipijapa. Circuitos abastecidos desde el tanque “El Calvario”**, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 22 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR

f.


Olmedo Espinoza, Marco Vinicio



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

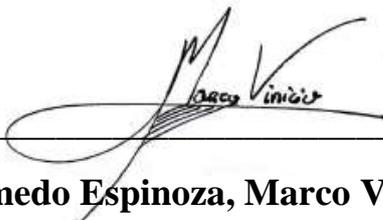
AUTORIZACIÓN

Yo, Olmedo Espinoza, Marco Vinicio

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Propuesta de regulación de presiones en una sección de la red de distribución de agua potable del cantón Jipijapa. Circuitos abastecidos desde el tanque “El Calvario”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 22 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR:

f. 
Olmedo Espinoza, Marco Vinicio

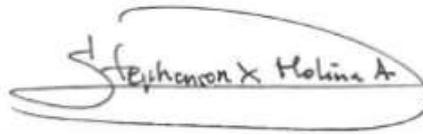
Document Information

Analyzed document	Olmedo_Marco_FINAL.doc (D144144160)
Submitted	9/15/2022 3:33:00 PM
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / Arias_Natalia_FINAL.docx Document Arias_Natalia_FINAL.docx (D48330133) Submitted by: claglas@hotmail.com Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.urkund.com	 5
SA	TESIS URKUND.docx Document TESIS URKUND.docx (D113509904)	 1
SA	20190211 Verónica Mejía_Antonio Prieto.pdf Document 20190211 Verónica Mejía_Antonio Prieto.pdf (D47832085)	 2
SA	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / Rivera Gómez Carlos Vinicio.doc Document Rivera Gómez Carlos Vinicio.doc (D129355132) Submitted by: claglas@hotmail.com Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.urkund.com	 3

TUTOR



f.

MOLINA ARCE STEPHENSON XAVIER, Ing., M. Sc.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y mi familia por el apoyo incondicional en cada etapa de mi preparación, sobre todo por la sabiduría y fortaleza que día a día fueron impregnando en mi para alcanzar este anhelado acontecimiento.

Debo hacer extenso este agradecimiento para todas las personas que de una u otra manera siempre estuvieron presentes con palabras de aliento para seguir en esta preparación.

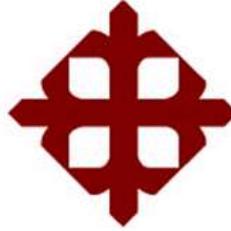
Al personal docente, administrativo y de mantenimiento de la facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por su apoyo y voluntad en todas las ocasiones que solicité apoyo.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi mamá Maritza Isabel, mi papá Marco Vinicio, a mi hermano Víctor José y mi hermana Caroline Marie, porque ellos fueron la estructura de soporte para conseguir esta meta.

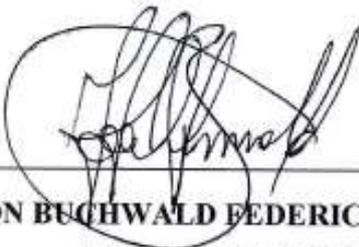
A mis abuelos, tíos y primos por el apoyo que cada día me otorgaron a lo largo de mi carrera.

Y se lo dedico a todas las personas que se superan día a día para alcanzar un mejor porvenir, sin importar los obstáculos o caídas que tengan.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

VON BUCHWALD FEDERICO, ING, PHD
DECANO DE CARRERA

f. 

CAMACHO MELIDA ALEXANDRA, ING, PHD
COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

f. 

GLAS CEVALLOS CLARA, ING. M.SC
OPONENTE

ÍNDICE

RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT	XVIII
1. CAPITULO 1	2
1.1 Introducción	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótesis	4
1.5 Área de estudio	5
1.6 Zona de interés.....	5
1.7 Fuente de captación	6
1.8 Descripción de los sub-circuitos.....	8
2. CAPÍTULO 2	9
2.1 Marco Teórico.....	9
2.1.1 Redes ramificadas	9
2.1.2 Nudos	9
2.1.3 Caudal (Q).....	9
2.1.3.3 Caudal mínimo nocturno	10
2.1.4 Agua no contabilizada	11
2.1.5 Demandas dependientes de la presión.....	11
2.1.6 Hidráulica de fugas.....	11

2.1.8 Calibración de modelos hidráulicos	12
2.1.7 EPANET	13
2.1.8 Opciones hidráulicas.....	14
2.1.9 Construcción del modelo.....	14
2.1.10 Válvulas de control hidráulico	15
2.1.11 Válvulas de compuerta.....	16
2.1.12 Válvulas de mariposa.....	17
2.1.13 Válvula de asiento plano	17
2.1.14 Valvula reductoras de presion (VRP).....	18
2.1.15 Válvula Reductora de Presion tipo globo.....	19
2.1.16 Caracterización hidráulica de las válvulas	20
2.1.17 Cavitación en válvulas	22
3 CAPÍTULO 3	25
Metodología.....	25
3.1 Área de interés	25
3.2 Construcción de modelo en EPANET	26
3.3 Calculo de demanda base	28
3.4 Asignación de demanda base a los nodos del modelo	29
3.5 Calibración del modelo	30
3.6 Dimensionamiento de Válvulas.....	34
3.6.1 Pre-diseño en Caudal Máximo Horario.....	34
3.6.2 Pre-diseño en Caudal Mínimo Nocturno.....	37
3.6.3 Selección de válvulas	43

3.6.4	Análisis por cavitación	59
3.7	Análisis de resultados	65
4	CAPITULO 4	67
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES	68
5	BIBLIOGRAFÍA	69
	ANEXOS	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa político del cantón Jipijapa	5
Ilustración 2: Sub-circuitos sector 4.2 (derecha) y 4.3 (izquierda)	6
Ilustración 3: Planta de tratamiento San Miguel	6
Ilustración 4: Sectores de los sub-circuitos.....	8
Ilustración 5: Redes ramificadas.....	9
Ilustración 6: Opciones hidráulicas de EPANET	14
Ilustración 7: Construcción de modelo en 2 dimensiones	15
Ilustración 8: Válvula de compuerta	16
Ilustración 9: Válvula mariposa	17
Ilustración 10: Válvula de asiento plano.....	18
Ilustración 11: Válvula reductora de presión	18
Ilustración 12: Válvula reductora de presión tipo globo.....	19
Ilustración 13: Valores de la pérdida de carga a válvula abierta.....	21
Ilustración 14: Grado de apertura de la válvula abierta en función de la relación de K_v/K_o	21
Ilustración 15: Línea de alturas totales y alturas de presión en una válvula	22
Ilustración 16: Niveles de presión en una válvula para dos casos	22
Ilustración 17: Caudal frente a la caída de presión de una válvula	24
Ilustración 18: Sectorización de sub-circuitos	25
Ilustración 19: Georreferenciación de los subcircuito 4.2 y 4.3	26
Ilustración 20: Construcción del modelo hidráulico para subcircuito 4.2 y 4.3.....	27
Ilustración 21: Curvas de nivel generadas para los subcircuito 4.2 y 4.3.....	27

Ilustración 22: Ingresar las cotas correspondientes	28
Ilustración 23: Editor de propiedades de un grupo de elementos en EPANET	29
Ilustración 24: Notificación de modificación por grupo	29
Ilustración 25: Consulta en la modificación de la demanda base	30
Ilustración 26: Comprobación de las opciones hidráulicas.....	32
Ilustración 27: Editor de grupo para cálculo de coeficiente emisor	33
Ilustración 28: Comprobación de caudal de ingreso de 10 lts/s	33
Ilustración 29: Modificación en el factor de demanda.....	34
Ilustración 30: Cambio del coeficiente emisor para caudal máximo horario.	35
Ilustración 31: Modelación con el cálculo del caudal máximo horario.	36
Ilustración 32: Modificación en factor de demanda a 0.5.....	37
Ilustración 33: Modificación del coeficiente emisor en el grupo del caudal mínimo nocturno	38
Ilustración 34: Presiones del modelo en caudal mínimo nocturno.....	39
Ilustración 35: Grafico de contorno de las presiones generadas en caudal medio diario	40
Ilustración 36: Grafico de contorno de las presiones en caudal máximo horario.....	41
Ilustración 37: Gráfico de contorno de las presiones generadas en caudal mínimo nocturno	41
Ilustración 38: Construcción de válvulas en el modelo.....	43
Ilustración 39: Asignación de valores para válvula reductora de presión	44
Ilustración 40: Válvula reguladora de presión en el ingreso al sub-circuito	44

Ilustración 41: Válvula reguladora de presión en el ingreso al sub-circuito 4.2	45
Ilustración 42: Selección de la sectorización para el sub-circuito 4.3 y el sub-circuito 4.2	46
Ilustración 43: Selección de sub circuito 4.3 (b) para micro sectorización	47
Ilustración 44: Sectorización en el modelo para regular presiones de manera local en sub circuito 4.3.....	48
Ilustración 45: Revisión de nuevas presiones	53
Ilustración 46: Línea de presión para dos puntos	59
Ilustración 47: Grafico de presiones aguas arriba y aguas abajo de la red.....	64
Ilustración 48: Simulación en caudal suministrado promedio	65
Ilustración 49: Modelación sin válvulas reguladoras de presión.	66
Ilustración 50: Modelación con válvulas reguladoras de presión	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Calculo de demanda base en los sub-circuitos 4.2 y 4.3.....	28
Tabla 2: Iteración de valores para cálculo de caudal promedio	32
Tabla 3: Iteración de valores para cálculo de caudal máximo horario.....	35
Tabla 4: Iteración de valores para el cálculo de caudal mínimo nocturno.....	38
Tabla 5: Comparación de presiones en caudales de diseño	39
Tabla 6: Calculo de Kv teórico en caudal máximo horario para ingreso en red principal.....	49
Tabla 7: Selección de válvula de pase total en caudal máximo horario para ingreso a la red principal.....	50
Tabla 8: Selección de válvula de pase reducido en caudal máximo horario para ingreso a la red principal.....	50
Tabla 9: Calculo de Kv teórico en caudal máximo horario para subcircuito 4.3.....	51
Tabla 10: Selección de válvula de pase total en caudal máximo horario para subcircuito 4.3	51
Tabla 11: Selección de válvula de pase reducido en caudal máximo horario para subcircuito 4.3	51
Tabla 12: Calculo de Kv teórico en caudal máximo horario para subcircuito 4.2.....	52
Tabla 13: Selección de válvula de pase total en caudal máximo horario para subcircuito 4.2	52
Tabla 14: Selección de válvula de pase reducido en caudal máximo horario para subcircuito 4.2	52
Tabla 15: Cálculo de Kv teórico en caudal mínimo nocturno para ingreso en red principal.....	54
Tabla 16: Selección de válvula de pase total en caudal mínimo nocturno para ingreso en red principal.....	54

Tabla 17: Selección de válvula de pase reducido en caudal mínimo nocturno para ingreso en red principal.....	55
Tabla 18: Calculo de Kv teórico en caudal mínimo nocturno para subcircuito 4.3...	55
Tabla 19: Selección de válvula de pase total en caudal mínimo nocturno para ingreso al subcircuito 4.3	56
Tabla 20: Selección de válvula de pase reducido en caudal mínimo nocturno para ingreso al subcircuito 4.3	56
Tabla 21: Calculo de Kv teórico en caudal mínimo nocturno para subcircuito 4.2...	57
Tabla 22: Selección de válvula de pase total en caudal mínimo nocturno para ingreso al subcircuito 4.2	57
Tabla 23: Selección de válvula de pase reducido en caudal mínimo nocturno para ingreso al subcircuito 4.2	58
Tabla 24: Selección de modelos de válvula para su respectivo sector.....	58
Tabla 25: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso a la red principal.	60
Tabla 26: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso en la micro sectorización del sub-circuito 4.3	61
Tabla 27: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso en la micro sectorización del sub-circuito 4.2	61
Tabla 28: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso a la red principal.	62
Tabla 29: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso en la micro sectorización del sub-circuito 4.3	62
Tabla 30: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso en la micro sectorización del sub-circuito 4.2	63
Tabla 31: Válvulas reguladoras de presión en el modelo hidráulico	63

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo realizar un modelamiento de una red ramificada perteneciente al sector 4 del cantón Jipijapa de la provincia de Manabí mediante el uso del software EPANET con el propósito de conocer el comportamiento hidráulico y análisis de presiones en las tuberías para dicho sector. El abastecimiento de este sector es desde el tanque de la planta de tratamiento San Manuel, la cual distribuye el líquido hacia los 14 tanques de almacenamiento; uno de estos es el tanque en el sector “El Calvario”.

Realizada la simulación se procederá con la calibración del modelo para determinar las pérdidas ocasionadas por fugas, la intermitencia en el abastecimiento del fluido y la comprobación del 80% de agua no contabilizada.

De tal forma que el desarrollo de esta actividad, permita presentar un modelo en donde se propondrá la instalación de válvulas reductoras de presión en los puntos críticos de la red con la finalidad de lograr el objetivo de garantizar una presión de 10 metros de columna de agua para el sector en mención.

Palabras Clave: Modelo Hidráulico, Calibración De Modelos, Nudos, Válvulas, Presión.

ABSTRACT

The objective of this work is to model a branched network belonging to sector 4 of the Jipijapa canton in the province of Manabí through the use of EPANET software with the purpose of knowing the hydraulic behavior and pressure analysis in the pipes for said sector.

Once the simulation has been carried out, the model will be calibrated to determine the losses caused by leaks, the intermittency in the supply of the fluid and the verification of 80% of unaccounted-for water.

In such a way that the development of this activity, allows to present a model where the installation of pressure reducing valves will be proposed in the critical points of the network in order to achieve the objective of guaranteeing a pressure of 15 meters of water column. for the sector in question.

Keyword: branched networks, nodes, valve, pressure, hydraulic model

1. CAPITULO 1

1.1 Introducción

Dentro de la planificación y desarrollo de las ciudades en el mundo constan con parámetros de calidad en cuanto a servicios básicos se refiere, tanto en su infraestructura y disponibilidad de los mismos; de esa manera se garantizará un adecuado uso para sus habitantes. Caso contrario sucede en el cantón Jipijapa, ya que consta, entre otras cosas, con déficits en cuanto a la distribución de agua potable para el circuito 4, abastecido por el tanque elevado de 800 m³ ubicado en el sector “El calvario”.

El abastecimiento de este tanque se lo realiza desde la planta de tratamiento San Manuel, la cual distribuye el líquido hacia los 14 tanques de almacenamiento; uno de estos es el tanque en el sector “El Calvario”.

Estas instalaciones están ubicadas a 4 km de la ciudad, la cual realiza su captación desde el Río Portoviejo en Cazalagarto (Santa Ana).

1.2 Justificación

Para la empresa de agua potable de Jipijapa EPMAPASP-J, el estado de las instalaciones representa un gran reto en cuanto a la calidad del servicio que brindan, ya que, por temas de infraestructura, el servicio de agua potable no satisface la demanda de consumo debido a los constantes racionamientos de agua que tienen que realizar a causa de las fugas presentadas en las diferentes redes.

El presente trabajo tiene como finalidad realizar la evaluación del circuito 4, específicamente en los sub-circuitos 4.2 y 4.3, reconocer la demanda base que tiene el sector y determinar el porcentaje de fugas. Adicional, está presente la intermitencia en el servicio de agua potable. Esta situación presenta un flujo continuo de agua entre 20 a 24 días en el mes, servicio que lo tienen entre 4 a 5 horas por día. Por ello, la finalidad de este documento es presentar una alternativa para poder garantizar una presión adecuada y así poder contribuir en mejorar las condiciones brindadas de este servicio básico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Construir un modelo hidráulico con válvulas reductoras de presión en el ingreso a la red de distribución hacia el circuito 4.2 y 4.3, mediante el uso del software EPANET, para garantizar una presión no menor a los 10 metros de columna de agua.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el modelo hidráulico del circuito N°4 del cantón Jipijapa.
- Modelar los consumos dependientes de la presión por medio del coeficiente de emisores de fugas del software.
- Analizar los puntos críticos del caudal en los nodos y determinar el caudal máximo y caudal mínimo.
- Definir la ubicación de la válvula reductora de presión.
- Seleccionar la válvula reductora de presión.

1.4 Hipótesis

Con la información proporcionada por la empresa de agua potable EPMAPASP-J, del cantón Jipijapa, se accedió a los datos de consumo por parte de los abonados. Estos datos se contabilizan en metros cúbicos m³ por mes.

El uso de estos datos permitirá realizar un promedio de consumo para determinar la demanda neta que requiere el sector en análisis. Con ello, se procederá al cálculo de la demanda base para ser asignada en los nudos.

Una vez calculada esta demanda, se procede a la calibración del modelo hidráulico que según (Shamir & Howard, 1977) estos permitirán determinar las características físicas y operacionales de un sistema existente, de manera que, al ser ingresados en el modelo hidráulico, permitan obtener resultados acordes a la realidad. Posterior a ello se realiza el análisis del agua no contabilizada, que se asumirá en el 80% según la medición realizada por (Rodríguez, 2021) en su trabajo.

Para la etapa de pre-diseño, se utilizarán los caudales máximo horario y mínimo nocturno, seguidos de sus factores de mayoración de 2.1 y 0.35 respectivamente, con la finalidad de proyectar los caudales requeridos para el buen funcionamiento de la red.

Colocados estos caudales en el modelo, se ejecuta el análisis de los nudos críticos donde las presiones que excedan los 40 metros de columna de agua (mca), sean regulados.



Ilustración 2: Sub-circuitos sector 4.2 (derecha) y 4.3 (izquierda)

Las áreas involucradas en el presente trabajo comprenden a los sub-circuitos 4.2 y 4.3.

1.7 Fuente de captación

Planta de tratamiento San Miguel

Construida en 2003, la planta se encuentra situada en San Manuel de Andil (Vía jipijapa-Noboa) a unos 4 km de la ciudad de Jipijapa, capta el agua del río Portoviejo desde el sector Cazalagarto (Santa Ana). Esta planta cumple con la función de abastecer del líquido vital a varios sectores de la ciudad, entre ellos el sector del barrio el Calvario.



Ilustración 3: Planta de tratamiento San Miguel

Fuente: Empresa pública de agua potable de jipijapa EPMAPAS-J

Tanque elevado “El Calvario”

Este tanque tiene una capacidad de almacenamiento de 800 m³ el cual es alimentado por la planta de tratamiento San Miguel, la cota de elevación del reservorio está a 338 msnm, adicional, se conoce los desniveles de los sub-circuitos.

Sub-circuito	Cota mínima (msnm)	Cota máxima (msnm)
S4.2	277.04	316.00
S4.3	271.73	314.65

1.8 Descripción de los sub-circuitos

Con el objetivo de conocer los lugares que bordean estos sub-circuitos nos encontramos con los siguientes barrios y sectores que le permitan reconocer al usuario el sector que se está estudiando. Y estos comprenden a:

- Barrio El Calvario (bajo)
- Barrio El Calvario (alto)
- Cdla. M. Borja
- Barrio La Gloria
- Cdla. 24 de mayo
- Parque Eloy Alfaro
- El Estadio



Ilustración 4: Sectores de los sub-circuitos

2. CAPÍTULO 2

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Redes ramificadas

Son representaciones gráficas que se constituyen de ramales para ser conectadas por tuberías hacia los. Estas redes se construyen para conocer el comportamiento hidráulico de un sector de interés. El objetivo de estas redes radica en la creación de circuitos interconectados dentro de la red de distribución de un fluido. Para este trabajo, el fluido a interpretar será de agua potable.

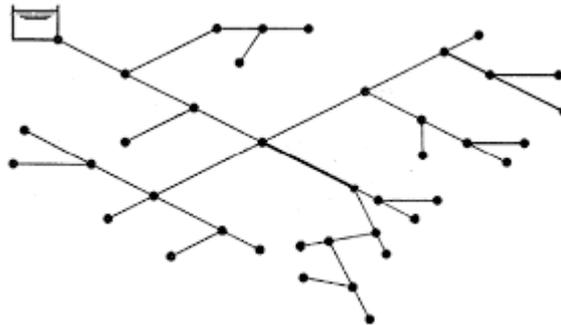


Ilustración 5: Redes ramificadas

2.1.2 Nudos

Herramienta que conforma los puntos de conexión de una red que representan elementos de aporte de caudal (como embalses o depósitos), o de salida de caudal, ya sea como consumos, o simplemente como elementos de conexión. Esto se refiere a elevación o cota, demanda base del sector, indicadores de presión; así como puntos de lectura críticos para la evaluación de una red.

2.1.3 Caudal (Q)

Cantidad de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo. Las unidades dependerán del sistema métrico a utilizar, para este trabajo, las unidades serán analizadas en el sistema internacional.

$$Q = A * V$$

Ecuación 1: Ecuación de continuidad

2.1.3.1 Caudal medio horario

Se refiere a la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio. Su cálculo es la suma de los caudales medidos, y luego ser divididos para el número de beneficiarios.

2.1.3.2 Caudal máximo horario

Es el caudal registrado en la hora de mayor consumo al final de un periodo de diseño.

Para el cálculo de este, se emplea la igualdad de:

$$Q_{maxh} = K_{maxh} * Q_m$$

Ecuación 2: Ecuación de caudal máximo horario

Donde:

Kmh: Factor de mayoración máximo horario, según la norma CO 10.7-602; los valores son de 2 – 2.3.

Qm: Caudal medio diario

2.1.3.3 Caudal mínimo nocturno

Este caudal es el más bajo que se registra en una red de distribución en el análisis de 24 horas de servicio, el horario que se presenta esta medición esta entre las 02h00 y 04h00 (McKenzie, 1999) en el caso de las zonas residenciales.

Se entiendo que el caudal que será consumido por los usuarios será mínimo por lo que las perdidas reales constituirán el mayor componente del caudal inyectado a la red.

Para (Molina, 2018) “La estimación de las pérdidas reales se realiza sustrayendo el valor estimado del caudal de consumo nocturno del caudal mínimo nocturno inyectado a la red de distribución en estudio”

En cálculo de este caudal estará representado con la siguiente ecuación:

$$Q_{mn} = K_{mn} * Q_m$$

Ecuación 3: Ecuación para caudal mínimo nocturno

Donde:

K_{mn} es el coeficiente de consumo nocturno

Q_m : Caudal medio diario

Estudios realizados por la AWWA recomienda el uso del valor de K en 0.35.

2.1.4 Agua no contabilizada

Representa al agua no registrada en los controles de la empresa contabilizadora de agua potable, la cual no genera ningún beneficio. Entre las posibles causas se tiene por robos, evaporación, fugas de tuberías, o en su efecto, por recolección de datos o mala medición. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$ANC = \frac{Q_{sumistrado} - Q_{medido}}{Q_{sumistrado}}$$

Ecuación 4: Ecuación de agua no contabilizada

2.1.5 Demandas dependientes de la presión

Consiste en la declaración de valores que corresponden a parámetros físicos en los nudos del modelo hidráulico, los cuales podrían determinar el comportamiento de fugas en la red de distribución

2.1.6 Hidráulica de fugas

Una fuga en la tubería puede ser representada hidráulicamente equivalente a un orificio de salida en un tanque, ya que su accionar estará basado en la ecuación de Torricelli (Zyl & Clayton, 2007), la cual describe la relación entre el caudal de fuga y presión en el punto de salida del tanque, además, considera el concepto de

coeficiente de descarga C_d con el objetivo de representar la reducción del área efectiva del orificio que se debe a la contracción del chorro aguas debajo de la abertura y las pérdidas de energía por fricción.

$$Q = C_d A (2gH)^{0.5}$$

Ecuación 5: Ecuación de Torricelli

Varios autores proponen a la ecuación como la adecuada para representar la hidráulica de fugas y que permite analizar diferentes tipos de fugas utilizando valores del exponente de fugas distinto al valor teórico.

$$Q_{fuga} = K P^N$$

Ecuación 6: Caudal de fuga

Dónde:

K: Es el coeficiente emisor de fuga

P: presión presente en el nudo crítico a ser analizado

N: exponente de fugas

No existe un valor fijado para la asignación del exponente de fugas, sin embargo; varios ensayos experimentales tanto el laboratorio como en campo, buscaron comprobar una validez de 0.5. En su trabajo (Hikki, 1981) de manera experimental obtiene exponentes de fuga entre 0.36 y 0.70 entre 1 y 5 mm, en perforaciones de tuberías metálicas entre 60 y 180 mm.

2.1.8 Calibración de modelos hidráulicos

Consiste en determinar características físicas y operaciones de un sistema existente, que una vez ingresadas al sistema computacional permitirá obtener resultados acordes a la realidad.

Para (Walski, 1983) el proceso consiste en 1) comparar presiones y caudales simulados con aquellos que están en la red en condiciones conocidas y 2) se deberá

ajustar datos de entrada al modelo para que concuerden con los valores simulados y observados.

2.1.7 EPANET



Es un software libre, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) por sus siglas en inglés, con el cual se ejecuta modelos hidráulicos para redes de agua a presión.

Dependiendo de las condiciones que el usuario determine, el programa resuelve para cada elemento de red y cada instante de tiempo el valor resultante de:

- Variables hidráulicas como: velocidades, caudales, presiones, etc.
- Variables de calidad del agua (concentraciones de compuestos)

El programa permite realizar simulaciones en periodos prolongados, del comportamiento y evolución de la calidad del agua en redes de suministro a presión.

Cabe recalcar que el software tiene ciertas limitaciones como el no permitir el cálculo de transitorios hidráulicos originados por el arranque o detenimiento de un grupo de bombeo, o aquellos efectos que son derivados por la manipulación de una válvula. A esto se debe agregar que no permite condiciones de inercia ni elasticidad de algunos materiales como el de conducciones plásticas, ya que no considera su capacidad de deformación.

Los elementos básicos que el programa utiliza son dos: líneas y nudos.

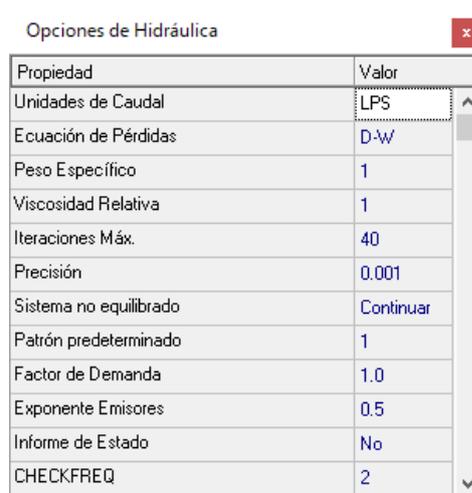
- Las líneas son la representación de las tuberías de la red, también lo son las bombas, válvulas, codos, etc.

- Los nudos son los extremos de una línea, estos representan de aporte de caudal como embalses o depósitos, o elementos de salida de caudal como consumo, o simplemente elementos de conexión.

La interfaz que posee permite realizar ejecuciones de manera sencilla, con la finalidad que el usuario, con conocimientos básicos de funcionamiento de modelos hidráulicos, pueda simular situaciones físicas reales en un modelo computacional.

2.1.8 Opciones hidráulicas

Para realizar una modelación apropiada, se debe adoptar por una configuración adecuada que simule las características del proyecto en su comportamiento hidráulico. Se sugiere realizarlo al inicio de la operación ya que el programa tiene valores por defecto, que en algunas ocasiones, no son aquellos que el usuario necesita.



Propiedad	Valor
Unidades de Caudal	LPS
Ecuación de Pérdidas	D-W
Peso Específico	1
Viscosidad Relativa	1
Iteraciones Máx.	40
Precisión	0.001
Sistema no equilibrado	Continuar
Patrón predeterminado	1
Factor de Demanda	1.0
Exponente Emisores	0.5
Informe de Estado	No
CHECKFREQ	2

Ilustración 6: Opciones hidráulicas de EPANET

Con esto se refiere a las opciones hidráulicas que permitan ingresar las unidades que el sistema trabajará, la fórmula de pérdidas, los factores de demanda, etc.

2.1.9 Construcción del modelo

Los modelos se presentan en un plano de dos dimensiones, el cual puede configurarse de manera espacial, con los datos georeferenciados de la ubicación del proyecto.

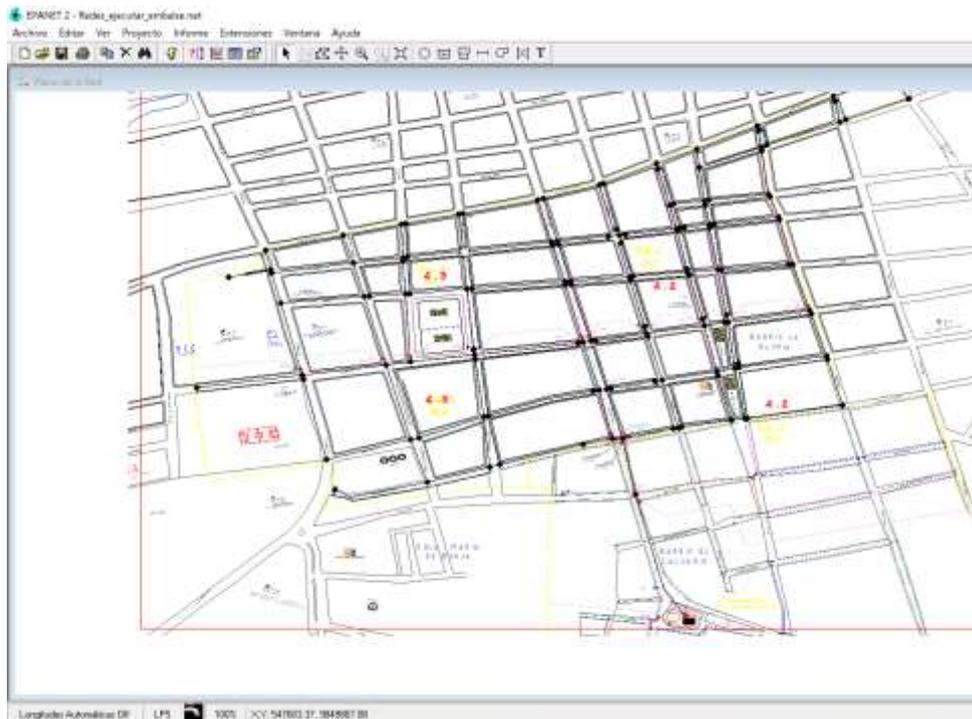


Ilustración 7: Construcción de modelo en 2 dimensiones

Datos de los cuales ya se obtienen sus coordenadas configuradas en el sistema UTM 84 con la finalidad de ubicar su posición geográfica.

2.1.10 Válvulas de control hidráulico

Son dispositivos mecánicos empleados para aislar tramos de conducción, regular caudales y presiones con la finalidad de proteger los sistemas de las sobrepresiones y/o depresiones. Pueden ser accionadas de manera manual o por medios automáticos o semiautomáticos. Aunque también existen accionadores eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

Según su función, se pueden dividir para:

- 1) Aislamiento o seccionamiento
- 2) Control

Si se trata de aislar cerrar o restringir, se deben utilizar las válvulas de diafragma, de asiento plano, etc. En caso que el sistema requiera de mayor atención, se pueden atender aquellas que son de seccionamiento, regulación, reducción de presión, purga de aire, retención del fluido en un sentido, etc.

Las valvulas de asiento tienen una particularidad ya que pueden cumplir con ambas funciones. En el caso de la valvulas de controles, se tiene aquellas que sirven de: altitud, admisión y expulsión de aire, controladoras de presión, de globo, de retención (check) o de vaciado.

2.1.11 Válvulas de compuerta

Funciona con una placa que opera de manera vertical a través del cuerpo de la válvula en forma perpendicular al flujo. En cuestion de operación es adecuada ya que permite al operador reconocer si la válvula está abierta o cerrada.

La limitación que tiene es que opera con dos funciones específicas, que será de apertura total o de cierre.

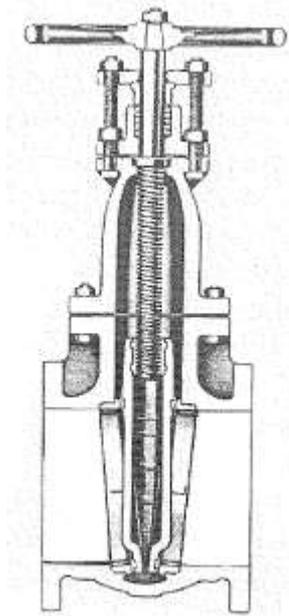


Ilustración 8: Válvula de compuerta

Fuente: Válvulas en los sistemas de distribución de agua – Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.

2.1.12 Válvulas de mariposa

Operan por medio de una flecha que acciona un disco haciendolo girar en el centro del cuerpo de la válvula. Su diseño permite ser empleada como reguladora de gasto para condiciones de gastos y bajas presiones, o en ciertos casos para disminuir para disminuir la descarga de una bomba.

Por su tamaño y precio, representan una ventaja en el mercado al momento de ser seleccionadas.

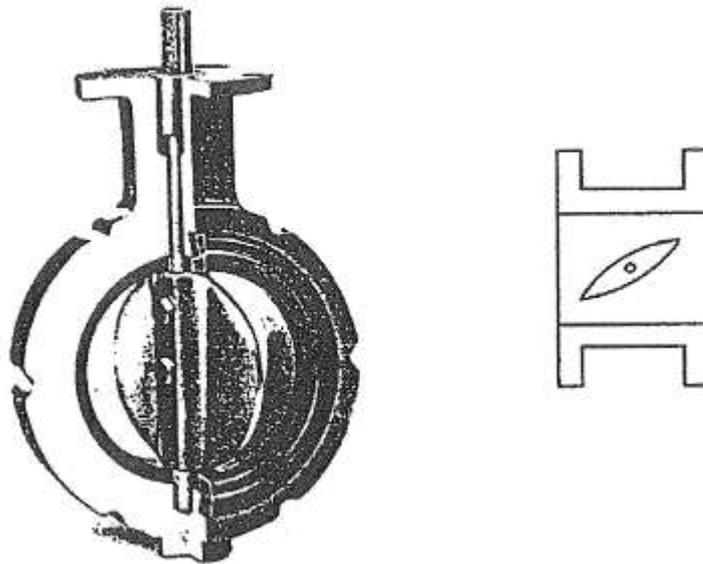


Ilustración 9: Válvula mariposa

Fuente: Válvulas en los sistemas de distribución de agua – Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.

2.1.13 Válvula de asiento plano

El elemento móvil es un cilindro, cono o esfera en lugar del disco, este elemento posee una perforación igual al diámetro de la tubería por lo que requiere un giro de 90° para pasar de abertura total a cierre o viceversa. El uso más común es para regular el gasto en los sistemas de distribución.

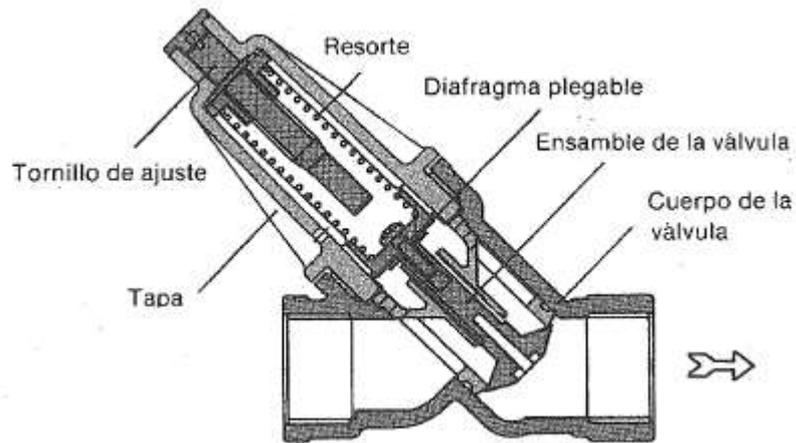


Ilustración 10: Válvula de asiento plano

Fuente: Válvulas en los sistemas de distribución de agua – Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.

2.1.14 Válvula reductoras de presión (VRP)

Su funcionamiento generalmente es autónomo, aunque también existen sistemas que las permiten controlar a distancia desde un punto de control. El objetivo de estas válvulas es mantener una presión constante aguas abajo desde el punto de instalación. Una de las tareas importantes es limitar la presión de manera que pueda acotar el caudal instantáneo que suministra hacia la zona situada aguas abajo y el volumen de fugas.

Como punto clave de su uso, es que la pérdida de carga que introduce en el modelo sea efectiva, de manera que su regulación sea efectiva.

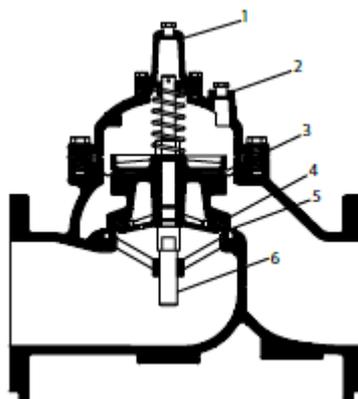


Ilustración 11: Válvula reductora de presión

Fuente: Singer Valve product catalogue

2.1.15 Válvula Reductora de Presion tipo globo

Se caracterizan por el movimiento de manera perpendicular del disco en relación con el asiento. De esta manera, garantizan que el espacio entre el disco y el asiento en forma de anillo se cierre gradualmente a medida que cierra la válvula.

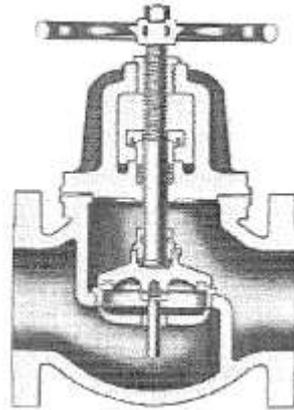


Ilustración 12: Válvula reductora de presión tipo globo

Fuente: Válvulas en los sistemas de distribución de agua – Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.

Son voluminosas y presentan una alta resistencia al paso del agua, por lo que se emplean en tuberías de diámetros pequeños. Pueden ser usadas para vaciar tuberías o drenarlas.

2.1.16 Caracterización hidráulica de las válvulas

Uno de los factores determinantes que influyen para la selección de válvulas radica en que estas sean capaces de cuantificar la pérdida de carga se origina en su instalación, en función del caudal circulante y de grado de apertura.

Para cada grado de apertura, la relación entre la pérdida de carga y el caudal circulante, puede ser cuantificado con un número de parámetros que la bibliografía permite analizar.

Por ello, es necesario conocer que el coeficiente de pérdidas menores “k” expresa la relación entre la pérdida de carga y la energía cinética del flujo por unidad de peso. Se expresa en la siguiente igualdad:

$$h_v = k(\theta) \frac{v^2}{2g}$$

Siendo $k(\theta)$ el coeficiente de pérdidas menores para el grado de apertura θ , h_v , la pérdida de carga expresada en mca, v la velocidad media del flujo referido a la sección nominal de la válvula y g la aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

Para este trabajo, regiremos la atención a una igualdad que permita relacionar el caudal que circula por la válvula. Es el caso para usar el coeficiente de pérdidas referido al caudal $K(\theta)$, que nace de la ecuación.... Y cumpliendo con ecuación de continuidad para ser reemplazada en la velocidad:

$$h_v = K(\theta)Q^2$$

Otro parámetro muy utilizado es el coeficiente o factor de flujo “ $K_v(\theta)$ ” que para una válvula completamente abierta se denominará K_{vo} , representado por la relación:

$$K_v(\theta) = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p/s}}$$

Donde Q es el caudal circulante, s la densidad del agua (1 para este caso) y Δp la pérdida de carga. Las unidades de K_v serán $m^3/s/(Kp/cm^2)^{1/2}$.

En la ilustración, se observa los diferentes valores que el coeficiente de pérdida de carga para la válvula totalmente abierta, para diferentes tipos de válvulas. El valor de k_o está en función del tipo de válvula y el diámetro de la misma. En el caso de los fabricantes, ellos ya proporcionan el valor de la pérdida de carga a válvula abierta en sus catálogos.

Tipo de válvula	Coef. pérd. k_o
Compuerta	0.1 - 0.3
Mariposa	0.2 - 0.6
Bola	0.1
Asiento	3.0 - 10
Diafragma	1.5 - 4

Ilustración 13: Valores de la pérdida de carga a válvula abierta

El valor de K_v , en este análisis representará el valor teórico que tendrá la válvula en el modelo, y el valor de K_o el valor que el fabricante dotará; por lo tanto, la relación K_v/K_o determinará el grado de apertura que tendrá la válvula.

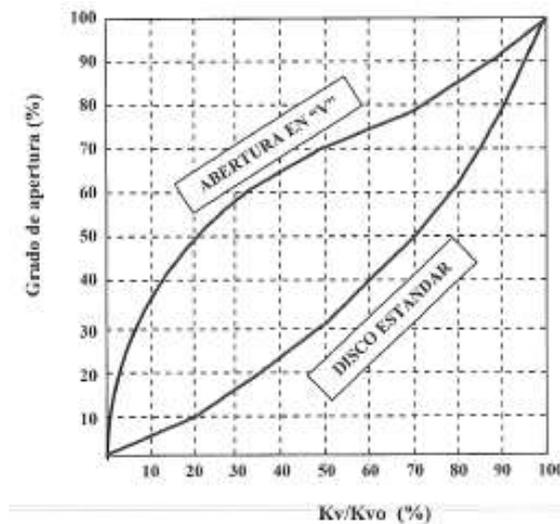


Ilustración 14: Grado de apertura de la válvula abierta en función de la relación de K_v/K_o

2.1.17 Cavitación en válvulas

La escasa abertura de las válvulas trabajando para caudales importantes provocan una disipación energética considerable dada por la gran resistencia que ofrecen al paso del fluido. Asimismo, la velocidad generada en su interior, provocada por la disminución de la sección efectiva de paso, conocida como efecto Venturi, causará una brusca disminución de la presión; a tal punto que puede llegar a la presión de vapor, presentándose el fenómeno de la cavitación.

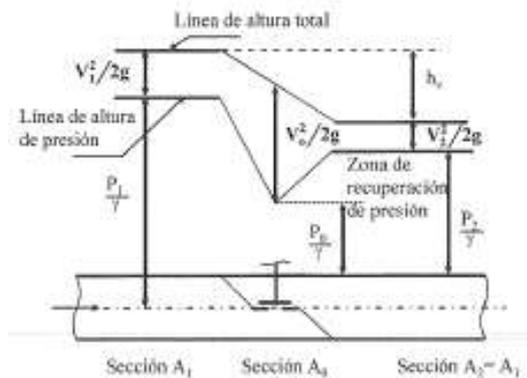


Ilustración 15: Línea de alturas totales y alturas de presión en una válvula

Es importante observar los niveles de presión absolutos en una válvula en la que su presión es constante a la entrada y varía en la salida, tal como se puede observar en la ilustración 16. Dado que, si las secciones de la conducción en las que se han medido las presiones a la entrada y salida son iguales, las pérdidas de carga en la válvula coincidirán con la caída de altura de presión.

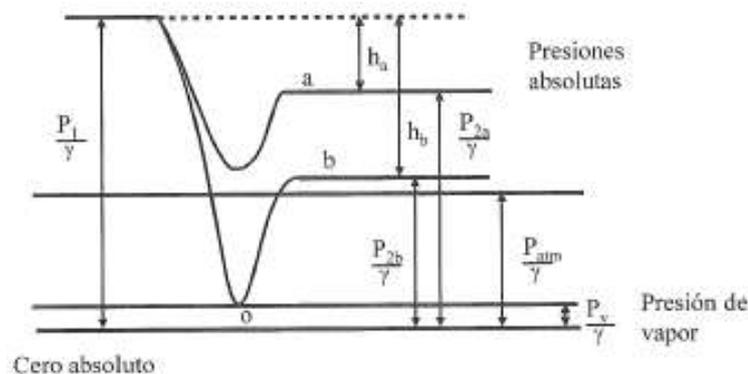


Ilustración 16: Niveles de presión en una válvula para dos casos

Cuando las válvulas presentan cavitación presentan problemas que se describen a continuación:

- Pulsos de presión importantes en el sistema hidráulico
- Ruido y vibraciones
- Erosión y grandes desperfectos en los materiales
- Pérdida de eficacia en el transporte de fluido, debido a que rápidamente nos separamos de las condiciones de diseño con que el sistema se concibió.

Conociendo estos problemas, será muy importante evitar que exista cavitación en la válvula, por lo que, en ocasiones se requerirán maniobras de cierre de válvula que conllevan una gran disipación energética y probablemente llevaran al sistema a provocar una posible cavitación. Resulta de gran interés el tener una capacidad de predicción acerca de cuándo y en qué condiciones de trabajo sucederá este efecto.

Aunque no exista información que permita predecir de manera estandarizada la cavitación, frecuentemente se obtiene ciertas características observadas que recomiendan como evitarla

En función del grado de consolidación (Tullis, 1989) se encontrará cuatro niveles de cavitación, de tal modo que esta pueda ser clasificada en incipiente, crítica, con daños incipientes y por último cavitación con bloqueo.

2.1.17.1 Cavitación incipiente

Se considera incipiente a partir del momento que se distingue el ruido producido respecto al que emite normalmente la válvula. Este se produce en algunos tipos de válvulas y se presenta de manera intermitente.

2.1.17.2 Cavitación crítica

Esta aparece como el siguiente nivel de cavitación, siendo que a partir del límite inferior de cavitación crítica, esta se hace continua si bien no origina erosión importante salvo aquella que es producida durante mucho tiempo. Se puede permitir

el funcionamiento de la válvula en esta condición, si la forma en la que se presenta sea de forma esporádica.

2.1.17.3 Cavitación de daños incipientes

Esta produce erosión sobre superficies sólidas, por lo que se recomienda no funcionar en esa zona.

2.1.17.4 Cavitación por bloqueo

Si la presión aguas debajo de la válvula disminuye por debajo de la presión de vapor y forma una bolsa de vapor de agua con dimensiones comparables a las de la tubería de salida, se presentará el bloqueo, de manera que el caudal no puede incrementarse ni siquiera disminuyendo la presión aguas abajo.

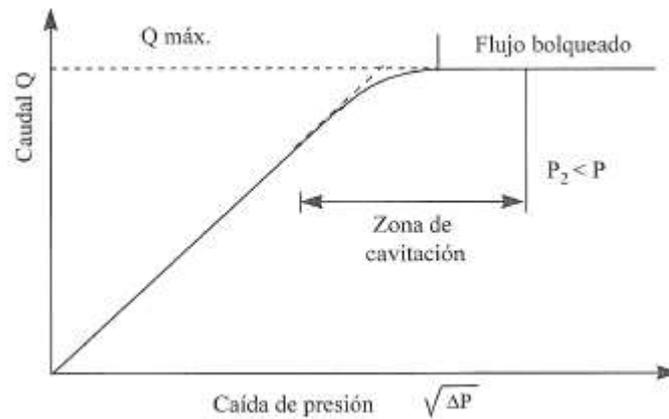


Ilustración 17: Caudal frente a la caída de presión de una válvula

3 CAPÍTULO 3

Metodología

3.1 Área de interés

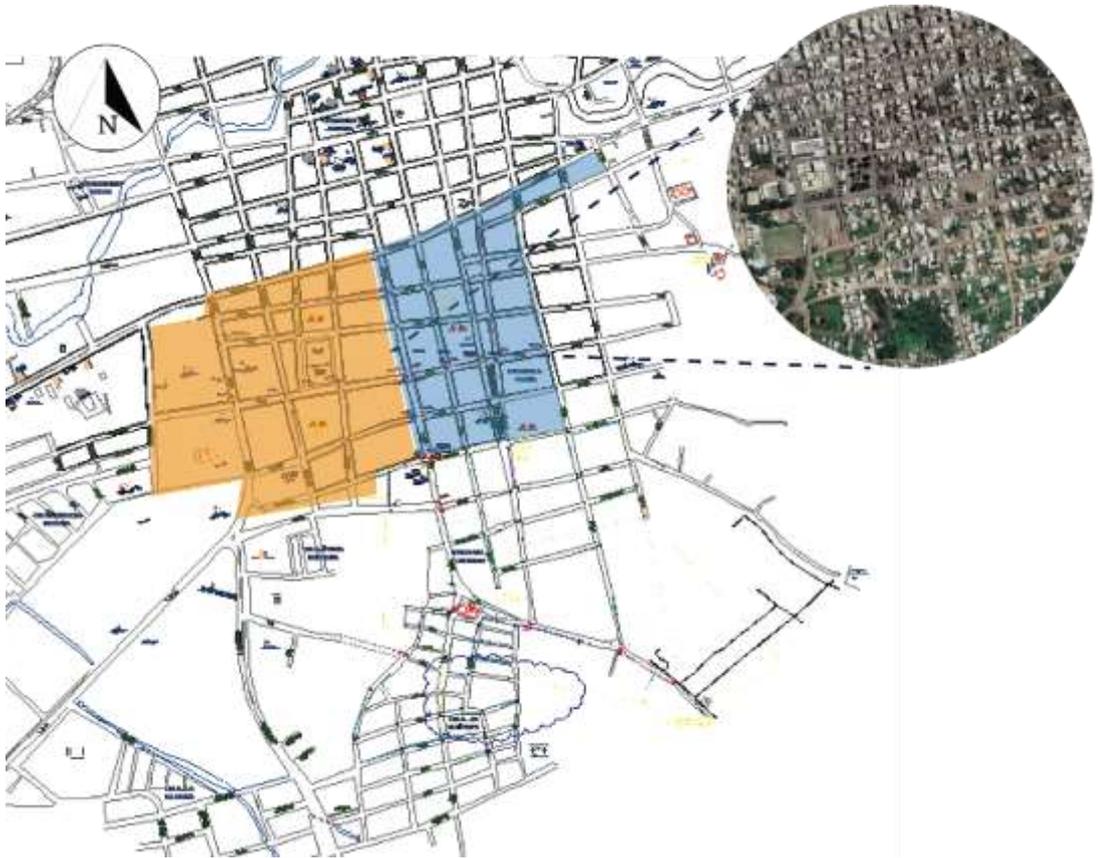


Ilustración 18: Sectorización de sub-circuitos

En relación a lo mencionado anteriormente, el área de interés comprendido al circuito N°4, se realizará una división tanto para el subcircuito 4.2 de color morado y el subcircuito 4.3 de color verde-turquesa, como se aprecia en la ilustración 18.

3.2 Construcción de modelo en EPANET

El uso de este software permite la construcción y simulación de modelos hidráulicos que permiten conocer el comportamiento del fluido. Para nuestro caso, realizaremos la construcción de un modelo de red mallada en un plano de 2 dimensiones, haciendo uso de las herramientas de georreferenciación e implantar nuestro modelo en la misma. Todo esto generado en una imagen de metadatos.



Ilustración 19: Georreferenciación de los subcircuito 4.2 y 4.3

La ilustración 6 se trata de un mapa de fondo que es ingresado al programa con su respectiva georreferenciación en coordenadas UTM 84 dentro de la zona 17S. El objetivo de construir este modelo se realiza para construir el modelo hidráulico con las longitudes de tuberías que la empresa de agua potable EMAPAJIP tiene diseñado.

De esta manera, se procede a subir el mapa a EPANET y proceder con la asignación de los nodos para posterior ser conectados con las tuberías.

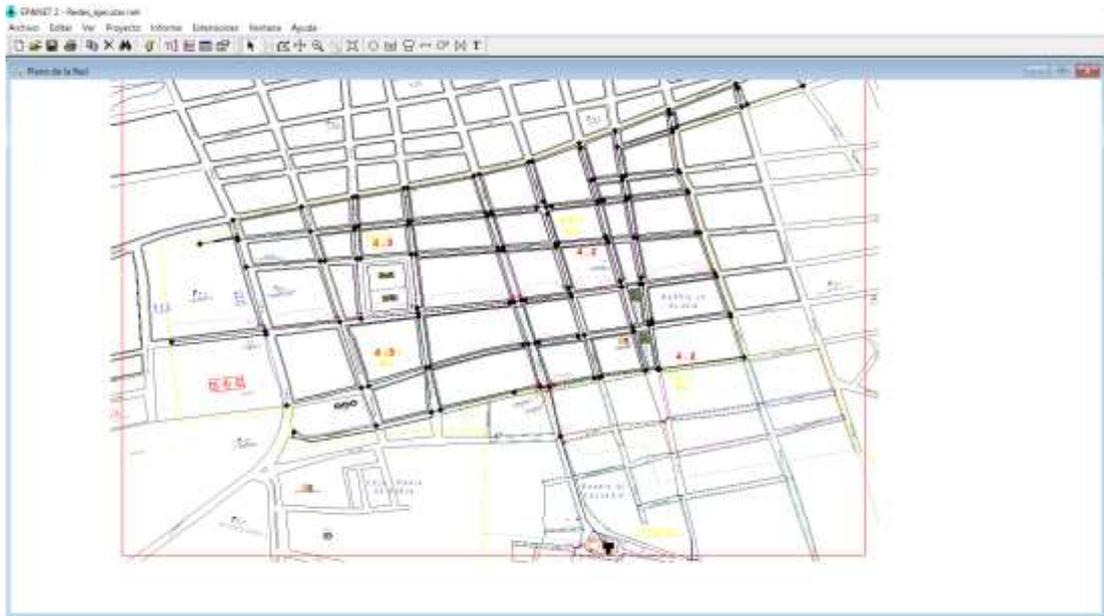


Ilustración 20: Construcción del modelo hidráulico para subcircuito 4.2 y 4.3

Asignación de nudos y propiedades

Una vez construido el modelo, se procede con la caracterización de cada uno de los nudos. Esto se realiza para conocer las cotas correspondientes y así poder realizar el análisis hidráulico de la red. Para ello, se utilizaron herramientas de georreferenciación para conocer las curvas de nivel del lugar y poder obtener los niveles.

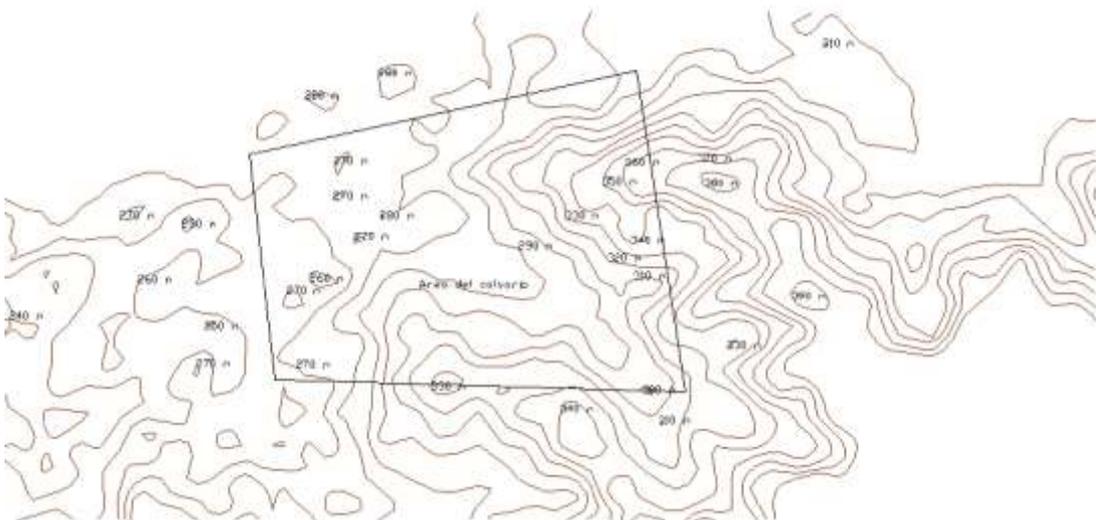


Ilustración 21: Curvas de nivel generadas para los subcircuito 4.2 y 4.3

Se asignaron un total de 134 nudos y el tanque de distribución como un nudo aparte, ya que este alimenta al circuito.



Ilustración 22: Ingresar las cotas correspondientes

3.3 Cálculo de demanda base

Gracias a la información otorgada por la empresa de agua potable, se obtienen los datos de consumo en el mes por parte de los usuarios. Las unidades de estos caudales son presentadas en metros cúbicos por mes, por tanto, se debe realizar la respectiva conversión a las unidades de trabajo que inicialmente fueron configuradas, para caudales, en litros por segundo.

En la tabla 1 se puede constatar los valores calculados. Cabe recalcar que la conversión de m³/mes fue multiplicado por un factor de 0.000379478 para tener lts/s

$\Sigma Q_{\text{consumo}}$	5243 (m³/mes)
$\Sigma Q_{\text{consumo}}$	2.00 (lts/s)
Numero de nudos	134
Demanda base ($\Sigma Q_{\text{consumo}}$ / Numero de nudos)	0.014848

Tabla 1: Cálculo de demanda base en los sub-circuitos 4.2 y 4.3

3.4 Asignación de demanda base a los nodos del modelo

Una vez calculada la demanda base, se procede con la asignación a cada uno de los nodos. Para ello, y con fines prácticos, se ejecuta la opción de seleccionar todos los datos del modelo y proceder a cambiar los valores por el calculado.

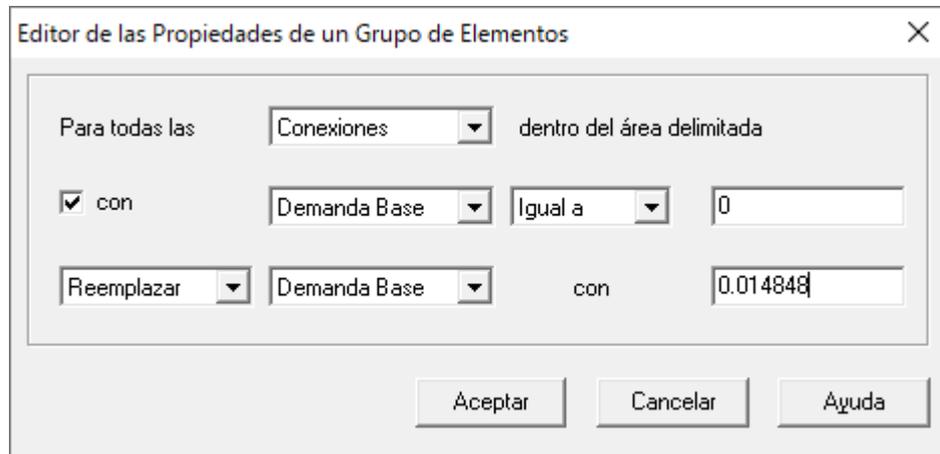


Ilustración 23: Editor de propiedades de un grupo de elementos en EPANET

Esta modificación se constata con la siguiente notificación:

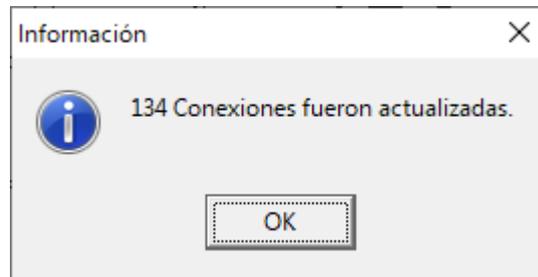


Ilustración 24: Notificación de modificación por grupo

De esta manera, se constata el cambio en la demanda base en cada nodo.

Conexión 2007	
Propiedad	Valor
*ID Conexión	2007
Coordenada-X	546873.21
Coordenada-Y	9850460.34
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	310
Demanda Base	0.0148
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1
Coef. Emisor	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

Ilustración 25: Consulta en la modificación de la demanda base

3.5 Calibración del modelo

Al conocer que el agua no contabilizada está en el orden del 80%, hacemos uso de la ecuación de agua no contabilizada para calcular el caudal de fugas y proceder a la calibración del modelo con el caudal promedio que ingresaría a la red.

Agua no contabilizada

$$ANC = \frac{Q_{suministrado} - Q_{medido}}{Q_{suministrado}}$$

Siendo que el caudal suministrado es de 2 lts/s, se determina la siguiente expresión.

$$Q_s = \frac{Q_{suministrado}}{1 - ANC}$$

$$Q_s = \frac{2}{1 - 0.8} = 10 \text{ lts/s}$$

Cálculo del caudal de fuga

Por lo tanto, el caudal de fuga será de:

$$Q_{fuga} = 10 \frac{lbs}{s} - 2 \frac{lbs}{s} = 8 \frac{lbs}{s}$$

Continuando con el procedimiento, se procede al cálculo del coeficiente emisor de fuga K, el cual está configurado dentro del software para su calibración como sistemas dependientes de la presión. Para ello hacemos uso de la siguiente expresión.

$$Q_{fuga} = K P^N$$

Donde K representa el coeficiente emisor de fuga

P: Presión promedio de la red sin contabilizar las fugas en la red

N: exponente de fugas

Para este caso, el valor a seleccionar de N será de 0.5, esto en base a estudios de laboratorio y de campo, valor que se adopta para redes ramificadas domiciliarias.

$$K = \frac{Q_s}{P^N}$$

Entrando en la calibración del modelo, el caudal contabilizado es igual a 2 lts/s, por lo tanto, el caudal que debe ser suministrado a la red será de 10 lts/s.

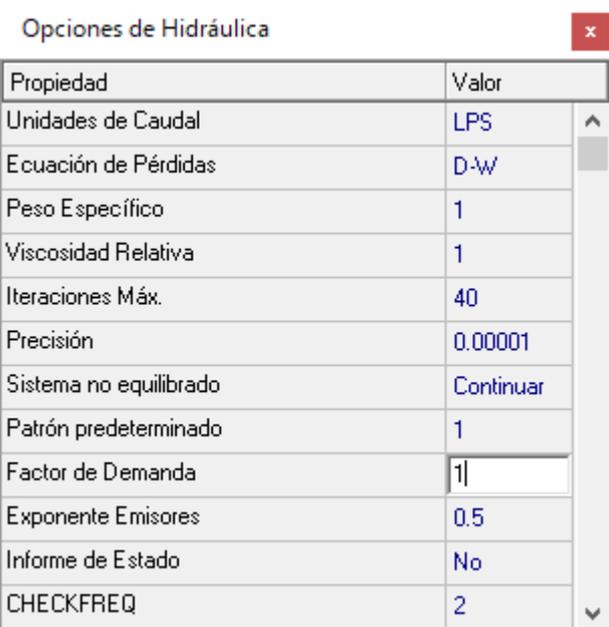
Se realizará un proceso de iteración que consistirá en ajustar al modelo el coeficiente emisor de fuga hasta que el caudal simulado sea igual al caudal estimado.

Una vez que el caudal simulado sea igual al caudal estimado se dará por culminada la calibración.

Nº de iteración	Qs (lts/s)	Qt/Qs	K
1	9.56	1.0460	0.00918
2	9.88	1.0210	0.00960
3	9.96	1.0040	0.00971
4	9.98	1.0040	0.00974
5	10	1.0020	0.00976

Tabla 2: Iteración de valores para cálculo de caudal promedio

Para la ejecución del coeficiente emisor de fugas, se debe percatar que los valores por defectos estén correctos; con la finalidad de que el cálculo del caudal solicitado sea el caudal promedio que ingresa a la red.



Propiedad	Valor
Unidades de Caudal	LPS
Ecuación de Pérdidas	D-W
Peso Específico	1
Viscosidad Relativa	1
Iteraciones Máx.	40
Precisión	0.00001
Sistema no equilibrado	Continuar
Patrón predeterminado	1
Factor de Demanda	1
Exponente Emisores	0.5
Informe de Estado	No
CHECKFREQ	2

Ilustración 26: Comprobación de las opciones hidráulicas

Una vez calculado el caudal objetivo, se ingresa el valor del coeficiente emisor de fugas al modelo para ser evaluado.



Ilustración 27: Editor de grupo para cálculo de coeficiente emisor

Posterior a la modificación, se ejecuta el modelo para comprobar los valores calculados.

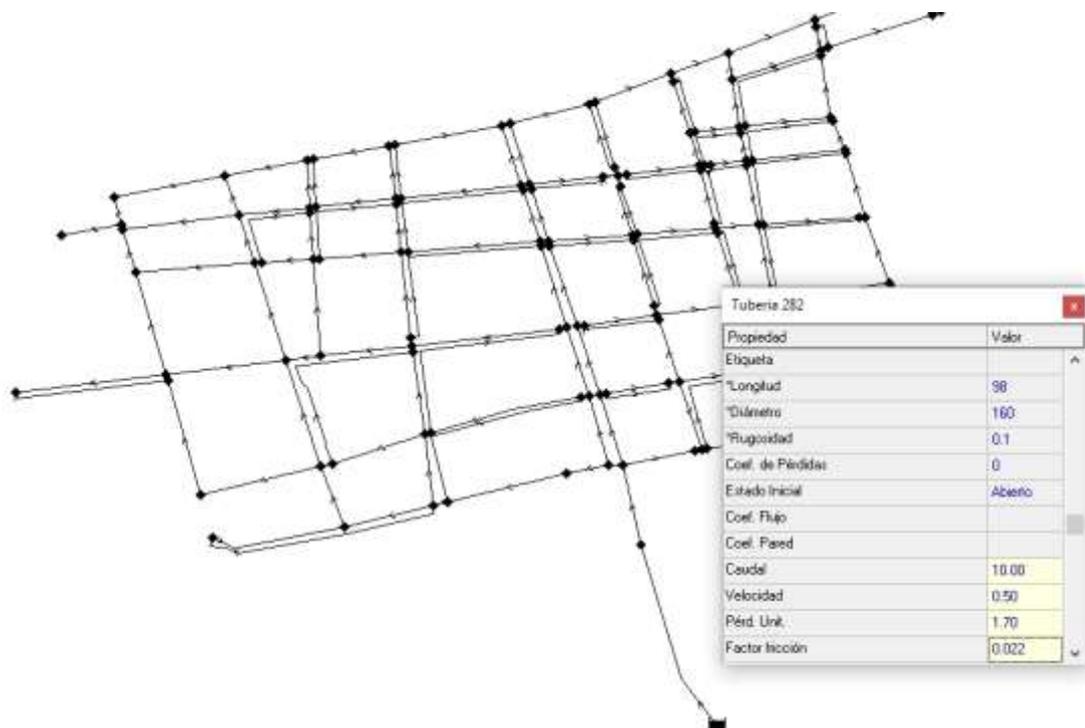


Ilustración 28: Comprobación de caudal de ingreso de 10 lts/s

Esta información proporcionará las presiones máximas y mínimas con caudal promedio, para luego ser evaluadas en los respectivos caudales de diseño.

3.6 Dimensionamiento de Válvulas

3.6.1 Pre-diseño en Caudal Máximo Horario

Una vez que se obtiene el caudal promedio que ingresa a la red, se procede con el cálculo del caudal máximo horario y la selección de su factor de mayoración.

Para este caso, el factor de mayoración estará en el orden de 2.1

$$Q_{max} = K_{MH} Q_{sum}$$

$$Q_{max} = 2.1 * 10 = 21 \text{ lts/s}$$

Para eso, se realiza la modificación en las opciones hidráulicas en cuanto al factor de demanda, con la finalidad de que el modelo simule el nuevo caudal.

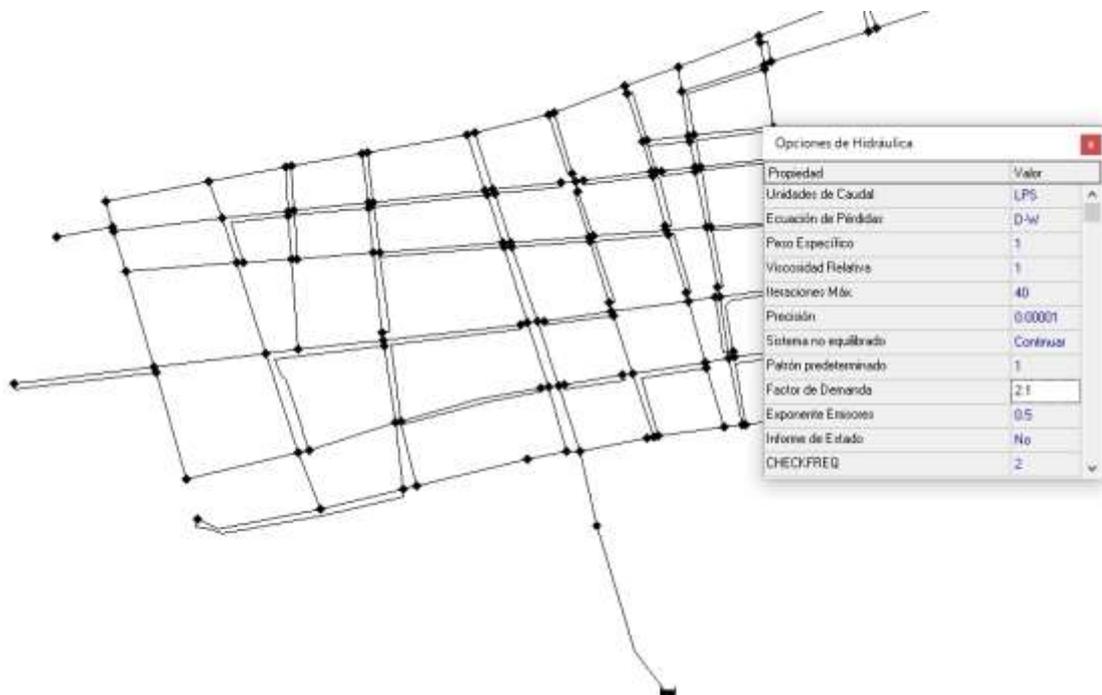


Ilustración 29: Modificación en el factor de demanda

Para calibrar el escenario en caudal máximo horario se realiza nuevamente el cálculo de iteración, tal como se realizó en el escenario de caudal promedio.

N° de iteración	Qs (lts/s)	Qt/Qs	K
1	11.98	1.753	0.0171
2	16.77	1.252	0.0214
3	19.17	1.095	0.0234
4	20.19	1.040	0.0243
5	20.63	1.018	0.0247
6	20.82	1.008	0.0249
7	20.92	1.003	0.0250
8	20.97	1.001	0.025025
9	21	1.0005	0.025060

Tabla 3: Iteración de valores para cálculo de caudal máximo horario

Realizando la respectiva modificación en el cambio de los coeficientes emisores en los nudos.

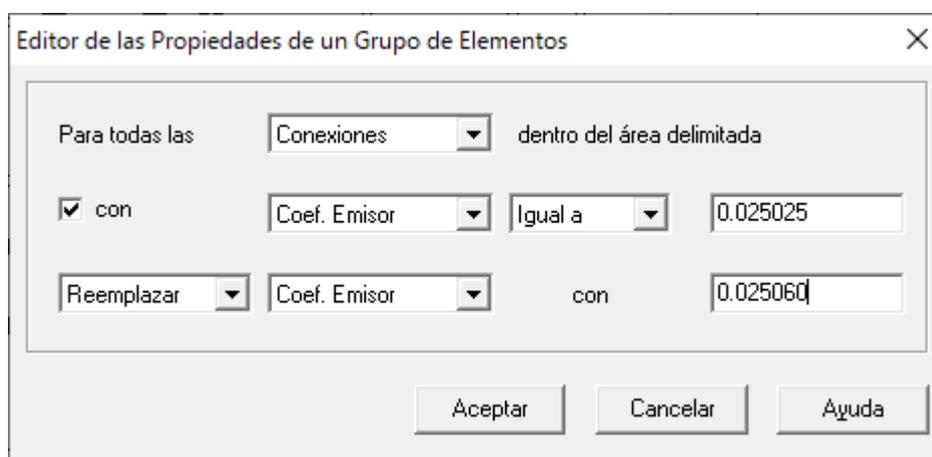


Ilustración 30: Cambio del coeficiente emisor para caudal máximo horario.

A continuación, se ejecuta la modelación con la debida calibración.

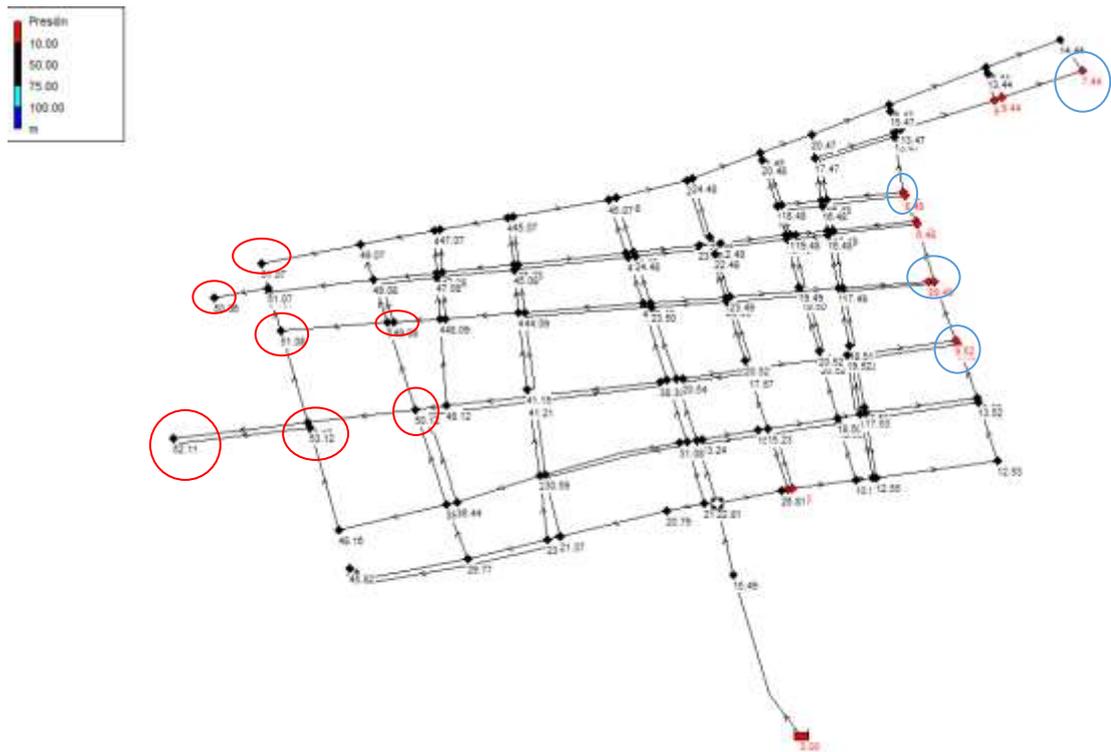


Ilustración 31: Modelación con el cálculo del caudal máximo horario.

Analizando los resultados, se obtiene información respecto a los nudos con presiones superiores a los 25 mca, e inferiores a los 10 mca.

Siendo la presión máxima de 52 mca ubicada en el punto más bajo del circuito. Así mismo se obtiene que la presión mínima se encuentra en el sector más alto del circuito con un valor de 7.44 mca.

Estos datos serán considerados una vez se realice el cálculo con caudal mínimo horario, con el objetivo de evaluar las condiciones de las presiones que tendrá la red en función del horario.

3.6.2 Pre-diseño en Caudal Mínimo Nocturno

El análisis en caudal mínimo nocturno nos permite conocer las condiciones del flujo del agua en horarios donde no existiría mayor demanda del líquido. Para (Mckenzie, 1999), en la mayoría de zonas domiciliarias estos se presentan entre las 02h00 y 04h00.

Utilizando el factor de mayoración de 0.5, procedemos a realizar el cálculo en base al caudal suministrado de 10 lts/s.

$$Q_{minnoc} = K_{MN}Q_{sum}$$

$$Q = 0.5 * 10 = 50 \text{ lts/s}$$

Este valor será ingresado en el modelo de EPANET para realizar la respectiva modelación y adquirir la información necesaria para seguir construyendo la simulación.

Similar al procedimiento empleado en el caudal máximo horario, se procede con el cambio en las propiedades hidráulicas en el factor de demanda.

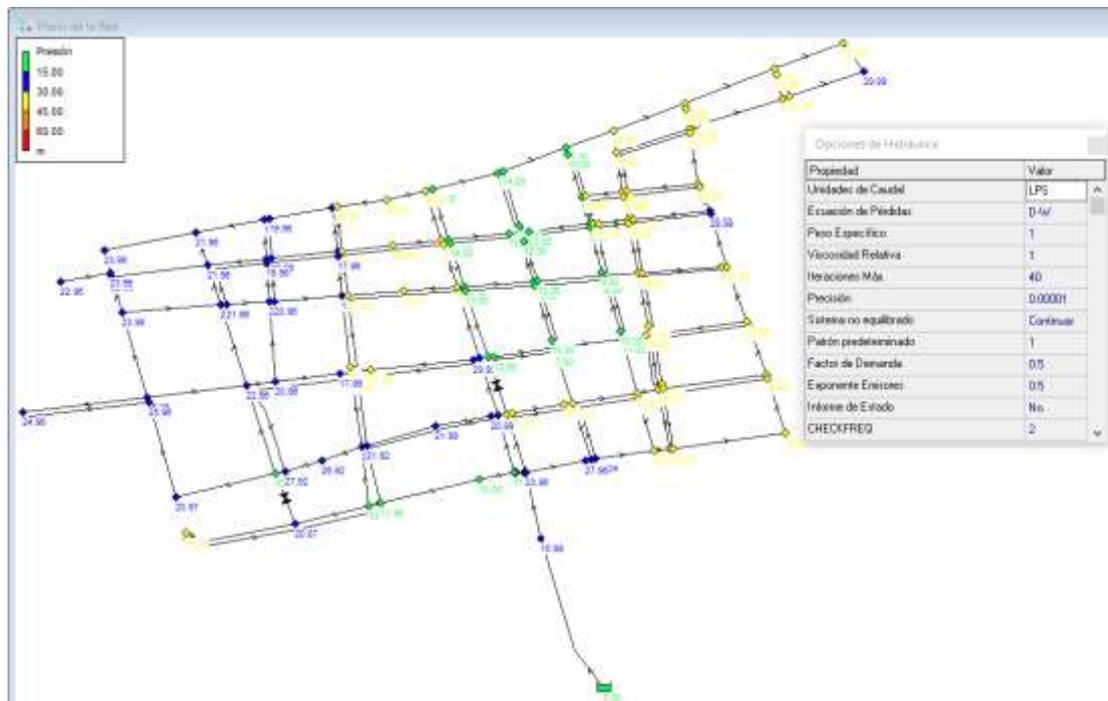


Ilustración 32: Modificación en factor de demanda a 0.5

Posterior a ello, se realiza el respectivo proceso de iteración, respetando el mismo procedimiento de la calibración en cuanto al caudal de fugas.

N° de iteración	Qs (lts/s)	Qt/Qs	K
1	7.69	0.6501	0.006344
2	5.43	0.9208	0.005838
3	5.09	0.9823	0.005735
4	5.02	0.9960	0.005710

Tabla 4: Iteración de valores para el cálculo de caudal mínimo nocturno

Ingresando los datos para ser modificados en el modelo:



Ilustración 33: Modificación del coeficiente emisor en el grupo del caudal mínimo nocturno

Ya el modelo ejecutará con los nuevos datos ingresados, por tanto, se tiene:

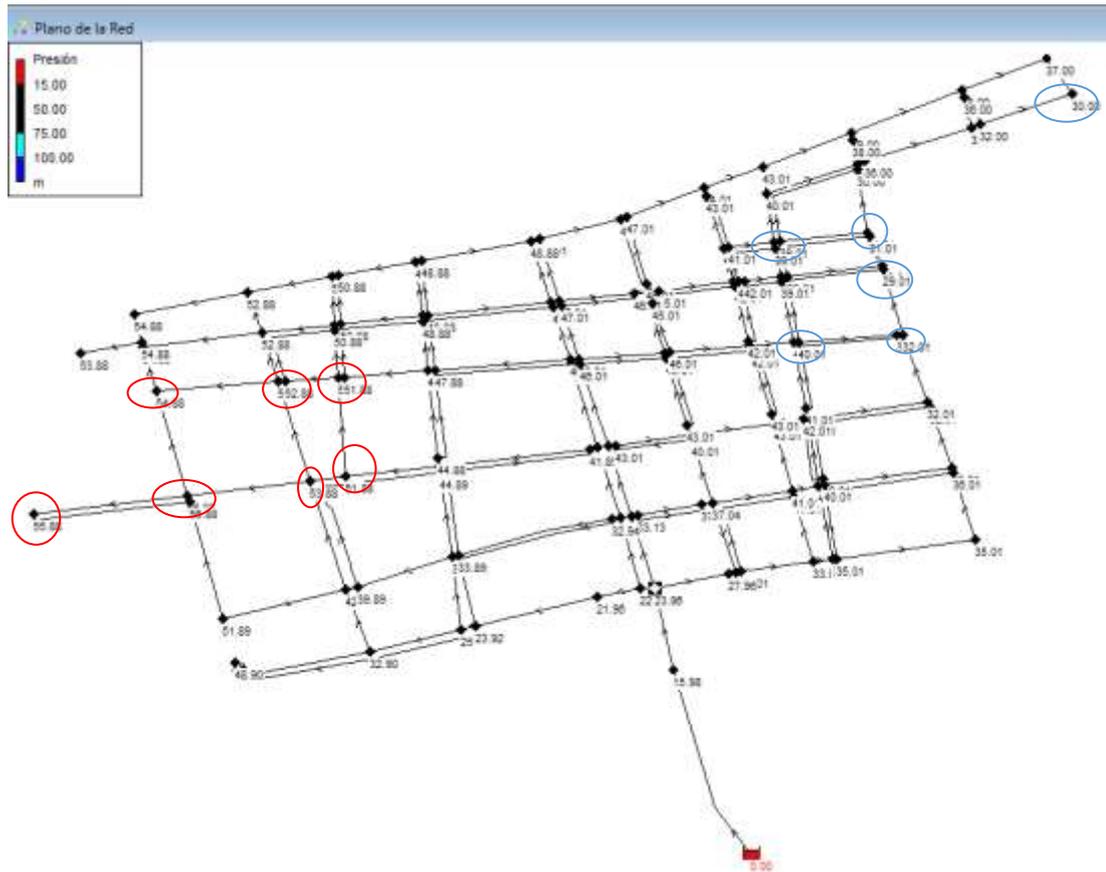


Ilustración 34: Presiones del modelo en caudal mínimo nocturno

Se encuentra que el modelo provee de presiones entre 23 y 55 mca en los puntos más altos y bajos respectivamente de la red.

Con esta información, ya se puede ir constatando la ubicación de la o las válvulas reguladoras de presión.

Antes de realizar el procedimiento para la selección de la válvula se debe realizar un análisis que el autor propone.

Referente al criterio que se propone en el presente trabajo, el cual se realiza la respectiva comparación por la siguiente tabla.

Caudal de diseño	Presión máxima (cota inferior) mca	Presión mínima (cota superior) mca
Caudal medio diario	55	23.07
Caudal máximo horario	52	7.44
Caudal mínimo nocturno	55	23

Tabla 5: Comparación de presiones en caudales de diseño

El objetivo del presente trabajo es reducir las presiones de la red, en el cálculo del caudal suministrado.

Como se observa en la tabla 5, las presiones oscilan entre 55 y 23 mca en los puntos bajos y altos de la red, respectivamente.

Por ello, al realizar el análisis en caudal máximo horario, tendríamos una reducción en el sector del subcircuito 4.2 que serían las cotas superiores a los 300 msnm, la presión en ese punto sufriría una disminución considerable. Esto se da en base a las pérdidas energéticas a causa del desnivel respecto al punto de alimentación de la red.

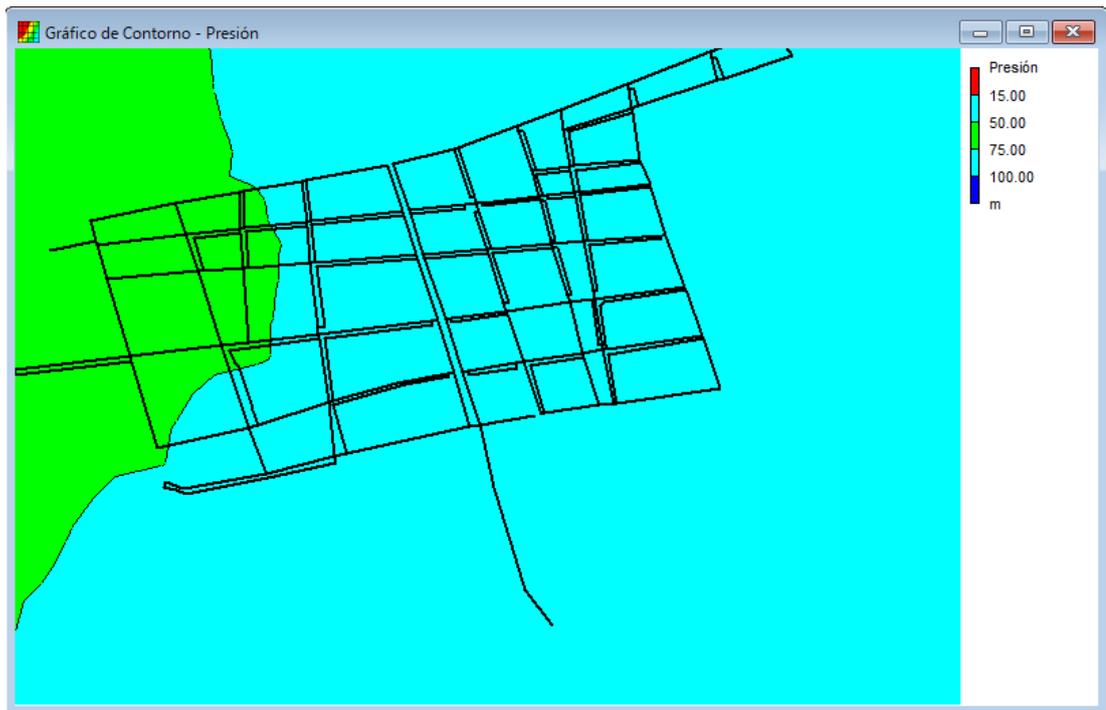


Ilustración 35: Grafico de contorno de las presiones generadas en caudal medio diario

La ilustración 35 permite englobar el contorno de presiones en el modelo. Siguiendo este comparativo, se generará los gráficos para caudal máximo horario y mínimo nocturno.

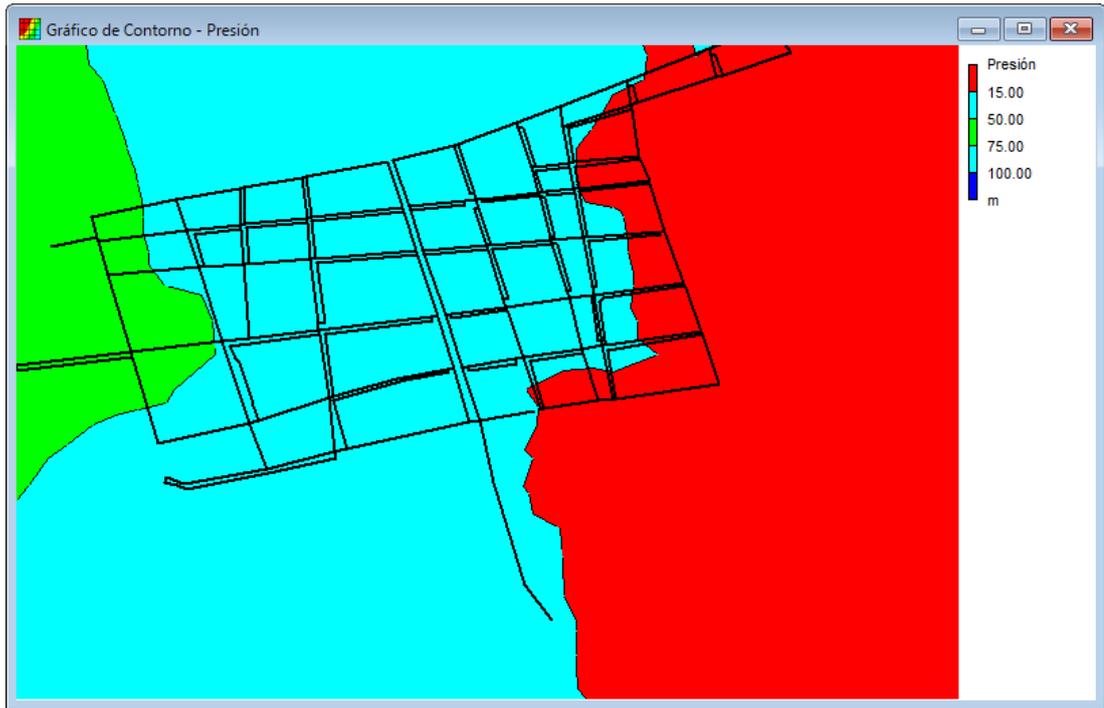


Ilustración 36: Grafico de contorno de las presiones en caudal máximo horario

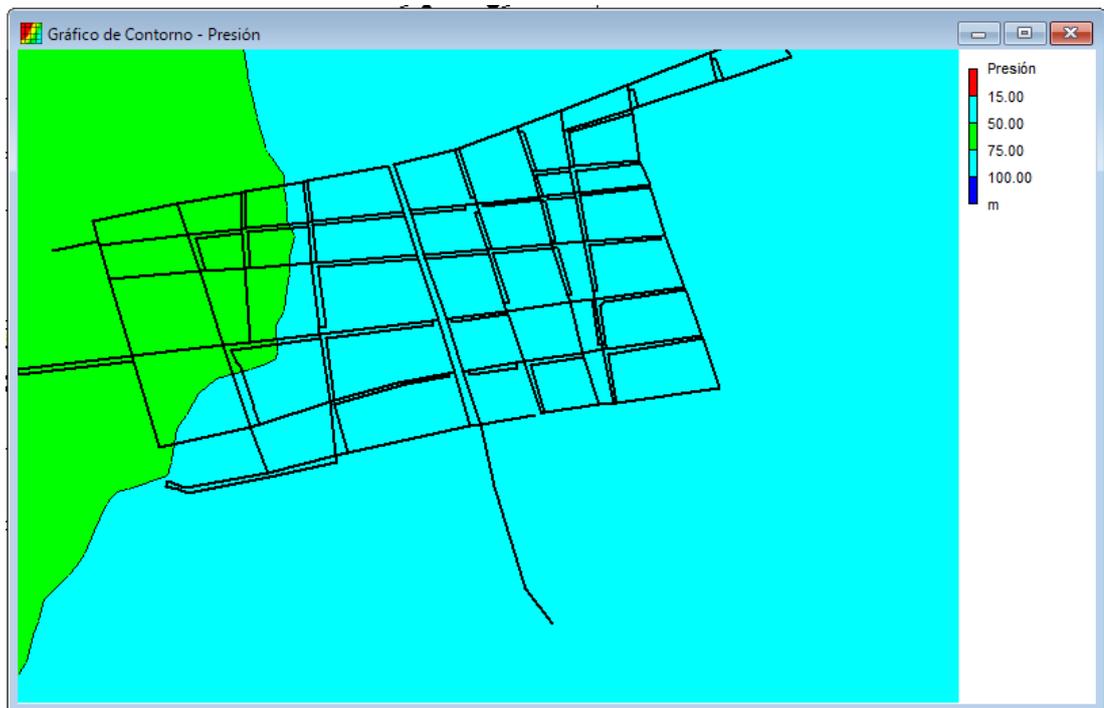


Ilustración 37: Gráfico de contorno de las presiones generadas en caudal mínimo nocturno

En la ilustración 36 se puede observar que las presiones en los nudos señalados son bajas debido a la elevación. Para ubicarlo en el modelo de la red, esto comprende al sub-circuito 4.2.

Para ello, se decidirá la colocación de la válvula reductora de presión en el ingreso hacia el sub-circuito 4.3 y otra sectorización para el sub-circuito 4.2, como se señala en la ilustración 38,

En el siguiente paso, se canalizará todo el esfuerzo en la selección de las válvulas para el sub-circuito 4.3 y sub-circuito 4.2, ya que el análisis de las modelaciones en caudal máximo horario y mínimo nocturno, permitieron las presiones a reducir.

La razón por la cual se decide estas ubicaciones obedece, entre otros parámetros, el de aislar tramos de conducción y proteger el sistema frente a sobrepresiones y/o depresiones, tal como lo expone (Escobar, 2009)

La estrategia de reducción y control de pérdidas en sectores de menor longitud, tal como lo expone (Molina Arce, 2009) permite aislar ciertos flujos dentro de la red para poder ser controlados desde su alimentación.

3.6.3 Selección de válvulas

El valor de presión mínima que tenemos, representaría una condición particular en cuanto a la topografía del área estudiada. Para ello, nuestro análisis se enfocará en colocar las válvulas reductoras de presión en el ingreso hacia la red de los sub-circuitos 4.2 y 4.3, otra en el ingreso al micro circuito 4.3 y la tercera en el ingreso hacia el sub-circuito 4.2.

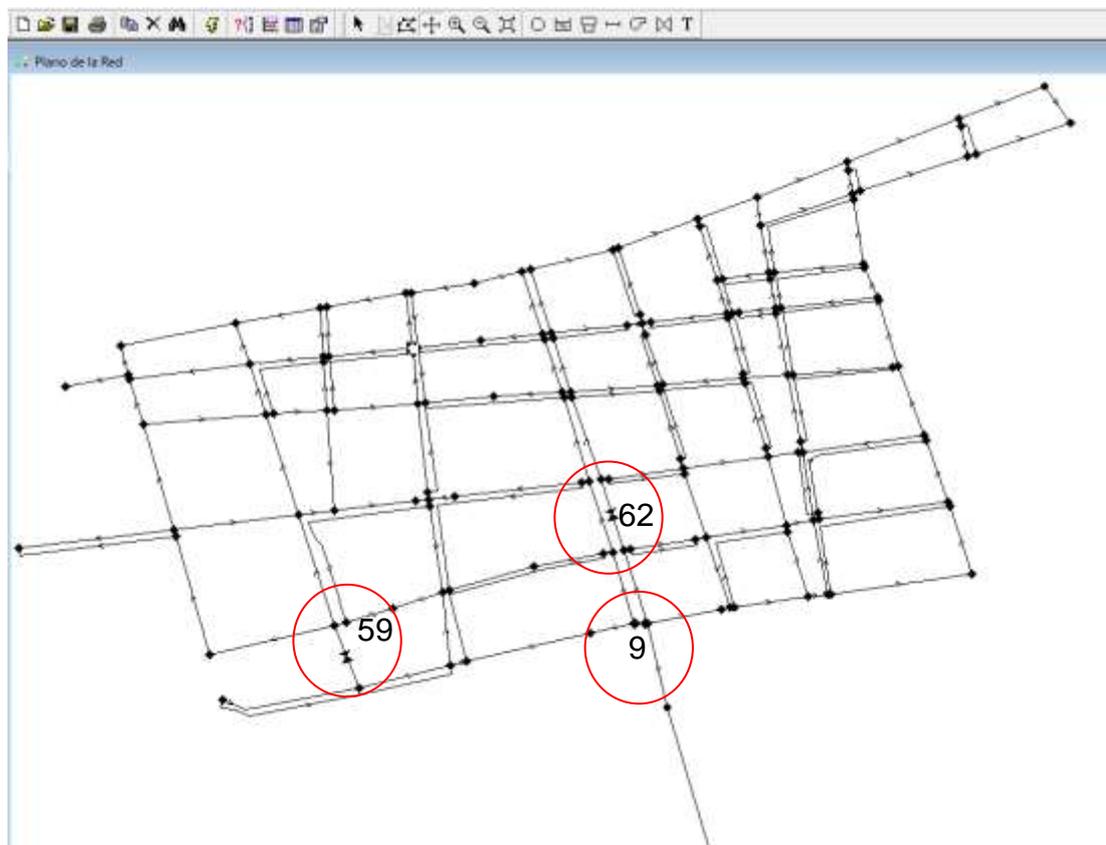


Ilustración 38: Construcción de válvulas en el modelo.

Para la selección de la válvula reductora de presión, se debe proporcionar datos que el software solicita para su accionamiento adecuado.

Válvula 9	
Propiedad	Valor
*Nudo Final	2006
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	100
*Tipo	Reductora
*Consigna	11
Coef. Pérdidas	0
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	8.78
Velocidad	1.12
Pérdidas	10.93
Calidad	0.00

Ilustración 39: Asignación de valores para válvula reductora de presión

Válvula 59	
Propiedad	Valor
*ID Válvula	59
*Nudo Inicial	2002
*Nudo Final	2031
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	65
*Tipo	Reductora
*Consigna	12
Coef. Pérdidas	0
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	1.60
Velocidad	0.48

Ilustración 40: Válvula reguladora de presión en el ingreso al sub-circuito 4.3

Válvula 62	
Propiedad	Valor
*ID Válvula	62
*Nudo Inicial	2025
*Nudo Final	2043
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	63
*Tipo	Reductora
*Consigna	12
Coef. Pérdidas	0
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	1.42
Velocidad	0.15

Ilustración 41: Válvula reguladora de presión en el ingreso al sub-circuito 4.2

La consigna ingresada de 11 mca, representa la presión para que la válvula regulará aguas abajo.

En cuanto a la selección de las válvulas, se recomienda que éstas sean iguales al diámetro de la tubería, por lo que; el diámetro de la válvula 9 será de 100mm, la válvula 59 de 65mm, y la reductora 62 será de 65mm.

Dentro de los parámetros que evalúa el programa para las válvulas reductoras de presión, deben ser ingresados en estado fijo de ninguno, para que el software simule su funcionamiento.

Una revisión adicional a las presiones ya reducidas, encontramos que aún tenemos valores por encima de las presiones objetivo. Esta particularidad en la simulación se presenta en las zonas bajas en cuanto a elevaciones.

Por ello, se propone realizar una micro sectorización hacia el sub-circuito 4.3 y otra para el sub-circuito 4.2, como se puede apreciar en la ilustración 42.

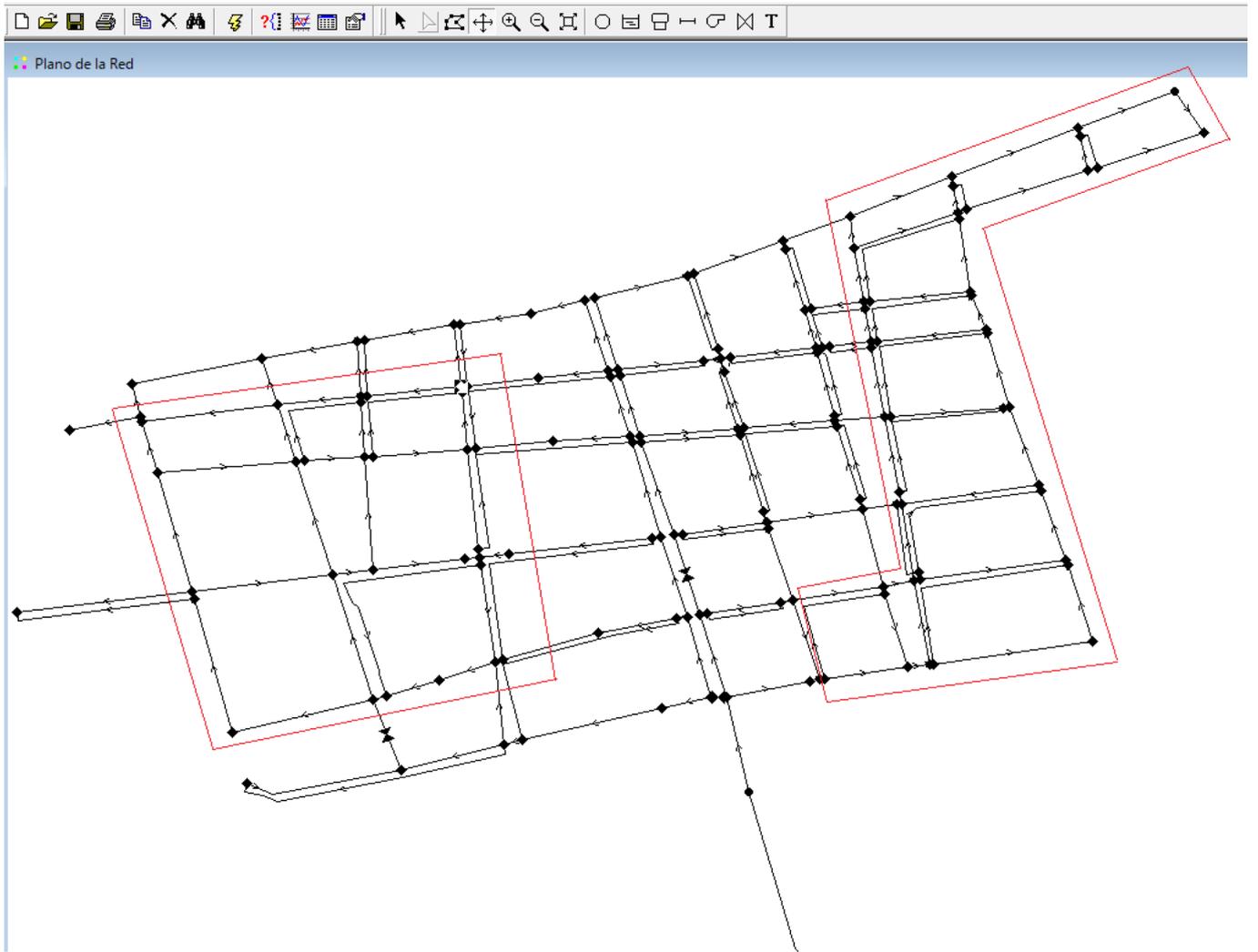


Ilustración 42: Selección de la sectorización para el sub-circuito 4.3 y el sub-circuito 4.2

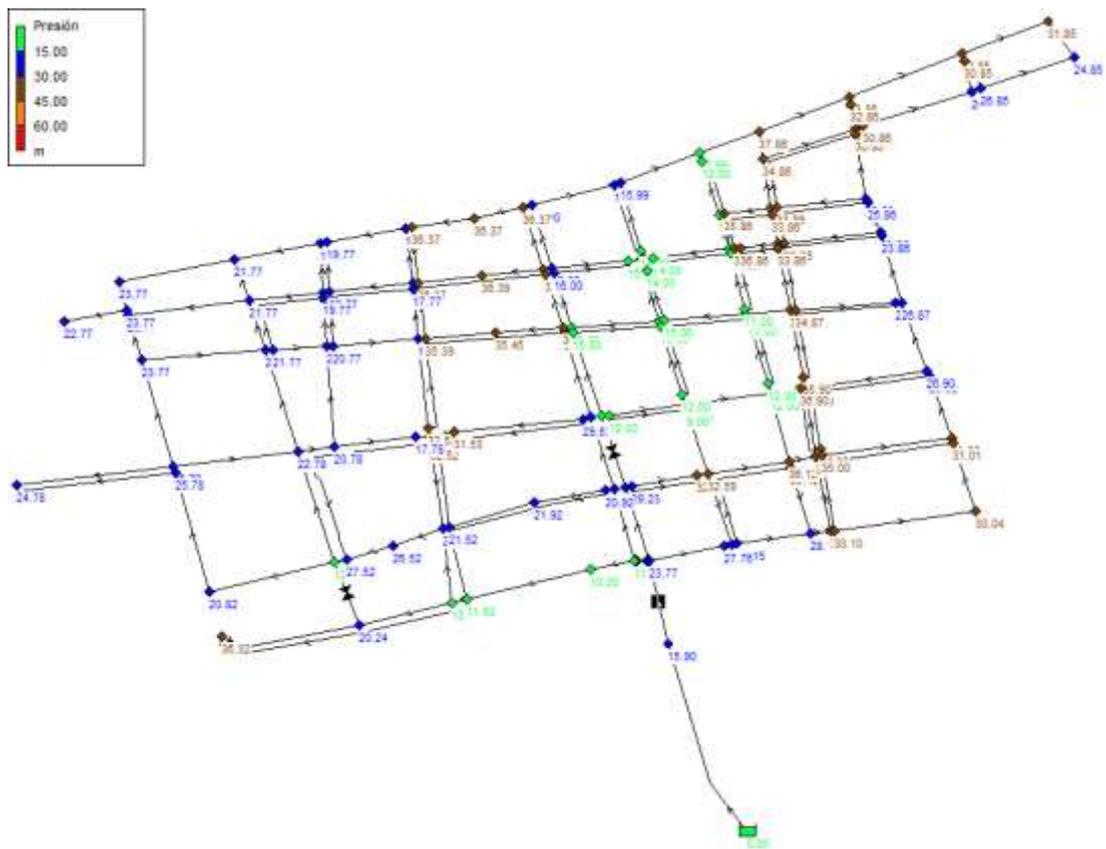


Ilustración 43: Selección de sub circuito 4.3 (b) para micro sectorización

La estrategia utilizada permitió seccionar el modelo con el objetivo de reducir más las presiones.

El programa permite realizar estas simulaciones en las propiedades de las tuberías, esto quiere decir, cerrar el flujo de agua en una región; y que el accionar de las tuberías funcionen como válvulas de compuerta ya sean estas abiertas o cerradas.

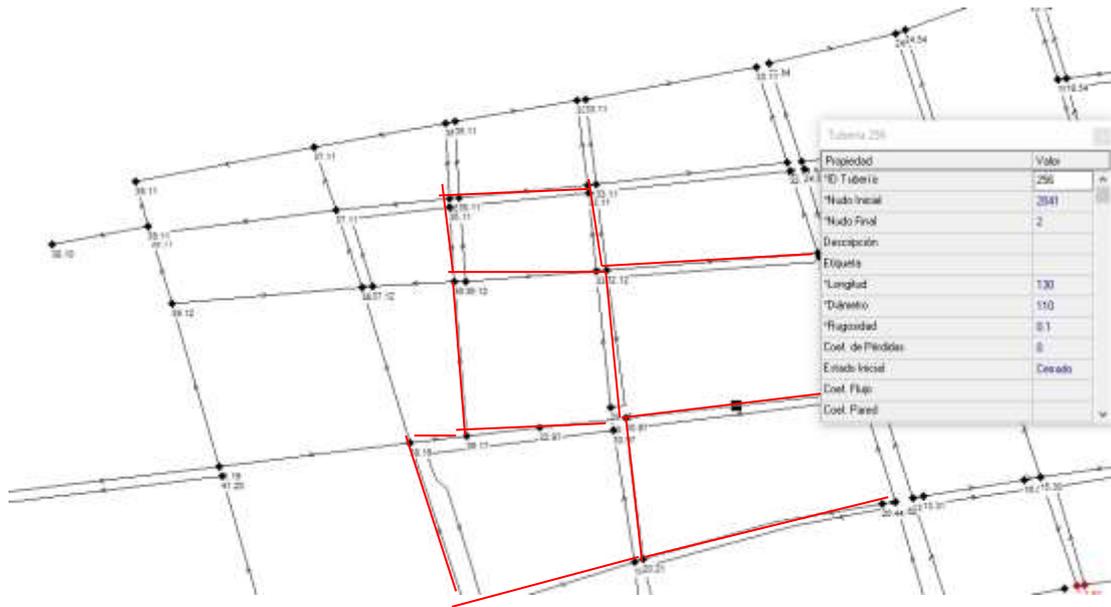


Ilustración 44: Sectorización en el modelo para regular presiones de manera local en sub circuito 4.3

Este procedimiento se realiza en los sectores donde la distribución de caudales sea favorable para abrir o cerrar el paso del fluido.

Para el análisis de las presiones, se realiza la siguiente configuración con la ayuda de una hoja electrónica.

Cálculo de Kv teórico para la válvula

El objetivo de este análisis es para conocer el valor de Kv, el cual se conoce como el coeficiente de caudal o factor de flujo. Este se convertirá en el factor requerido y así poder comparar con el Ko de las válvulas reductoras de presión en base a sus diámetros.

Para el cálculo de Kv, se utiliza la siguiente igualdad:

$$K_v(\theta) = \frac{Q_{\text{circulante}}}{\sqrt{\Delta p/s}}$$

Ecuación 7: Cálculo de Kv teórico de la válvula

Donde:

Q es el caudal circulante, s representa la densidad relativa al agua la cual tiene un valor de 1 y la variable de Δp es la pérdida de carga.

En cuanto a las unidades, y basándose en las unidades que trabajan los catálogos de los proveedores, los valores de Kv se representan en L/s / 1 bar de presión, siendo 1 bar igual 1 kg/cm².

Para este trabajo, se utilizó el catálogo de productos de válvulas de la empresa Singer Valve, de los cuales, en su segmento de válvulas reguladoras de presión, se centró la atención en los modelos tipo globo:

- a. 106-PG/S106-PG: se conoce como modelo de paso total cuya característica es que el diámetro interno de la válvula será el mismo diámetro de la brida
- b. 206-PG/S206-PG. Se conoce como modelo de paso reducido cuya característica es que el diámetro interno de la válvula es un diámetro inferior al de la brida, por ende, regulará más que la anterior.

En las siguientes tablas se realizaron comparaciones con los 2 modelos disponibles en el catálogo del fabricante, para los diferentes tipos diámetros.

3.6.3.1 Selección de válvula en simulación de caudal máximo horario

Para la simulación con caudal máximo horario, el modelo proporciona la siguiente información.

3.6.3.1.1 Válvula de regulación de presión en el ingreso a la red principal

Pre-diseño Max horario	
Descripción	Aguas abajo
Nudo	2006
Cota (m)	311
Presión (mca)	21.79
Presión (kgf/cm ²) (bar)	2.179
Q circulante (lts/s)	9.9
Q circulante (m ³ /h)	35.64
Diámetro Tubería (mm)	160
Kv	30.99
Velocidad (m/s)	0.49

Tabla 6: Calculo de Kv teórico en caudal máximo horario para ingreso en red principal

Con esta información, se procede a realizar el cálculo de K_o para los dos modelos de válvulas en relación de sus diámetros. Con la finalidad de conocer cuál de ellos será el indicado a utilizar en la simulación de caudal máximo horario.

Singer 106-PG/S106-PG					
Dv (mm)	K_o	A(m ²)	$Q_{m\acute{a}x}$ (l/s)	V_{max} (m/s)	K_v/K_o
150	110	0.117	9.9	0.084	28%
100	47	0.078		0.120	66%
85	26	0.066		0.140	119%
65	19	0.051		0.194	163%

Tabla 7: Selección de válvula de pase total en caudal máximo horario para ingreso a la red principal.

Singer 206-PG/S106-PG					
Dv (mm)	K_o	A(m ²)	Q_{maxh} (l/s)	V_{max} (m/s)	K_v/K_o
150	60	0.117	9.9	0.084	52%
100	36	0.078		0.126	86%
80	14	0.066		0.157	221%

Tabla 8: Selección de válvula de pase reducido en caudal máximo horario para ingreso a la red principal.

Según la hidráulica de las válvulas reductoras de presión, se sugiere escoger aquellas que la relación de K_v/K_o se encuentre en un rango entre el 10% y 85% para evitar posibles complicaciones futuras, y la más importante, que no vaya a presentar ningún tipo de cavitación. Adicional, buscar que el grado de apertura se encuentre maniobrando entre 70° y 75° tal como lo recomienda el instituto tecnológico del agua de la Universidad Politécnica de Valencia en el curso de válvulas en los sistemas de distribución de agua (García & García, 2018). Estos datos los

comprobaremos en los siguientes pasos.

Prediseño Max horario		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Nudo	2031	2002
Cota (m)	291	310
Presion (mca)	10	17.29
Presion (kgf/cm2) (bar)	1	1.729
Q circulante (lts/s)	3.85	
Q circulante (m3/h)	13.86	
Diametro Tuberia (mm)	63	
Kv	4.51	
Velocidad (m/s)	1.24	

Tabla 9: Calculo de Kv teórico en caudal máximo horario para subcircuito 4.3

3.6.3.1.2 Válvula de regulacion de presion en el ingreso al sub-circuito 4.3

Singer 106-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m2)	Qmaxh(l/s)	Vmax(m/s)	Kv/Ko
150	110	0.117	3.85	0.012	4%
100	47	0.078		0.049	10%
85	26	0.066		0.021	17%
65	19	0.051		0.075	24%

Tabla 10: Selección de válvula de pase total en caudal máximo horario para subcircuito 4.3

Singer 206-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m2)	Qmaxh(l/s)	Vmax(m/s)	Kv/Ko
150	60	0.117	3.85	0.033	8%
100	36	0.078		0.049	13%
80	14	0.066		0.061	32%

Tabla 11: Selección de válvula de pase reducido en caudal máximo horario para subcircuito 4.3

3.6.3.1.3 Válvula de regulación de presión en el ingreso al sub-circuito 4.2

Prediseño Max horario		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Nudo	2043	2025
Cota (m)	290	300
Presión (mca)	10	16.45
Presión (kgf/cm ²) (bar)	1	1.645
Q circulante (lts/s)	3.44	
Q circulante (m ³ /h)	12.38	
Diametro Tubería (mm)	63	
Kv	4.28	
Velocidad (m/s)	1.10	

Tabla 12: Cálculo de Kv teórico en caudal máximo horario para subcircuito 4.2

Singer 106-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m ²)	Qmaxh(l/s)	Vmax(m/s)	Kv/Ko
150	110	0.117	3.44	0.029	4%
100	47	0.078		0.044	9%
85	26	0.066		0.052	16%
65	19	0.051		0.067	23%

Tabla 13: Selección de válvula de pase total en caudal máximo horario para subcircuito 4.2

Singer 206-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m ²)	Qmaxh(l/s)	Vmax(m/s)	Kv/Ko
150	60	0.117	3.44	0.029	7%
100	36	0.078		0.044	12%
80	14	0.066		0.055	31%

Tabla 14: Selección de válvula de pase reducido en caudal máximo horario para subcircuito 4.2

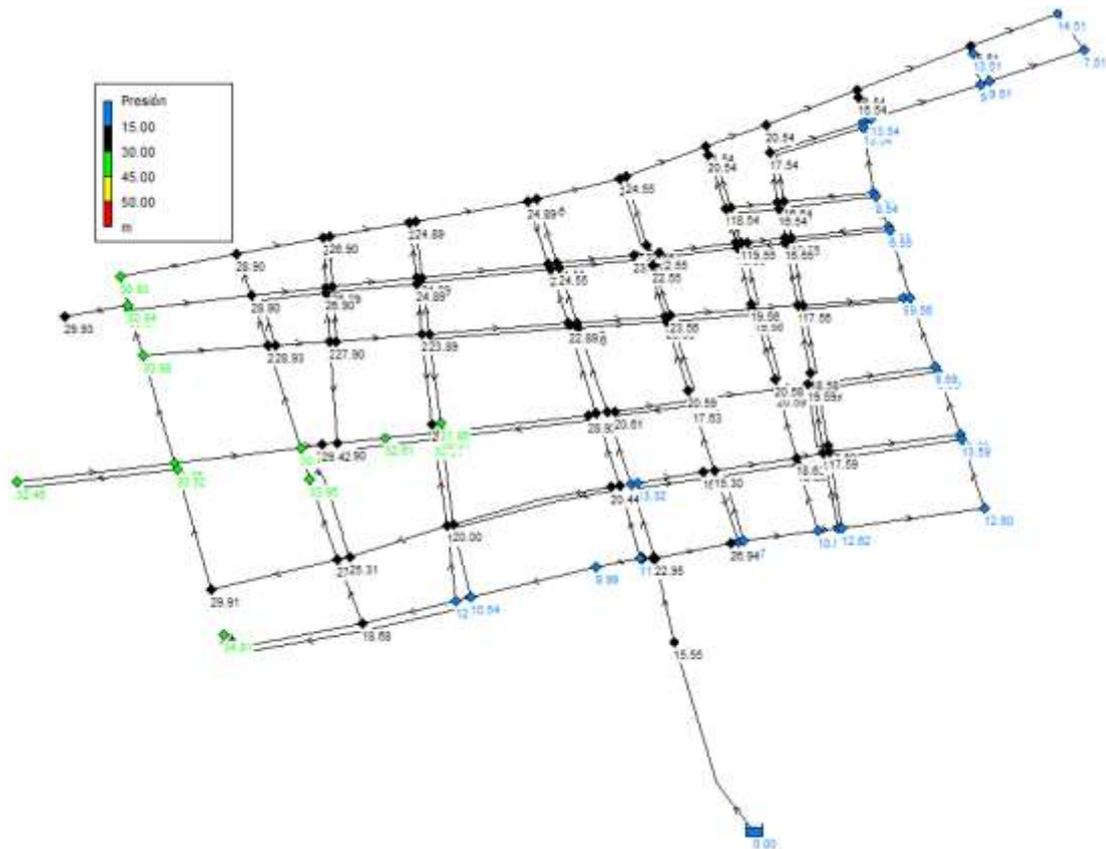


Ilustración 45: Revisión de nuevas presiones

Una vez reconocido el punto de colocación de la válvula reductora de presión, colocamos la información requerida para su modelación y reconocimiento de las presiones y su reducción.

Se puede constatar que, al ingresar el diámetro de la válvula, ya se coloca con el mismo diámetro que se utilizó en el caudal máximo horario, ya que la misma válvula funcionaria para ambas condiciones.

Siguiendo el mismo procedimiento que cuando se pre-diseñó con caudal máximo horario, constatamos que, en efecto, ha existido una reducción de las presiones en un orden del 15%, sin embargo, esto no satisface las presiones objetivo que planteamos al inicio.

Realizando un análisis objetivo, se sugiere que este modelamiento no se deba realizar una micro sectorización como se hizo con el otro modelo, ya que, si bien es cierto, las presiones en este uso horario son superiores, no tendría sentido reducirlo ya que la válvula reductora de presión que se está proponiendo trabaje de manera autónoma, independiente del horario que trabaje. Adicional a esto, el sistema de abastecimiento

que actualmente tiene la ciudad presenta intermitencia; por lo tanto, manejaremos la condición inicial con el caudal máximo horario.

3.6.3.2 Selección de válvula en simulación de caudal mínimo nocturno

3.6.3.2.1 Válvula de regulación de presión en el ingreso a la red principal

Para el pre-diseño de la válvula, se realiza la comprobación en la simulación de caudal mínimo nocturno:

Pre-diseño caudal mínimo nocturno	
Descripción	Aguas abajo
Nudo	2006
Cota (m)	311
Presión (mca)	22.96
Presión (kgf/cm ²) (bar)	2.296
Q circulante (lts/s)	1.39
Q circulante (m ³ /h)	5.004
Diámetro Tubería (mm)	160
Kv	4.395
Velocidad (m/s)	0.069

Tabla 15: Cálculo de Kv teórico en caudal mínimo nocturno para ingreso en red principal

Similar al procedimiento anterior, se procede con el cálculo de velocidad y relaciones de Kv y Ko en base al diámetro que consta en los catálogos del fabricante.

Singer 106-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m ²)	Qmin(l/s)	Vmin(m/s)	Kv/Ko
150	110	0.117	1.39	0.011	4%
100	47	0.078		0.018	9%
85	26	0.066		0.020	17%
65	19	0.051		0.027	23%

Tabla 16: Selección de válvula de pase total en caudal mínimo nocturno para ingreso en red principal.

Singer 206-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m2)	Qmin(l/s)	Vmin(m/s)	Kv/Ko
150	60	0.117	1.39	0.012	7%
100	36	0.078		0.017	12%
80	14	0.066		0.022	31%

Tabla 17: Selección de válvula de pase reducido en caudal mínimo nocturno para ingreso en red principal.

3.6.3.2.2 Válvula de regulación en el ingreso al sub-circuito 4.3

Prediseño Mínimo nocturno		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Nudo	2031	2002
Cota (m)	291	310
Presion (mca)	12	20.87
Presion (kgf/cm2) (bar)	1.2	2.087
Q circulante (lts/s)	0.62	
Q circulante (m3/h)	2.232	
Diametro Tuberia (mm)	63	
Kv	0.65	
Velocidad (m/s)	0.19	

Tabla 18: Calculo de Kv teórico en caudal mínimo nocturno para subcircuito 4.3

Singer 106-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m2)	Qmin(l/s)	Vmin(m/s)	Kv/Ko
150	110	0.117	0.62	0.005	1%
100	47	0.078		0.049	1%
85	26	0.066		0.009	3%
65	19	0.051		0.012	3%

Tabla 19: Selección de válvula de pase total en caudal mínimo nocturno para ingreso al subcircuito 4.3

Singer 206-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m2)	Qmin(l/s)	Vmin(m/s)	Kv/Ko
150	60	0.117	0.62	0.005	1%
100	36	0.078		0.008	2%
80	14	0.066		0.010	5%

Tabla 20: Selección de válvula de pase reducido en caudal mínimo nocturno para ingreso al subcircuito 4.3

3.6.3.2.3 Válvula de regulación en el ingreso al sub-circuito 4.2

Prediseño Mínimo nocturno		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Nudo	2043	2025
Cota (m)	311	300
Presion (mca)	12	33.26
Presion (kgf/cm ²) (bar)	1.2	3.326
Q circulante (lts/s)	0.58	
Q circulante (m ³ /h)	2.088	
Diametro Tuberia (mm)	63	
Kv	0.40	
Velocidad (m/s)	0.19	

Tabla 21: Calculo de Kv teórico en caudal mínimo nocturno para subcircuito 4.2

Singer 106-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m ²)	Qmin(l/s)	Vmin(m/s)	Kv/Ko
150	110	0.117	0.58	0.005	0.36%
100	47	0.078		0.007	1%
85	26	0.066		0.009	2%
65	19	0.051		0.012	2%

Tabla 22: Selección de válvula de pase total en caudal mínimo nocturno para ingreso al subcircuito 4.2

Singer 206-PG/S106-PG					
Dv (mm)	Ko	A(m2)	Qmin(l/s)	Vmin(m/s)	Kv/Ko
150	60	0.117	0.58	0.005	1%
100	36	0.078		0.008	2%
80	14	0.066		0.010	5%

Tabla 23: Selección de válvula de pase reducido en caudal mínimo nocturno para ingreso al subcircuito 4.2

Realizadas todas las simulaciones con los caudales de diseño, se proyecta la tabla 25 para representar las selecciones de las válvulas reductoras de presión con sus respectivos caudales.

Sector	Modelo de válvula	Diámetro (mm)
Ingreso a la red principal	Singer 206-PG/S106-PG	100
Micro sectorización de Sub-circuito 4.3	Singer 106-PG/S106-PG	65
Micro sectorización de Sub-circuito 4.2	Singer 106-PG/S106-PG	65

Tabla 24: Selección de modelos de válvula para su respectivo sector.

Estas selecciones se basan en los parámetros que han sido mencionado en el marco teórico de este trabajo.

3.6.4 Análisis por cavitación

El trabajo de las válvulas reductoras de presión radica en la disminución de presiones o en su efecto, disipar grandes cantidades de energía. Esto en base a la disminución de la sección efectiva de paso, conocido como el efecto Venturi.

Este efecto provocará que la presión disminuya tanto que se puede acercar a la presión de vapor y es ahí donde se presentará la cavitación.

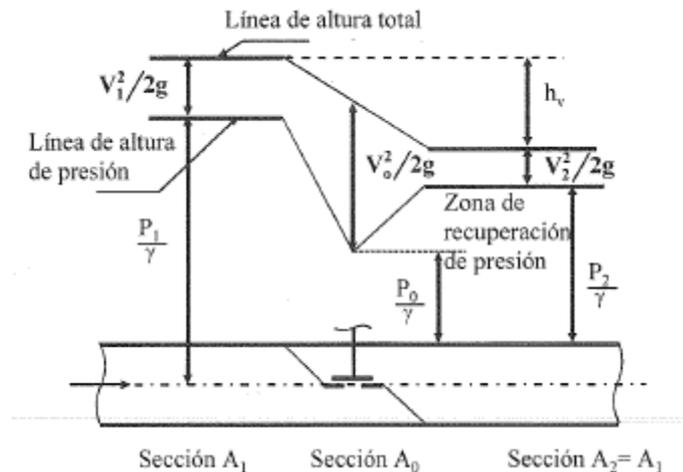


Ilustración 46: Línea de presión para dos puntos

Para ello, la bibliografía de la hidráulica permite realizar comprobaciones para evitar este efecto.

En base a gráficos y datos que se han obtenido en el modelamiento, se puede seguir al siguiente procedimiento.

1. Determinar el grado de apertura de la válvula y el valor del coeficiente σ , una vez conociendo los valores de las presiones aguas arriba y aguas abajo, así como la presión de vapor p_v que para los 20 °C será de 0.238 mca
2. Una vez conocido el valor de σ del sistema se podrá calcular los valores límite de cavitación incipiente, crítica, daños incipientes y bloqueo.
3. Al final se realizará una comparación del valor σ del sistema con los valores que la bibliografía solicita.

Para conocer las zonas libres de cavitación, se hace uso del siguiente gráfico, con la selección de la valvula: Singer 206-PG/S206-PG de 100 mm en el ingreso de la red

principal y las dos Singer 106-PG/S106-PG de 65 mm en la micro sectorización de los sub-circuitos 4.3 y la micro sectorización del sub-circuito 4.2

Con la ayuda de la hoja electrónica para que la válvula sea evaluada con las siguientes ecuaciones se tiene:

$$\sigma_1 = \frac{P_1 - P_v}{\Delta p}$$

$$\sigma_2 = \frac{P_2 - P_v}{\Delta p}$$

- P1: Presión absoluta aguas arriba
- P2: Presión absoluta aguas abajo
- Pv: Presión de vapor del agua. Para 20°C es 0.238 mca
- Δp: Caída de presión en la válvula, relacionada con el caudal y grado de apertura.

En el siguiente cuadro se procede a realizar el cálculo para verificar si existe o no, cavitación en las simulaciones de los caudales de diseño.

3.6.4.1 Análisis de cavitación en modelación de caudal máximo horario

Simulación de válvula 206-PG/S206-PG		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Presión (kg/cm2)	2.179	2.281
Pmax (kg/cm2)	3.246	
Pconsigna (kg/cm2)	1	
ΔP	2.246	
Pv (kg/cm2)	0.0238	
σ1	1.00	
σ2	0.95	

Tabla 25: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso a la red principal.

Simulación de válvula 106-PG/S106-PG		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Presión (kg/cm ²)	1.2	1.7
Pmax (kg/cm ²)	3.246	
Pconsigna (kg/cm ²)	1.2	
ΔP	0.529	
Pv (kg/cm ²)	0.0238	
σ_1	3.22	
σ_2	2.22	

Tabla 26: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso en la micro sectorización del sub-circuito 4.3

Simulación de válvula 106-PG/S106-PG		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Presión (kg/cm ²)	1.2	1.6
Pmax (kg/cm ²)	3.246	
Pconsigna (kg/cm ²)	1.2	
ΔP	0.445	
Pv (kg/cm ²)	0.0238	
σ_1	3.6	
σ_2	2.6	

Tabla 27: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso en la micro sectorización del sub-circuito 4.2

3.6.4.2 Análisis de cavitación en modelación de caudal mínimo nocturno

Simulación de válvula 206-PG/S206-PG		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Presión (kg/cm ²)	2.2	2.281
Pmax (kg/cm ²)	3.246	
Pconsigna (kg/cm ²)	1	
ΔP	0.081	
Pv (kg/cm ²)	0.0238	
σ_1	1.00	
σ_2	0.98	

Tabla 28: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso a la red principal.

Simulación de válvula 106-PG/S106-PG		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Presión (kg/cm ²)	1.20	2.08
Pmax (kg/cm ²)	3.246	
Pconsigna (kg/cm ²)	1.2	
ΔP	0.88	
Pv (kg/cm ²)	0.0238	
σ_1	1.54	
σ_2	1.08	

Tabla 29: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso en la micro sectorización del sub-circuito 4.3

Simulación de válvula 106-PG/S106-PG		
Descripción	Aguas abajo	Aguas arriba
Presión (kg/cm ²)	1.20	3.32
Pmax (kg/cm ²)	3.246	
Pconsigna (kg/cm ²)	1.2	
ΔP	2.126	
Pv (kg/cm ²)	0.0238	
σ_1	1.55	
σ_2	0.55	

Tabla 30: Cálculo de sigma para comprobar cavitación en la válvula de ingreso en la micro sectorización del sub-circuito 4.2

Simplificando los datos, en la tabla 32 se expresa los modelos de válvulas, en los respectivos escenarios de la modelación de los caudales de diseño, además de determinar si presentan o no cavitación y el tipo.

Sector	Modelo	Diámetro	Presenta cavitación		Tipo de cavitación
			Max horario	Min nocturno	
Ingreso a la red principal	206-PG/S206-PG	100	No	No	Ninguna
Sectorización 4.3	106-PG/S106-PG	65	No	No	Ninguna
Sectorización 4.2	106-PG/S106-PG	65	No	Si	Moderada

Tabla 31: Válvulas reguladoras de presión en el modelo hidráulico

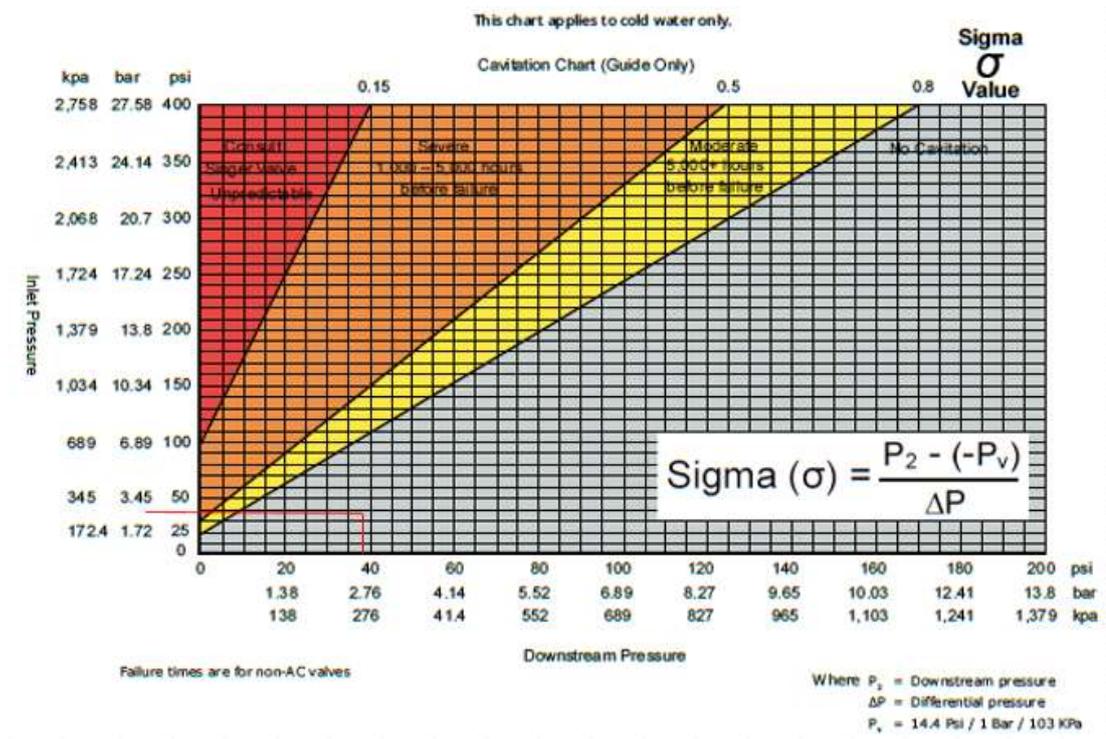


Ilustración 47: Grafico de presiones aguas arriba y aguas abajo de la red

Fuente: Singer Valve catalogue

Realizada la comprobación por cavitación, se determina que la única válvula que presentará cavitación en la simulación de caudal mínimo nocturno es aquella que se encuentra en la sectorización del sub-circuito 4.2. La cavitación que presenta es de carácter moderado, lo que indica, según el fabricante, que esta podría operar hasta las 5000 horas antes de fallar.

Cabe recalcar que los elementos que componen a la válvula pueden ser reemplazados una vez que las horas de trabajo de la válvula cumpla su vida útil.

3.7 Análisis de resultados

Una vez seleccionada las válvulas, se realiza una simulación en el modelo para conocer la reducción en las presiones. Esta ejecución se realizará para condiciones del caudal promedio suministrado.

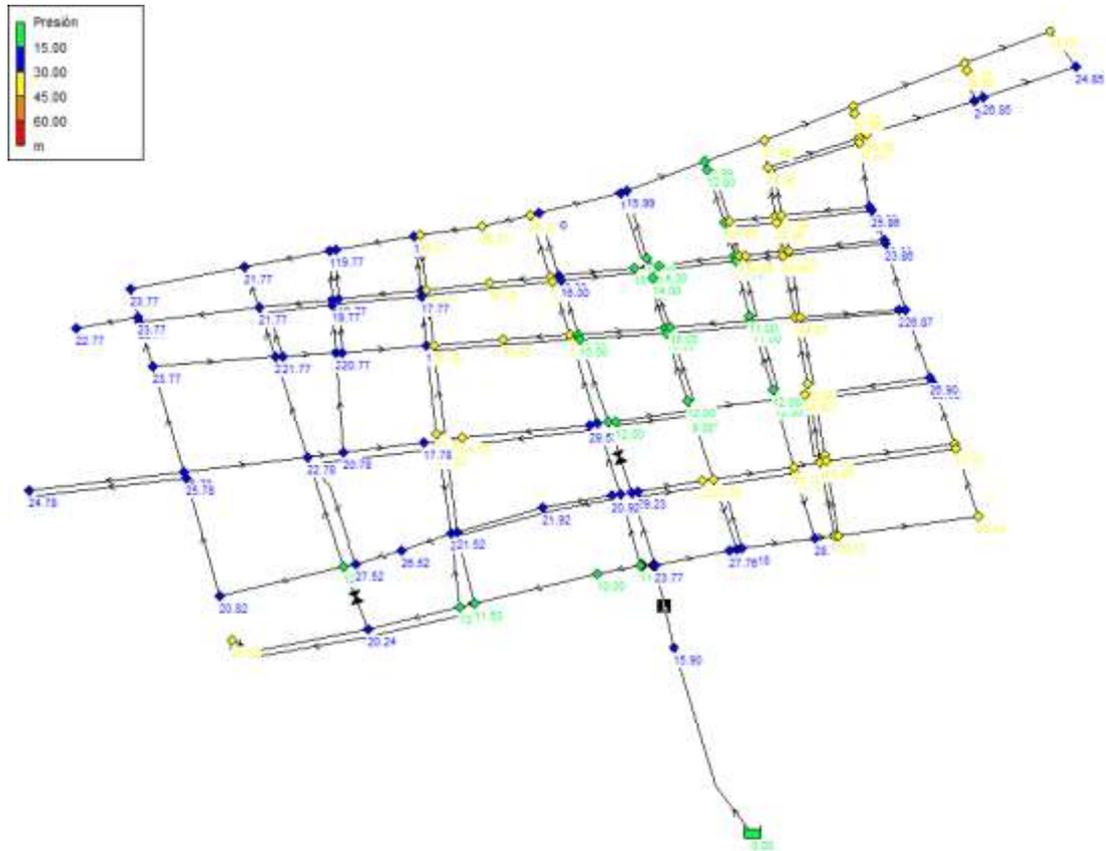


Ilustración 48: Simulación en caudal suministrado promedio

De esta manera, se cumple con uno de los objetivos en cuanto fueron planteados para la reducción de presiones en la red de los sub circuitos 4.2 y 4.3 del cantón Jipijapa. Para culminar, se presenta los valores respecto a la simulación de caudal suministrado a la red, para conocer el nuevo caudal de fuga simulado.

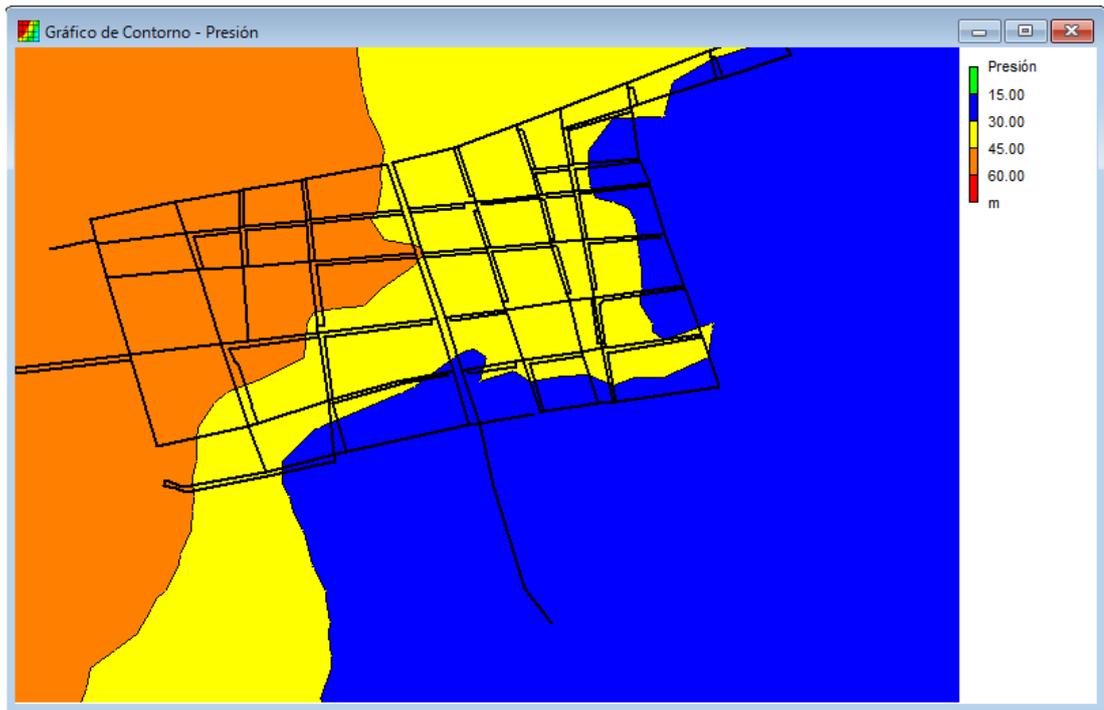


Ilustración 49: Modelación sin válvulas reguladoras de presión.

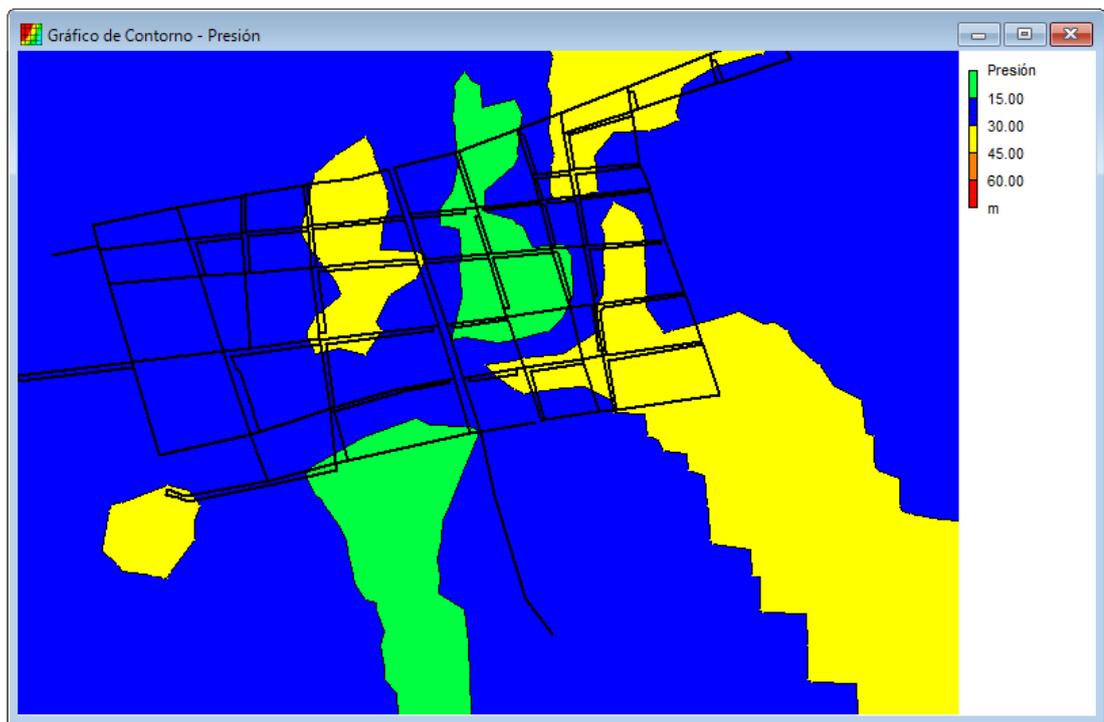


Ilustración 50: Modelación con válvulas reguladoras de presión

Caudal simulado	8.69 lts/s
Caudal de fuga	6.69 lts/s
Porcentaje de fuga	76%
Volumen de agua recuperado	578 m ³ /día = 17629 m ³ /mes
Reducción de presiones en sub-circuito 4.3	42%
Reducción de presiones en sub-circuito 4.2	66%

4 CAPITULO 4

CONCLUSIONES

Una vez seleccionadas las válvulas reductoras de presión se puede realizar las siguientes conclusiones:

- La construcción del modelo permitió conocer las presiones a ser reducidas. Este objetivo se cumplió con la colocación de válvulas reductoras de presión ubicadas de manera estratégica, además del uso de estrategias de micro sectorización en los sub-circuitos 4.3 y 4.2. Llegando a reducir las presiones del modelo original en un 45%
- El nuevo caudal circulante que ingresa a la red será de 8.69 lts/s
- El caudal de fuga estará en el orden de 6.69 lts/s, representando un 77% de fugas en relación al caudal suministrado
- Con la recuperación de volumen de agua de 578 m³/día, la empresa de agua potable tendrá la capacidad de suministrar ese caudal a los sectores que se encuentran desabastecidos.

RECOMENDACIONES

El presente trabajo cumplió la finalidad de reducir las presiones de los sub-circuitos 4.2 y 4.3, con el uso de válvulas reductoras de presión colocadas en el punto de ingreso a la red y en sectores que estratégicamente se postularon para colocar las dos reductoras. Sin embargo, este trabajo estuvo limitado hasta la selección del tipo de válvula y su función.

Por ello, se recomienda realizar un análisis con mayor minuciosidad en cuanto a los componentes que conforman la hidráulica de la válvula; es decir, los elementos como filtros, reductores, by pass, brida, etc.; ya que estos aportarán de manera sustancial para la reducción de la presión.

Este comentario tiene la finalidad de incentivar al ejercicio de una nueva modelación para conocer el nuevo cálculo aguas arriba y aguas abajo en el nuevo modelo, de esa manera permitirá asignar la pérdida de carga que la válvula contribuirá para la reducción de las presiones. Este cálculo radicará en las pérdidas totales, que las válvulas suministrarán en la red.

De ser el caso, y haciendo uso del software EPANET, este permitirá realizar la simulación mencionada en el apartado de coeficiente de pérdidas.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Escobar, A. M. (2009). *Criterios modernos de localización de válvulas en redes de distribución de agua potable* .
- García, J., & García, S. (2018). *La válvulas en los sistemas de distribución de agua* . Valencia.
- Mckenzie, R. (1999). *South African Night Flow Analysis*. South African Water Research Commission.
- Molina Arce, X. S. (2009). *Metodología para reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de AA.PP. del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil* . Guayaquil.
- Molina, X. (2018). *Metodología para la calibración preliminar de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos dependientes de la presión*.
- Rodriguez, H. (2021). *Propuesta de cálculo de balance hídrico de sistemas de abastecimiento de agua potable*. Guayaquil.
- Shamir, U., & Howard, C. (1977). "Engineering analysis of water distribution systems." *Journal of American Water Works Association*, AWWA, Vol. 69, No. 9, 510-514.
- Tullis, J. (1989). *Hidraulic of pipelines. Pumps, valves, cavitation, transients*. New York: Ed. John Wiley.
- Van Zyl, C., & Clayton, C. (2007). *The effect of pressure on leakage in water distribution systems.* *Proceedings of the ICE Water Management, Volumen 160, No. 2, 109*

ANEXOS

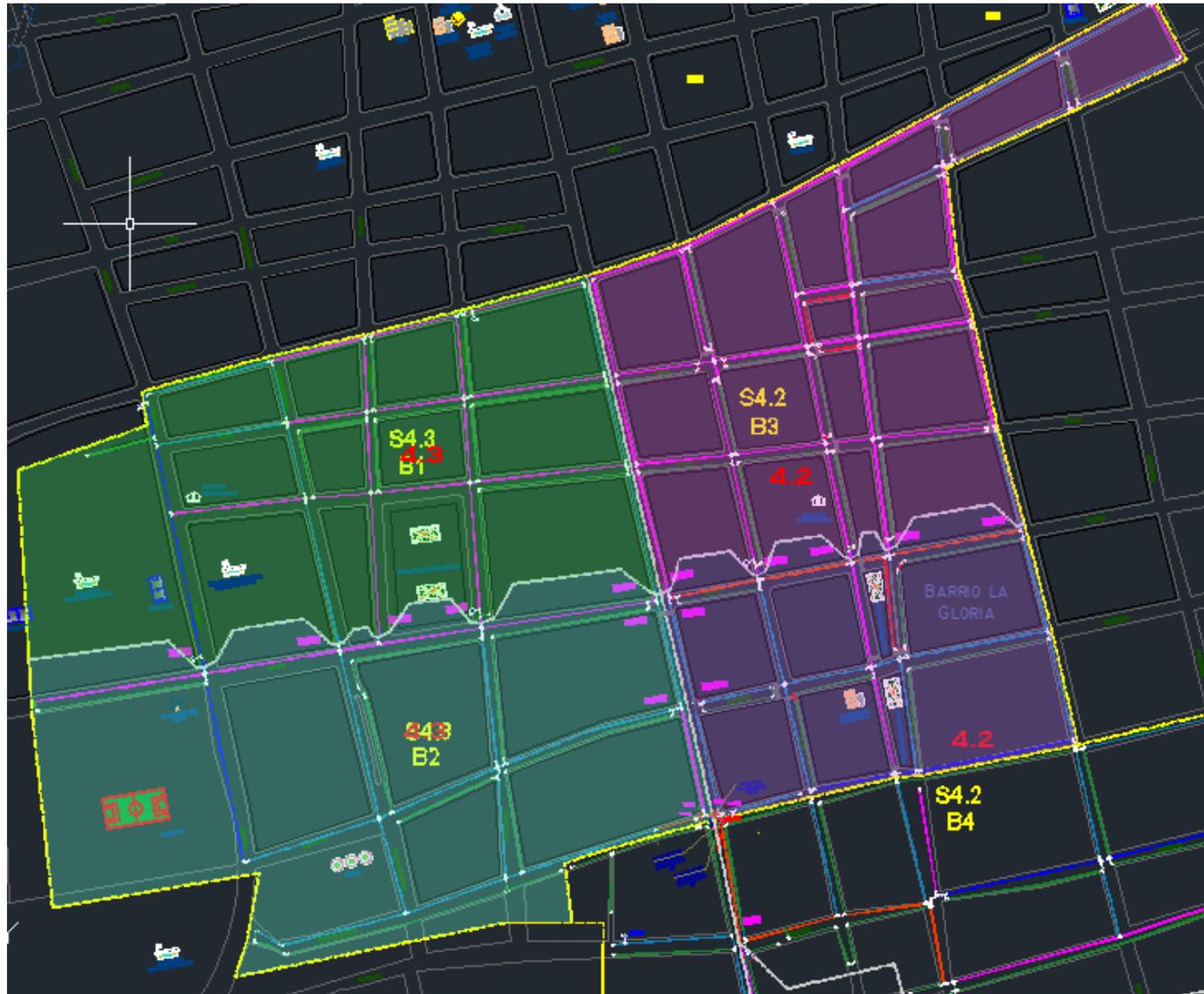


IMAGEN 1: Sub-circuitos 4.2 y 4.



IMAGEN 2: Ubicación de tanque en el sector el calvario.

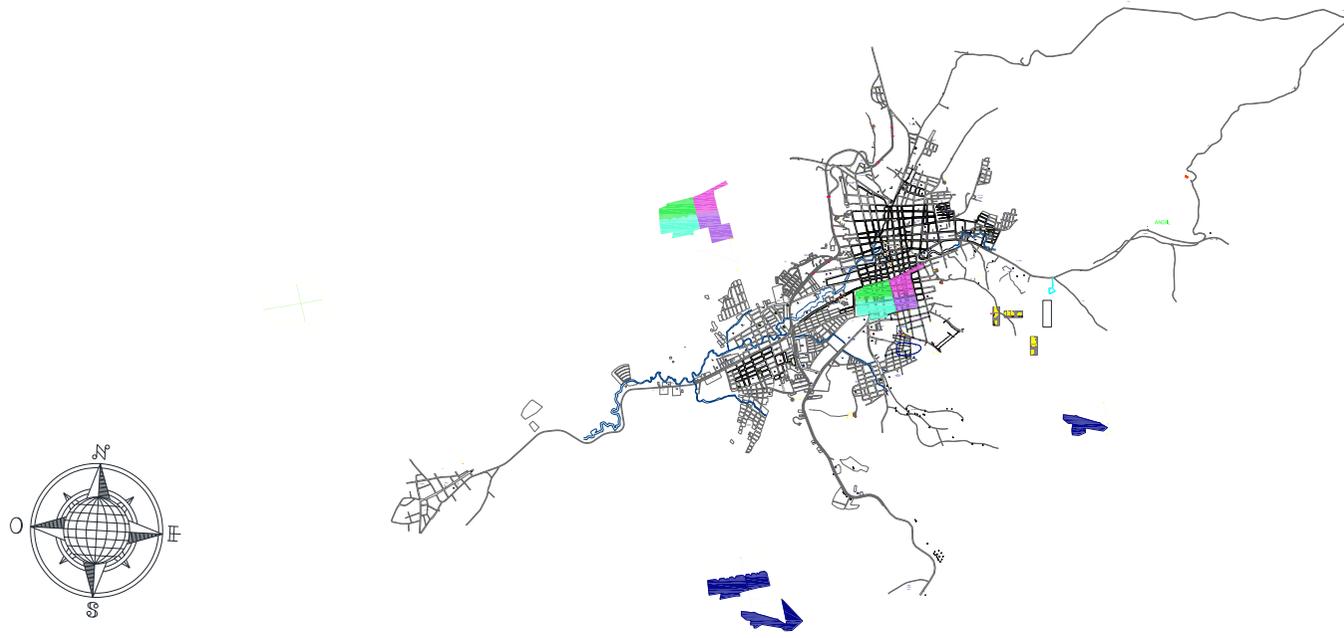


IMAGEN 3: Mapa de jipijapa



IMAGEN 4: Topografía del sector

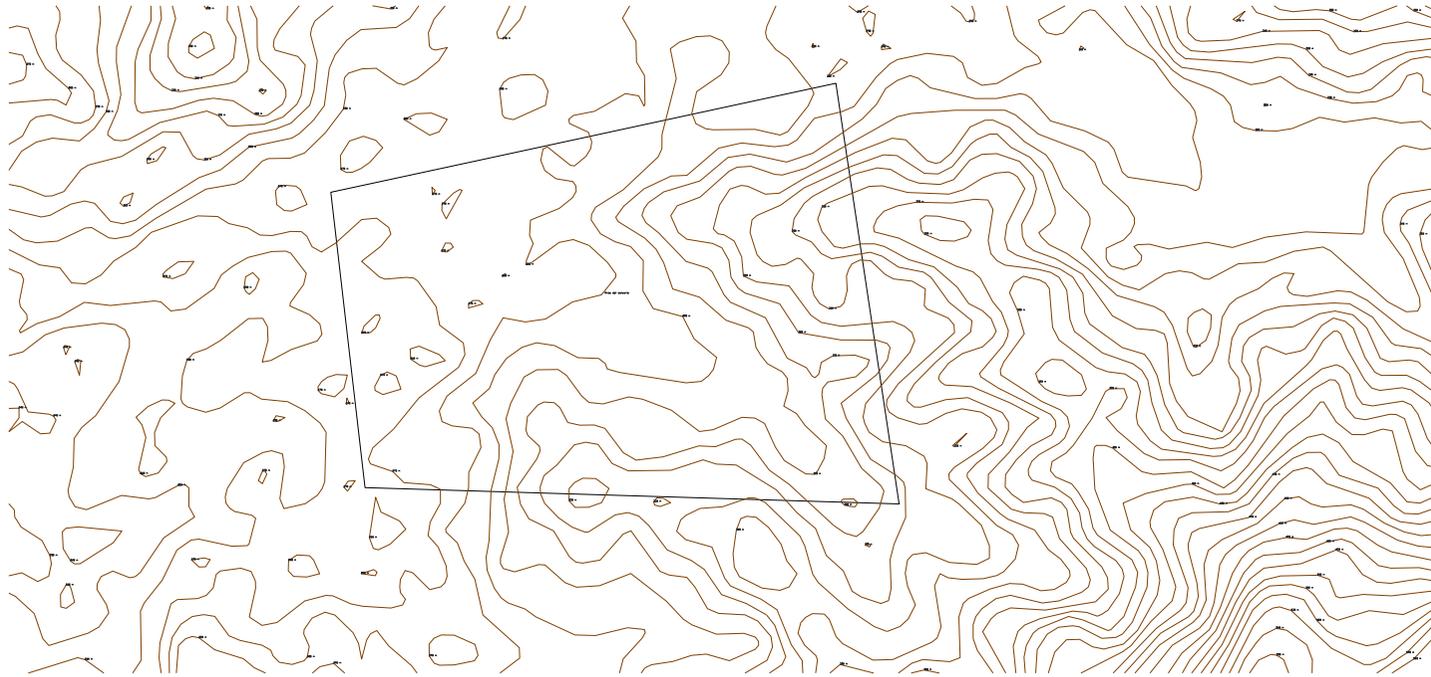


IMAGEN 5: Generación de curvas de nivel

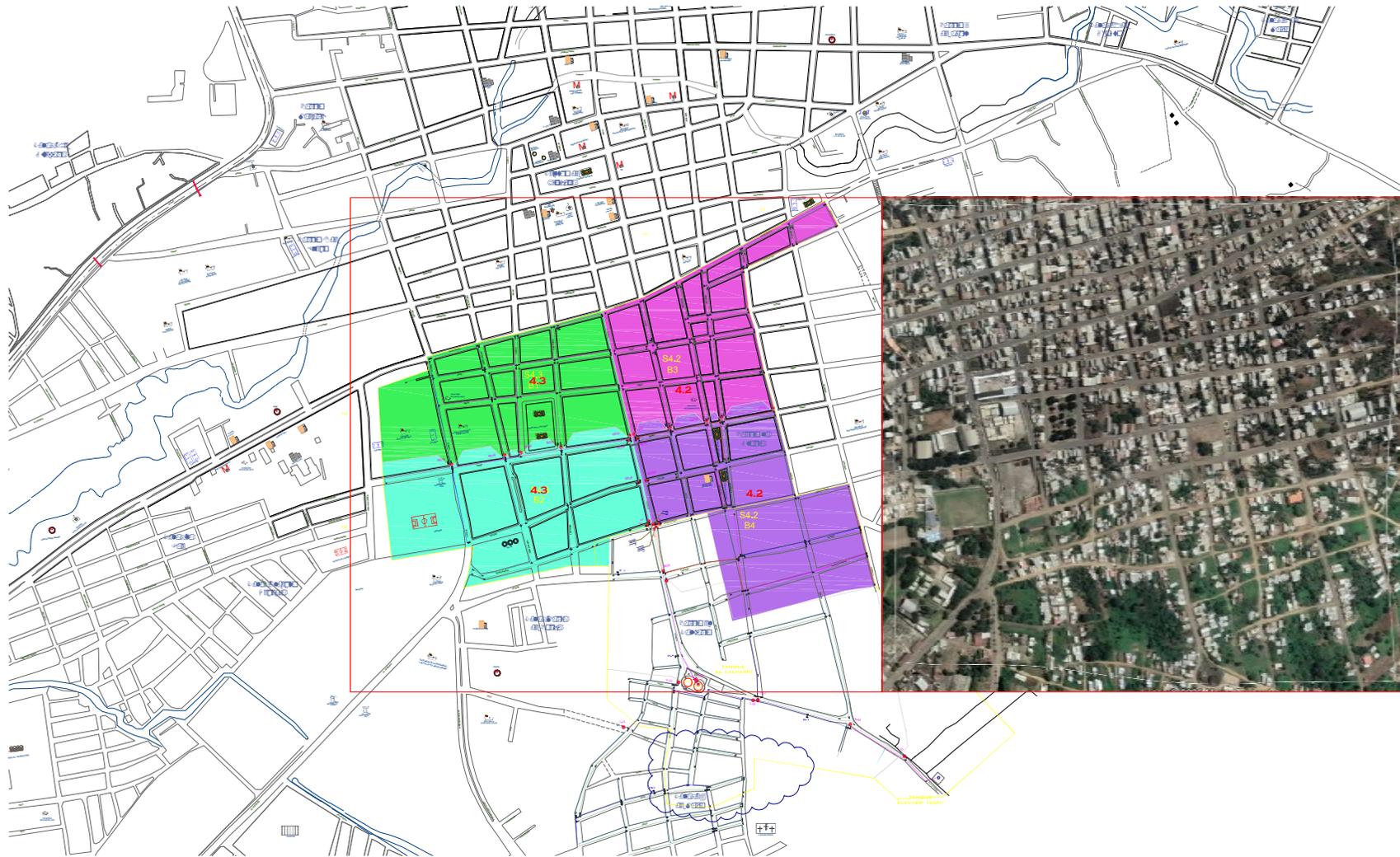


IMAGEN 6: Implantación del área de interés

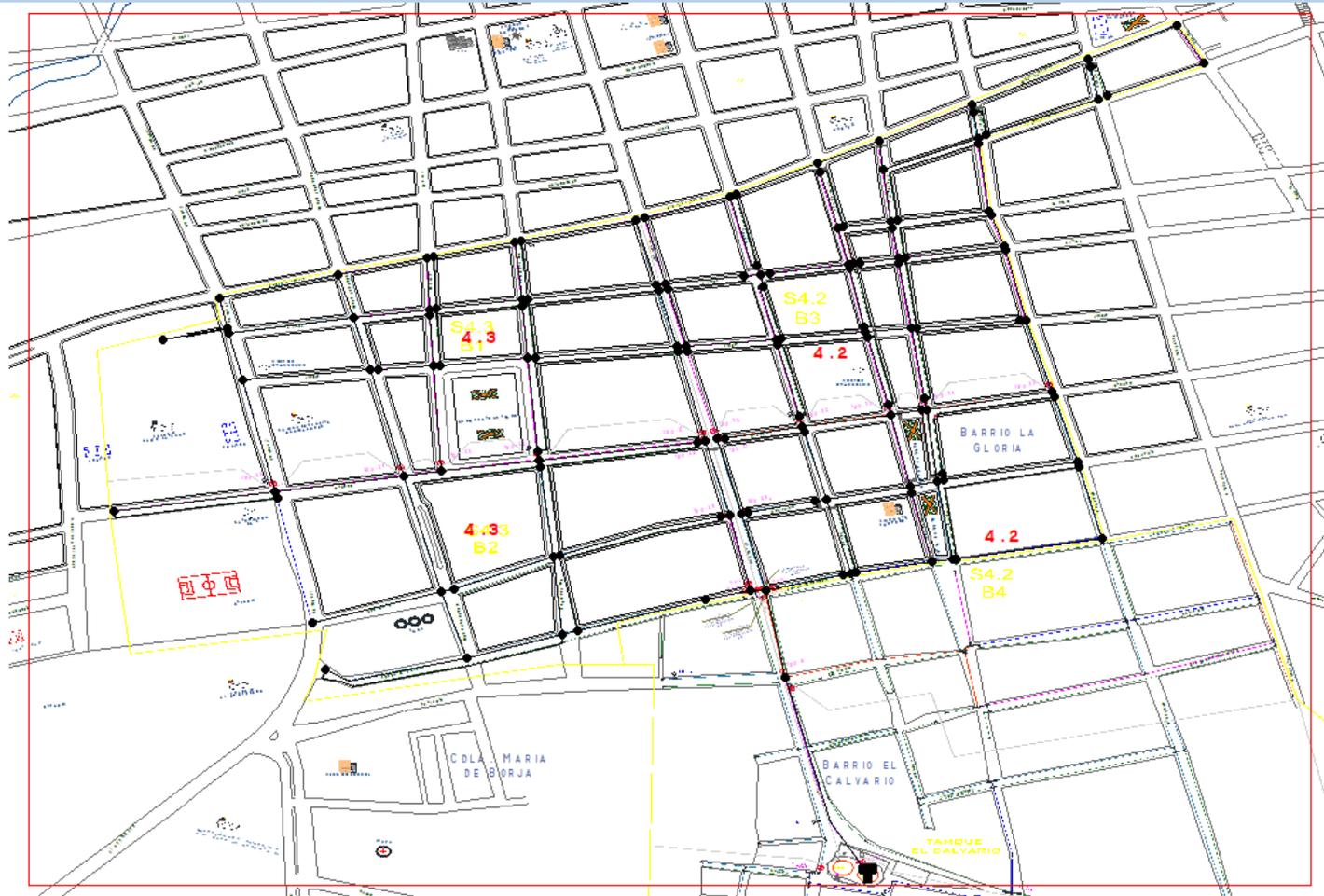


IMAGEN 7: Implantación de modelo hidráulico en EPANET

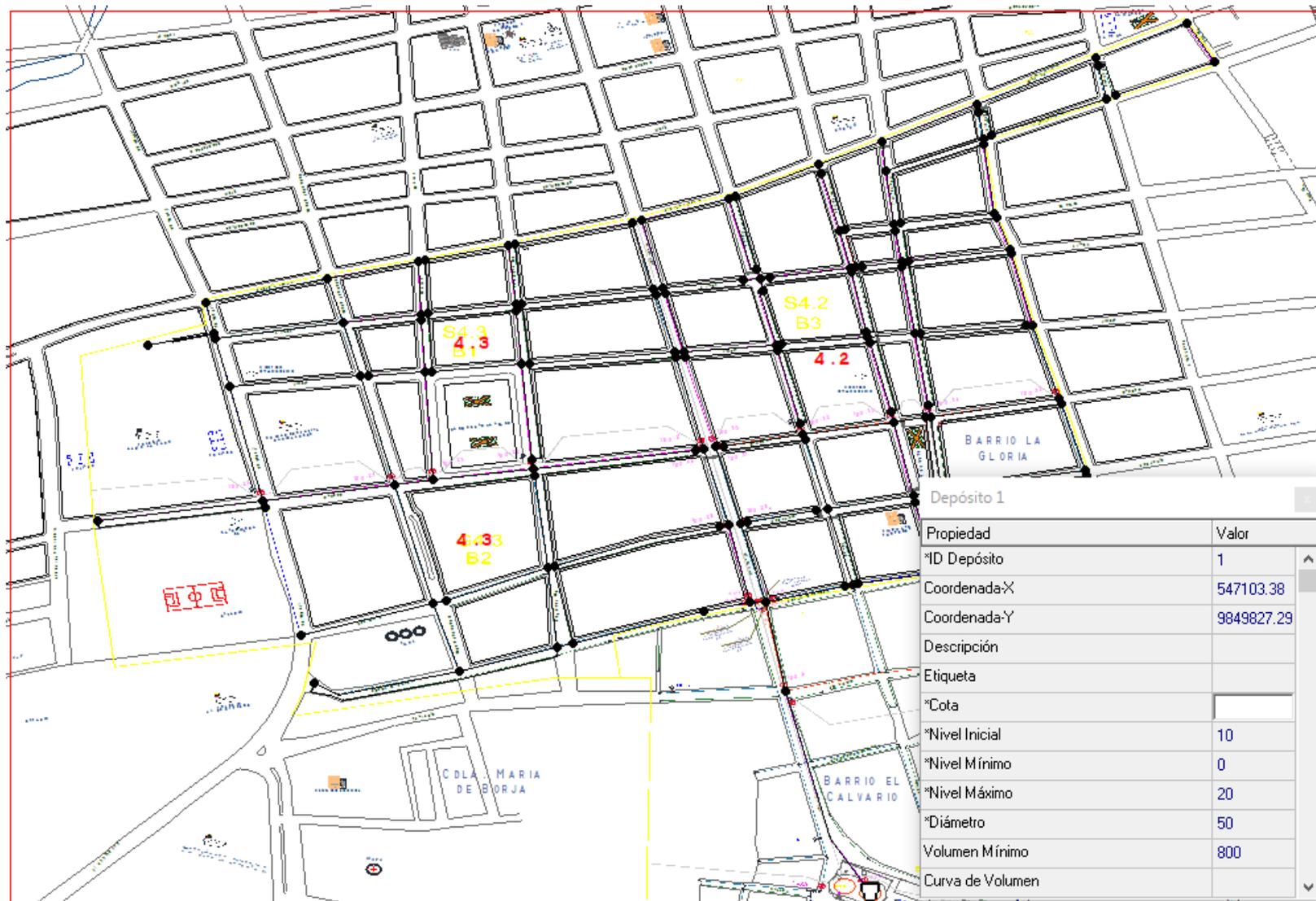


IMAGEN 8: Asignación de depósito a la red

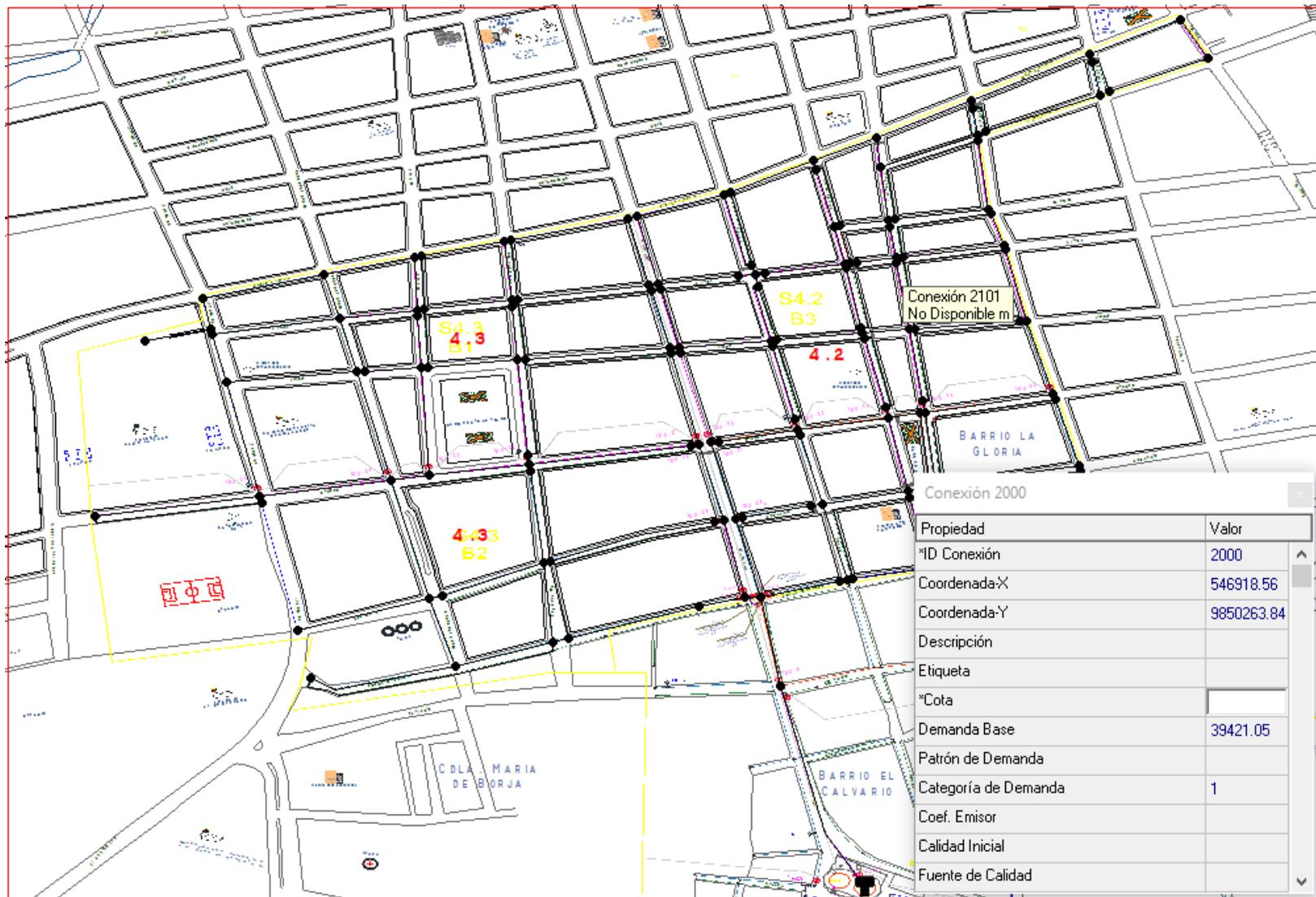


IMAGEN 9: Asignación de nudos en el modelo

ID Nudo	Cota m	Cota m	Cota m	Cota m	Cota m	Cota m	Cota m		
Conexión 2083	285	Conexión 2037	282	Conexión 2016	297	Conexión 2122	290	Conexión 2076	280
Conexión 2086	286	Conexión 2096	291	Conexión 2026	301	Conexión 2109	292	Conexión 2061	291
Conexión 2049	290	Conexión 2019	293	Conexión 2003	308	Conexión 2097	291	Conexión 2093	288
Conexión 2046	292	Conexión 2131	301	Conexión 2017	293	Conexión 2107	294	Conexión 2062	287
Conexión 2020	292	Conexión 2087	286	Conexión 2034	278	Conexión 2098	291	Embalse 1	334
Conexión 2079	281	Conexión 2080	283	Conexión 2009	304	Conexión 2100	294		
Conexión 2099	294	Conexión 2063	287	Conexión 2013	298	Conexión 2120	286		
Conexión 2060	291	Conexión 2075	279	Conexión 2006	311	Conexión 2092	288		
Conexión 2043	290	Conexión 2072	282	Conexión 2010	304	Conexión 2094	288		
Conexión 2118	285	Conexión 2052	292	Conexión 2024	300	Conexión 2090	287		
Conexión 2067	287	Conexión 2124	294	Conexión 2008	306	Conexión 2088	286		
Conexión 2058	293	Conexión 2042	292	Conexión 2022	296	Conexión 2116	285		
Conexión 2036	280	Conexión 2047	293	Conexión 2015	297	Conexión 2085	285		
Conexión 2035	277	Conexión 2119	286	Conexión 2014	298	Conexión 2114	283		
Conexión 2108	294	Conexión 2089	286	Conexión 2002	301	Conexión 2082	283		
Conexión 2056	301	Conexión 2023	296	Conexión 2001	285	Conexión 2084	285		
Conexión 2091	288	Conexión 2126	295	Conexión 2031	291	Conexión 2071	282		
Conexión 2135	293	Conexión 2129	303	Conexión 2032	282	Conexión 2081	283		
Conexión 2110	291	Conexión 2078	279	Conexión 2030	294	Conexión 2073	281		
Conexión 2133	297	Conexión 2112	281	Conexión 2029	301	Conexión 2033	277		
Conexión 2111	279	Conexión 2011	300	Conexión 2007	310	Conexión 2040	289		
Conexión 2095	291	Conexión 2113	283	Conexión 2054	301	Conexión 2039	289		
Conexión 2103	304	Conexión 2074	280	Conexión 2051	292	Conexión 2041	292		
Conexión 2123	290	Conexión 2018	293	Conexión 2057	293	Conexión 2028	300		
Conexión 2115	285	Conexión 2117	285	Conexión 2050	291	Conexión 2027	301		
Conexión 2068	287	Conexión 2066	287	Conexión 2102	304	Conexión 2004	310		
Conexión 2059	291	Conexión 2121	289	Conexión 2101	294	Conexión 2069	286		
Conexión 2021	292	Conexión 2070	285	Conexión 2104	302	Conexión 2064	287		
Conexión 2005	312	Conexión 2105	302	Conexión 2134	297	Conexión 2045	290		
Conexión 2038	289	Conexión 2053	301	Conexión 2106	294	Conexión 2065	287		
		Conexión 2012	298	Conexión 2127	297	Conexión 2048	290		
		Conexión 2055	301	Conexión 2130	301	Conexión 2000	318		
		Conexión 2128	296	Conexión 2132	297	Conexión 2044	290		
		Conexión 2025	300	Conexión 2125	295	Conexión 2077	279		

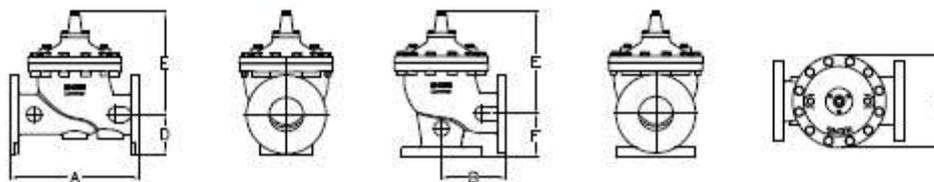
IMAGEN 10: Elevaciones de los nudos

MODELS 106-PG / S106-PG SINGLE CHAMBER, HYDRAULICALLY OPERATED VALVE

ANSI VALVE DATA (METRIC UNITS)

Size mm	DWG REF	Std ANSI	Flat Diaphragm System									
			15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	150 mm
Globe Dimensions			All figures show in mm unless otherwise stated									
Lay Length	A	FNPT	171	171	171	238	279	343	-	-	-	-
Centerline to Bottom	D	FNPT	64	64	64	70	86	93	-	-	-	-
Lay Length	A	150F	-	-	216	238	279	305	381	508	645	-
Centerline to Bottom	D	150F	-	-	70	76	89	95	117	142	200	-
Lay Length	A	300F	-	-	229	254	295	337	397	533	670	-
Centerline to Bottom	D	300F	-	-	83	83	95	105	129	161	200	-
Angle Dimensions												
Center Inlet to Discharge	B	FNPT	86	86	86	119	140	168	-	-	-	-
Center Discharge to Inlet	F	FNPT	76	76	76	83	102	118	-	-	-	-
Center Inlet to Discharge	B	150F	-	-	-	121	140	154	191	254	324	-
Center Discharge to Inlet	F	150F	-	-	-	83	102	103	127	152	203	-
Center Inlet to Discharge	B	300F	-	-	-	127	149	163	200	267	337	-
Center Discharge to Inlet	F	300F	-	-	-	89	105	113	135	165	216	-
Common Dimensions (Globe & Angle)												
Width	C		124	124	156	165	208	235	276	425	549	-
Height (to stem cap) Globe	E		111	111	111	121	191	203	232	298	379	-
Height (to stem cap) Angle	E		111	111	111	121	191	203	232	298	379	-
Body Port Tapping	FNPT	in	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	-
Stem Cap Plug	MNPT	in	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	-
Cover Port Tapping	FNPT	in	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	-
Valve Stroke		mm	13	13	13	14	25	29	37	43	73	-
Displaced Bonnet Volume (Litres)			0.03	0.03	0.03	0.1	0.3	0.3	0.8	2.1	6.3	-
Approximate Shipping Weight (Kilograms)			9	9	9	18	29	45	79	181	295	-
Flow Capacities (L/s) Globe & Angle												
Kv - Globe			6.6	7.1	7.6	13	19	26	47	110	190	-
Kv - Angle			5.7	5.7	6.2	15	21	32	55	127	225	-
Continuous (Globe)			3	6	8	13	19	29	50	114	196	-
Intermittent (Globe)			4	8	10	16	24	36	63	142	244	-
Momentary (Globe)			7	11	16	30	42	65	114	252	442	-
Maximum Pressure Ratings (Ductile Only)												
Bar ^a		FNPT	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	-	-	-	-
Bar		150F	-	-	17	17	17	17	17	17	17	-
Bar ^a		300F	-	-	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	-
Maximum Temperature												
Celcius			82°	82°	82°	82°	82°	82°	82°	82°	82°	-

^aValves rated and stamped 27.6 bar as standard. Valves rated and stamped 41 bar on request



See pilot system information, page 207.
For additional Engineering notes, see page 242.

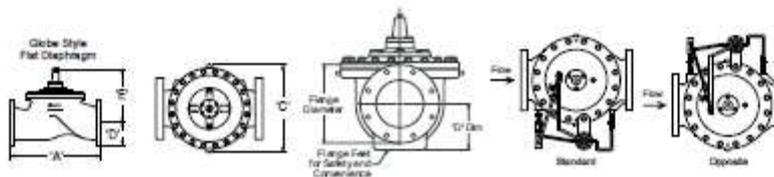
IMAGEN 11: Especificaciones del modelo de válvula 106-PG/S106-PG

MODEL 206-PG / S206-PG SINGLE CHAMBER, HYDRAULICALLY OPERATED VALVE

ANSI VALVE DATA (METRIC UNITS)

Size mm	DWG REF	Standard ANSI	Flat Diaphragm System				
			80 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm
Globe Dimensions			All figures show in mm unless otherwise stated				
Lay Length	A	FNPT	-	-	-	-	-
Centerline to Bottom	D	FNPT	-	-	-	-	-
Lay Length	A	150F	305	381	511	635	622
Centerline to Bottom	D	150F	102	117	143	171	217
Lay Length	A	300F	-	397	533	660	657
Centerline to Bottom	D	300F	-	127	161	191	236
Angle Dimensions							
Center Inlet to Discharge	B	FNPT	-	-	-	-	-
Center Discharge to Inlet	F	FNPT	-	-	-	-	-
Center Inlet to Discharge	B	150F	-	192	259	318	-
Center Discharge to Inlet	F	150F	-	151	157	229	-
Center Inlet to Discharge	B	300F	-	200	270	330	-
Center Discharge to Inlet	F	300F	-	159	173	241	-
Common Dimensions (Globe & Angle)							
Width	C		208	254	318	406	508
Height (To Stem Cap) Globe	E		191	244	267	359	473
Height (To Stem Cap) Angle	E		-	197	224	287	-
Body Port Tapping	FNPT	Inches	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2
Stem Cap Plug	MNPT	Inches	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
Cover Port Tapping	FNPT	Inches	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2
Valve Stroke		mm	14	29	37	43	73
Displaced Bonnet Volume (Litres)			0.1	0.3	0.8	2	6
Approximate Shipping Weight (Kilograms)			34	45	113	227	295
Flow Capacities (L/s) Globe & Angle							
K _v - Globe			14	36	60	120	230
K _v - Angle			-	36	60	133	-
Continuous (Globe)			19	37	65	145	259
Intermittent (Globe)			24	44	75	170	295
Momentary (Globe)			36	78	136	303	530
Maximum Pressure Ratings							
Bar		FNPT	-	-	-	-	-
Bar		150F	17	17	17	17	17
Bar ¹		300F	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6
Maximum Temperature							
Calcium			82°	82°	82°	82°	82°

¹Valves rated and stamped 27.6 bar as standard. Valves rated and stamped 41 bar on request



See pilot system information, page 207.
For additional Engineering notes, see page 242.

IMAGEN 12: Especificaciones del modelo de válvula 206-PG/S206-PG

**MODELS 106-BPC / 206-BPC
BOOSTER PUMP CONTROL VALVE – DOUBLE CHAMBER**

106-BPC	Flow Coefficient C_v (See 106-PTC in Main Valve section for other valve data)												
	2 in	2-1/2 in	3 in	4 in	5 in	6 in	8 in	10 in	12 in	14 in	16 in	20 in	24 in
Size (mm)	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm	500 mm	500 mm	600 mm
C_v	55	80	110	200	460	800	1300	2100	2575	3300	5100	5100	7500
K_v	13	19	26	47	110	190	310	500	630	780	1250	1250	1800

206-BPC	Flow Coefficient C_v (See 206-PTC in Main Valve section for other valve data)														
	3 in	4 in	6 in	8 in	10 in	12 in	16 in	18 in	20 in	24 x 16 in	24 x 20 in	28 in	30 in	32 in	36 in
Size (mm)	80 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm	400 mm	450 mm	500 mm	600 x 400 mm	600 x 500 mm	700 mm	750 mm	800 mm	900 mm
C_v	60	150	250	505	965	1550	2200	3200	3400	3500	5100	7800	7800	7900	8000
K_v	14	36	60	120	230	370	520	780	810	830	1250	1850	1850	1870	1900

* C_v = USGPM at 1 psi pressure drop

** K_v = L / s at 1 bar pressure drop

$$(Q=C_v\sqrt{\Delta P})$$

IMAGEN 13: Especificaciones para cálculo de valores de Kv

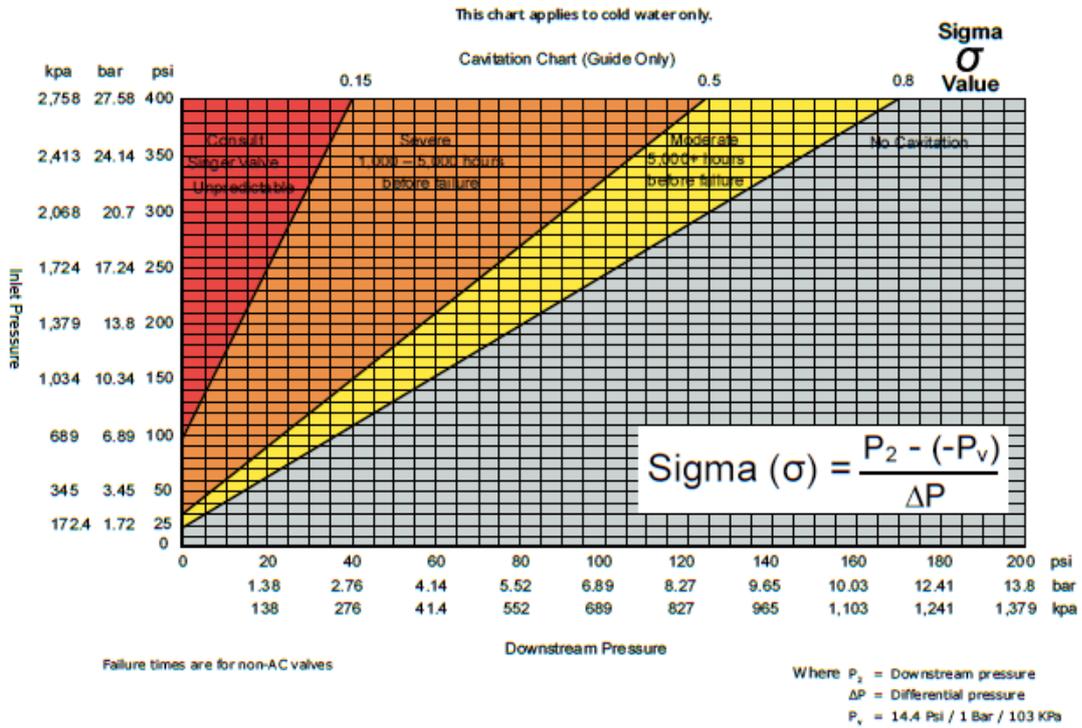


IMAGEN 14: Gráfico de comprobación de cavitación de las válvulas en función de sigma

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Olmedo Espinoza, Marco Vinicio** con C.C: # **070615009-1** autor del trabajo de titulación: **Propuesta de regulación de presiones en una sección de la red de distribución de agua potable del cantón Jipijapa. Circuitos abastecidos desde el tanque “El Calvario”**, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 22 de septiembre de 2022

f. _____



Nombre: **Olmedo Espinoza, Marco Vinicio**

C.C: **0706150091**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Propuesta de regulación de presiones en una sección de la red de distribución de agua potable del cantón Jipijapa. Circuitos abastecidos desde el tanque "El Calvario".		
AUTOR	Olmedo Espinoza, Marco Vinicio		
TUTOR	Molina Arce, Stephenson Xavier, Ing., M. Sc, PgDip		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica De Santiago De Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	22 de septiembre del 2022	No. DE PÁGINAS:	83
ÁREAS TEMÁTICAS:	Mecánica De Fluidos, Abastecimiento De Aguas.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Modelo Hidráulico, Calibración De Modelos, Nudos, Válvulas, Presión.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>Este trabajo tiene como objetivo realizar un modelamiento de una red ramificada perteneciente al sector 4 del cantón Jipijapa de la provincia de Manabí mediante el uso del software EPANET con el propósito de conocer el comportamiento hidráulico y análisis de presiones en las tuberías para dicho sector. El abastecimiento de este sector es desde el tanque de la planta de tratamiento San Manuel, la cual distribuye el líquido hacia los 14 tanques de almacenamiento; uno de estos es el tanque en el sector "El Calvario".</p> <p>Realizada la simulación se procederá con la calibración del modelo para determinar las pérdidas ocasionadas por fugas, la intermitencia en el abastecimiento del fluido y la comprobación del 80% de agua no contabilizada. De tal forma que el desarrollo de esta actividad, permita presentar un modelo en donde se propondrá la instalación de válvulas reductoras de presión en los puntos críticos de la red con la finalidad de lograr el objetivo de garantizar una presión de 10 metros de columna de agua para el sector en mención.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CONTACTO CON AUTORES:	Teléfono: +593-991177586	E-mail: marco.olmedo@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Glas Cevallos Clara, Ing. M.Sc		
	Teléfono: +593-984616792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			