



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**Control de presiones en un sector de la red primaria de
distribución de agua potable de la Ciudad de México.**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA

PRESENTA:

ING. IVAN MACARIO TORRES

DIRECTOR DE TESINA: **M.C. LIBIA GEORGINA CARMONA PAREDES**

CIUDAD DE MÉXICO

MAYO 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos.

A mi padre:

Gracias por ayudarme en cada momento de mi vida, por impulsarme a seguir adelante, a superar cada obstáculo que me ha puesto la vida gracias y por ayudarme a superar cada meta que me he propuesto.

Al Instituto de Ingeniería, UNAM:

Gracias por el apoyo que me brindó a lo largo de este proyecto.

Índice

1. Introducción.....	1
a. Alcances y objetivos.....	2
2. Redes de distribución de agua potable.....	3
3. Descripción del sector de la red primaria a analizar.....	9
a. Sistema 1.....	18
b. Sistema 2.....	20
4. Simulación del comportamiento hidráulico del sector de la red, bajo diferentes escenarios	23
a. Propuestas sistema 1.....	24
i. Escenario 1.....	25
ii. Escenario 2.....	27
iii. Escenario 3.....	29
iv. Escenario 4.....	31
v. Escenario 5.....	33
b. Propuestas sistema 2.....	37
i. Escenario A.....	37
ii. Escenario B.....	39
iii. Escenario C.....	41
iv. Escenario D.....	43
v. Escenario E.....	45
vi. Escenario F.....	47
5. Comentarios y conclusiones.....	51
6. Bibliografía.....	57

1. INTRODUCCIÓN

Desde la existencia del ser humano el agua ha sido un elemento crucial para la vida de este, conforme se ha ido desarrollando, el hombre ha encontrado la manera de conducir, transportar y almacenar agua. Este es un elemento que usamos para realizar diferentes actividades como para uso doméstico, en la industria y agricultura.

Uno de los grandes problemas que existen es brindar el servicio de agua potable a toda la población, debido a diversos factores como el crecimiento no planificado de la mancha urbana. Contar con este servicio es primordial en un hogar.

La ciudad de México es un claro ejemplo del crecimiento de la mancha urbana durante las dos últimas décadas del siglo XX y que ha transcurrido durante el siglo XXI, la dinámica del crecimiento urbano se ha convertido en un fenómeno complejo que ha generado problemáticas derivadas del mismo desarrollo poblacional y que actualmente representa un reto para los tomadores de decisiones. (Megapolis, 2018)

Esos problemas han derivado en que su sistema cuente con lugares en donde probablemente antes no existían problemas de abastecimiento y sin embargo ahora los tienen o en su defecto en lugares donde siempre han existido.

El mantenimiento y operación en las redes de agua potable de la ciudad deben ser esenciales no solo por el mantenimiento de las tuberías sino también porque de esta manera se pueden ir solucionando problemas y mantener una buena distribución en el sistema.

1.1 Alcances y objetivos

El presente trabajo tiene como finalidad analizar la operación de un sector de la red primaria de agua potable de la ciudad de México, para proponer la ubicación, el modo de operación y el número de válvulas reguladoras de presión que permitan mantener la presión en los tanques de demanda de este sector entre 20 m y 40 m, con la restricción que la demanda en los tanques a la salida de la red sea mayor o igual al 50% de la demanda que se tiene sin la operación de tales válvulas.

2. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Una red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta las tomas domiciliarias o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como el extinguir incendios.

La red debe proporcionar este servicio todo el tiempo, en cantidad suficiente, con la calidad requerida y a una presión adecuada. Los límites de calidad del agua, para que pueda ser considerada como potable se establecen en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1 vigente. (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Se tienen tres posibles configuraciones de una red: a) cerrada, b) abierta o c) combinada.

Cuando una red es cerrada, sus tuberías forman al menos un circuito. Un circuito es un conjunto de tuberías conectadas en forma de polígono, donde el agua que parte de un punto puede volver al mismo después de fluir por las tuberías que lo componen.

La red abierta se compone de tuberías que se ramifican sin formar circuitos.

Esta configuración de la red se utiliza cuando la planimetría y la topografía son irregulares dificultando la formación de circuitos o cuando el poblado es pequeño o muy disperso. (Comisión Nacional del Agua, 2007).

División de una red de distribución.

Una red de distribución se divide en dos partes para determinar su funcionamiento hidráulico: la red primaria, que es la que rige el funcionamiento de la red, y la red secundaria.

La red primaria permite conducir el agua por medio de líneas troncales o principales y alimentar a las redes secundarias. Se considera que el diámetro mínimo de las tuberías correspondientes a la red primaria es de 100 mm.

Sin embargo, en colonias urbanas populares se puede aceptar de 75 mm y en zonas rurales hasta 50 mm, aunque en grandes urbes se puede aceptar a partir de 500 mm (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Componentes de una red

Una red de distribución de agua potable se compone generalmente de:

a) Tuberías: Se le llama así al conjunto formado por los tubos y su sistema de unión o ensamble. Para fines de análisis se denomina tubería al conducto comprendido entre dos secciones transversales del mismo.

La red de distribución está formada por un conjunto de tuberías que se unen en diversos puntos denominados nodos o uniones.

De acuerdo con su función, la red de distribución puede dividirse en: red primaria y red secundaria. A la tubería que conduce el agua desde el tanque de regulación hasta el punto donde inicia su distribución se le conoce como línea de alimentación, y se considera parte de la red primaria.

b) Piezas especiales: Son todos aquellos accesorios que se emplean para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, modificaciones de diámetro, uniones de tuberías de diferente material o diámetro, y terminales de los conductos, entre otros.

c) Válvulas: Son accesorios que se utilizan para disminuir o evitar el flujo en las tuberías. Pueden ser clasificadas de acuerdo a su función en dos categorías:

1) Aislamiento o seccionamiento, las cuales son utilizadas para separar o cortar el flujo del resto del sistema de abastecimiento en ciertos tramos de tuberías, bombas y dispositivos de control con el fin de revisarlos o repararlos; y

2) Control, usadas para regular el gasto o la presión, facilitar la entrada de aire o la salida de sedimentos o aire atrapados en el sistema.

d) Hidrantes: Se le llama de esta manera a una toma o conexión especial instalada en ciertos puntos de la red con el propósito de abastecer de agua a varias familias o conectar una manguera o una bomba destinadas a proveer agua para combatir el fuego.

e) Tanques de distribución: Un tanque de distribución es un depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución que tiene por objeto almacenar el agua proveniente de la fuente. El almacenamiento permite regular la distribución o simplemente prever fallas en el suministro, aunque algunos tanques suelen realizar ambas funciones.

Se le llama tanque de regulación cuando guarda cierto volumen adicional de agua para aquellas horas del día en que la demanda en la red sobrepasa al volumen suministrado por la fuente.

Una red de distribución puede ser alimentada por varios tanques correspondientes al mismo número de fuentes o tener tanques adicionales de regulación dentro de la misma zona de la red con el fin de abastecer sólo a una parte de la red.

f) Tomas domiciliarias: Una toma domiciliaria es el conjunto de piezas y tubos que permite el abastecimiento desde una tubería de la red de distribución hasta el predio del usuario, así como la instalación de un medidor. Es la parte de la red que demuestra la eficiencia y

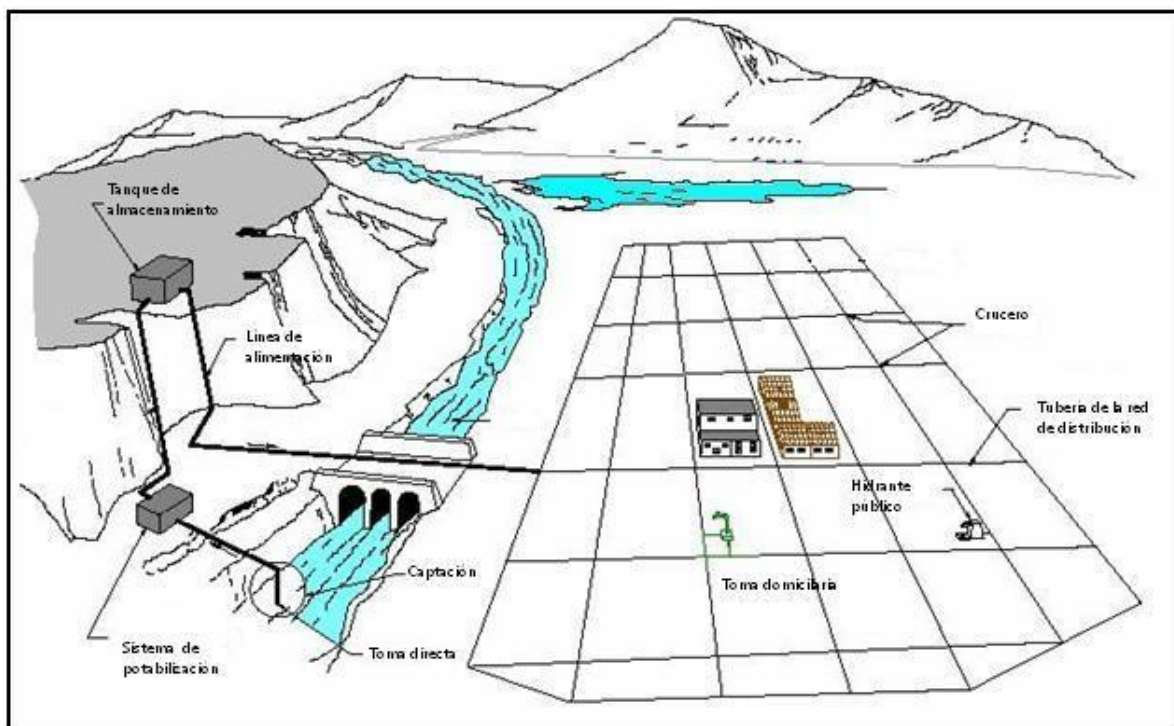
calidad del sistema de distribución pues es la que abastece de agua directamente al consumidor.

g) Rebombes: Consisten en instalaciones de bombeo que se ubican generalmente en puntos intermedios de una línea de conducción y excepcionalmente dentro de la red de distribución. Tienen el objetivo de elevar la carga hidráulica en el punto de su ubicación para mantener la circulación del agua en las tuberías.

h) Cajas rompedoras de presión: Son depósitos con superficie libre del agua y volumen relativamente pequeño, cuya función es permitir que el flujo de la tubería se descargue en ésta, eliminando de esta forma la presión hidrostática y estableciendo un nuevo nivel estático aguas abajo. (Comisión Nacional del Agua, 2007).

En la figura no. 1 se muestra un sistema de abastecimiento de agua potable con algunos elementos antes mencionados.

Figura 1 Sistema de abastecimiento de Agua Potable.



Fuente: (Karina Adriana Garcia Riveros, 2010)

Funcionamiento hidráulico

Para evaluar el funcionamiento hidráulico de una red de tuberías en la que se conocen los diámetros, longitudes y coeficientes de fricción, se requiere determinar las cargas de presión en los nodos que posee y los gastos que fluyen en las tuberías que la componen.

Cuando en la operación de la red es a presión y los gastos que circulan en sus tuberías no cambian con el tiempo, se tiene el caso de flujo permanente. Se le acostumbra llamar red estática.

En una red de tuberías con flujo permanente donde se conoce al menos la carga de presión en uno de sus nodos (generalmente es el nivel de la superficie libre del agua de un tanque de almacenamiento) y los gastos que entran o salen de la red (pueden ser gastos suministrados a usuarios de la red), es posible calcular las presiones en los nodos y los gastos que circulan en cada una de sus tuberías.

Por otra parte, cuando en una red que funciona a presión, salen gastos variables en el tiempo (por ejemplo, para proporcionar más caudal a usuarios que lo solicitan en cierto momento del día), los gastos que existen en las tuberías cambian con el tiempo. Estas condiciones corresponden a una red con flujo no permanente o una red dinámica.

Red de tuberías en régimen permanente (análisis estático).

Para encontrar las cargas y los gastos en una red se emplean los principios de conservación de la energía y de masa (continuidad).

Caso de una tubería.

En la figura 2 se muestra una tubería de longitud L funcionando a presión. Al aplicar la ecuación de la conservación de la energía entre dos secciones cualesquiera 1 y 2, se tiene:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Donde:

Z=la elevación respecto a un plano horizontal de referencia.

P = la presión

V= velocidad media en el centro de la sección,

γ = el peso específico del agua

g= aceleración de la gravedad

h_f = es la pérdida de carga debido al rozamiento en las paredes del conducto. Y la obtendremos a partir de la ecuación Chezy-Manning.

(Comisión Nacional del Agua, 2007)

Siendo:

$$hf = (Q^2)(K)(L)$$

Donde:

Q = Caudal en m³/seg.

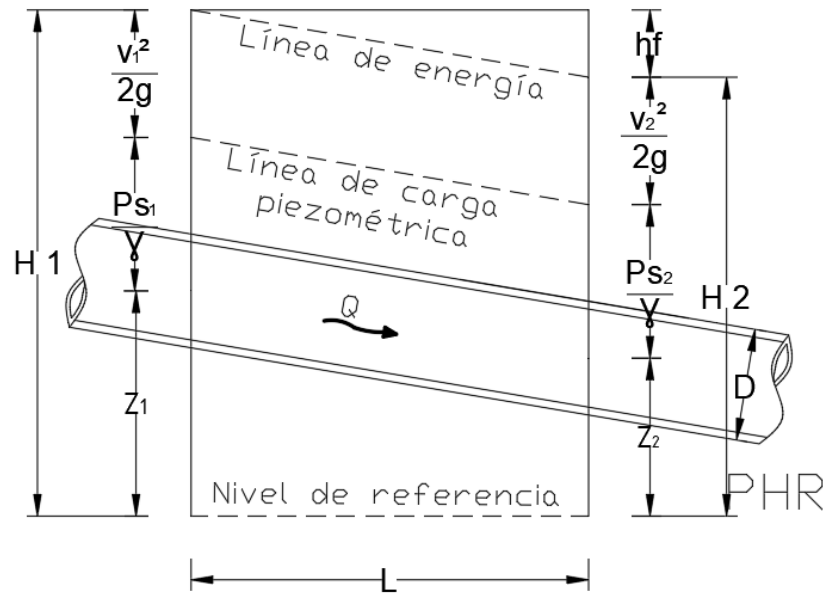
K = Constante de Manning, adimensional.

L = longitud

$$K = \frac{(d^{10/3})n^2}{(\pi^{6/3})(d^{16/3})}$$

$$K = \frac{10.2935 n^2}{(d^{16/3})}$$

Figura 2 Línea de cargas piezométricas y línea de energía en una tubería a presión.



3. DESCRIPCIÓN DEL SECTOR DE LA RED PRIMARIA A ANALIZAR

La red que se analiza se definirá como la red primaria de esta zona la cual cuenta con una longitud de 45,911.14 m de tubería, desglosada en los siguientes diámetros.

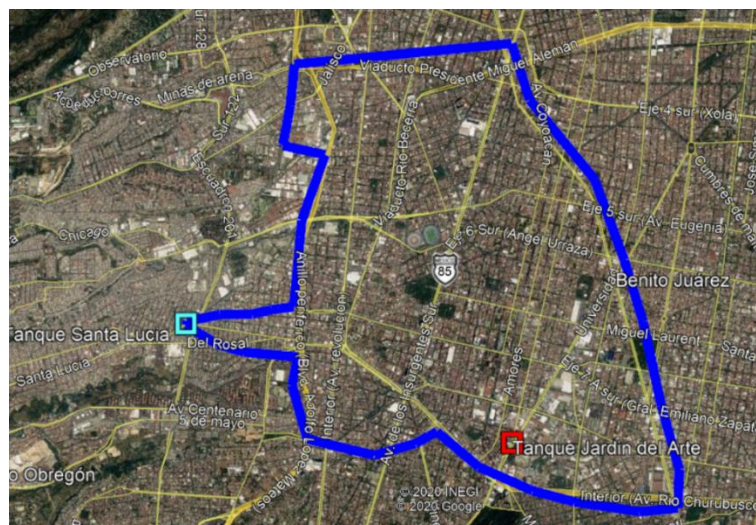
Diámetro (mm)	Longitud (m)
1220	17,907.02
910	7,169.01
500	16,044.99
300	4,790.12
	45,911.14

Tabla 1 Diámetros.

El agua de la cual se abastece la delegación Benito Juárez es proveniente de los sistemas sur, poniente y de 24 pozos profundos.

El sistema poniente alimenta a la delegación Benito Juárez por medio de los tanques Santa Lucía y Jardín del Arte representados en la figura no. 4 que se muestra a continuación. El primero abastece a la delegación a través de una tubería de 122 cm (48") de diámetro que entra por la parte poniente de la misma, por la calle Molinos ubicado en la colonia Mixcoac, continuando por la vía río Mixcoac para continuar hacia el norte por la calle de Patricio Sáenz y nuevamente hacia el oriente por el eje 8 sur (Popocatepetl) hasta unirse con otra línea de 122 cm (48") de diámetro que atraviesa la Av. División del Norte. El tanque Jardín del Arte alimenta a la delegación por medio de una tubería de 91 cm (36") de diámetro que entra por Av. Universidad para continuar por la calle de Gabriel Mancera y después tomar el poniente por la calle de Rodríguez Sarro, hasta llegar a la calle de Amores por el que continua hacia el norte hasta llegar a la calle de Concepción Beistegui en donde da vuelta para alimentar la zona noreste de la delegación.

Figura 4 Tanques de Abastecimiento.



Por lo que se refiere al sistema sur este alimenta a la delegación Benito Juárez por medio de tres tuberías de 122 cm (48") de diámetro, dos de ellas salen de la planta de bombeo Xotepingo y atraviesan a lo largo por la Av. División del Norte hasta los tanques Dolores ubicados en la delegación Miguel Hidalgo, de estos tubos se derivan tres líneas de 51 cm (20") de diámetro, uno en la calle de Ángel Urraza y los otros dos en la calle de Romero de Terreros.

La tercera línea del sistema sur entra por la calle de Anaya Monroy, continuando por la calle de Nevado y continuando en dirección oeste hasta unirse con una de las líneas de 122 cm (48") que transitan por la Av. División del Norte.

Otra fuente importante para esta delegación lo constituye la existencia de 24 pozos profundos, de los cuales actualmente están en operación 23 pozos, los cuales en conjunto arrojan un gasto total de 941 lps que representan una cantidad bastante considerable, a continuación se presentan las características de cada uno de ellos. (Montes, 2006).

Estos pozos se muestran a continuación en la tabla no. 2.

Tabla 2 Pozos Profundos.

Número	Nombre	Ubicación	Gasto l/s
1	Acacias	Adolfo Prieto y José Ma. Olloqui	27.0
2	Álamos no. 1	Soria, entre Castilla e Isabel la Católica. Col. Álamos	28.0
3	Álamos no. 2	Andalucía no. 37 Col. Álamos	51.0
4	Albert y Berlín	Albert y Berlín col. Albert	49.0
5	Arnaiz Rosendo	Av. Revolución y Andrea del Castagno col. Nonoalco	38.0
6	Diagonal San Antonio	Dr. Vértiz, entre diagonal San Antonio y Caleta, col. Narvarte	30.0
7	Jardín piombo	Calle 7 y Av. 2 col. San Pedro de los Pinos	32.0
8	La campana	Campana s/n, entre Cánova y Augusto Rodín, col. Insurgentes Mixcoac	46.0
9	La huerta	Heriberto Frías no 1229 entre Matías Romero y Pilaes, col. Del Valle	27.0
10	Mayorazgo	San Lorenzo, junto al no. 289, entre A. Prieto y R. Gayol, col. Del Valle	47.0

11	Miguel Alemán	Isabel la Católica no. 899, entre Estafetas y Buzones, col. Postal	17.0
12	Miraflores	Av. 2, frente al no. 382 entre calle 17 y calle 21 col. San Pedro de los Pinos	47.0
13	Miravalle	Glorieta Miraflores y Pirineo, col. Miravalle	56.0
14	Moderna	Miguel Ángel y Juana de Arco, col. Moderna	40.0
15	Nápoles	Pensylvania frente al no. 169, entre Georgia y Alabama, Col. Nápoles	30.0
16	Nativitas	Av. Justina, esq. Elena y Don Luis col. Nativitas	17.0
17	Nuevo Miguel Alemán	Isabel la Católica esq. Menesteres col. Postal	0.8
18	Ortiz Rubio	Centenario, entre Ortiz Rubio y Pascual Ortiz, col. San Simón	66.0
19	Parquede los Venados	Dr. Vértiz, entre Municipio Libre y Miguel Laurent, col. Portales	60.0
20	ParqueMariscal Sucre	Glorieta Mariscal Sucre, en el cruce de Div. Del Norte, Torres Adalid y Amores col. Del Valle	30.0
21	Portales	República, frente al no. 96, entre Rumania y Bélgica, col. Portales	21.0
22	Radio mil	Mitla no. 338, entre Torres Adalid y Concepción Beistegui, col. Narvarte	86.0
23	Normandía	Normandía y Plutarco E. Calles col. Ma. Del Carmen	62.0
24	Nativitas Don Luis	Plutarco E, Calles entre Don Juan y Don Luis col. Nativitas	33.0
TOTAL			941.0

(Montes, 2006)

Para simular el procedimiento de distribución secundaria en la red se utilizarán 25 tanques de demanda, esos tanques representan la demanda de los diferentes sectores en los que se ha dividido la red para su operación.

Además, se toma en cuenta tienen patrones de la demanda requerida en la zona.

Para poder simular el flujo que llega al final del sistema ocuparemos 3 depósitos de carga constante.

Cada tanque de demanda tiene asociado un nodo de demanda los que a su vez están representados en gráficas de demanda. Los nodos con demanda están representados de color rojo en la figura no. 5 que se muestra a continuación:

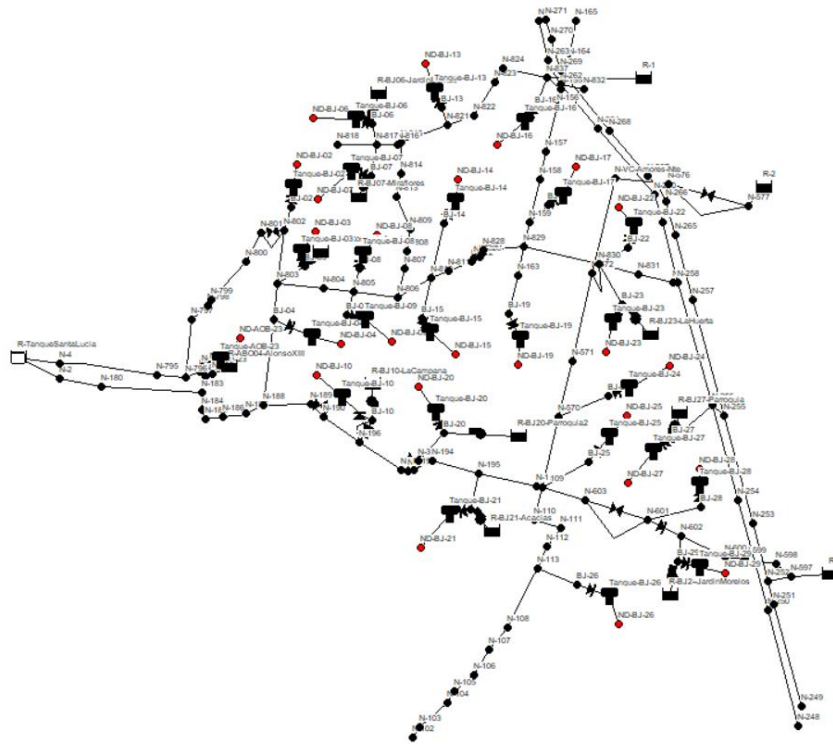
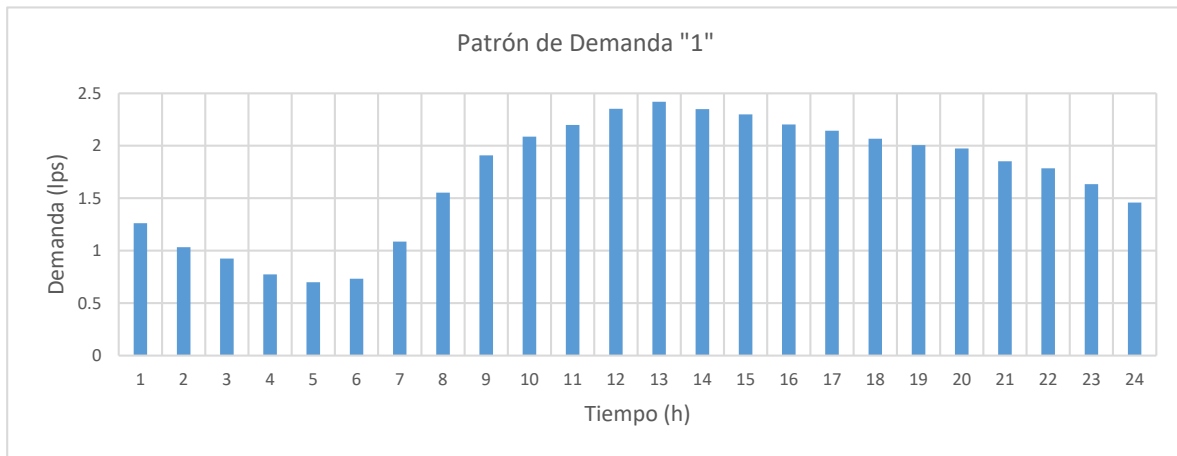


Figura 5 Nodos con demanda.

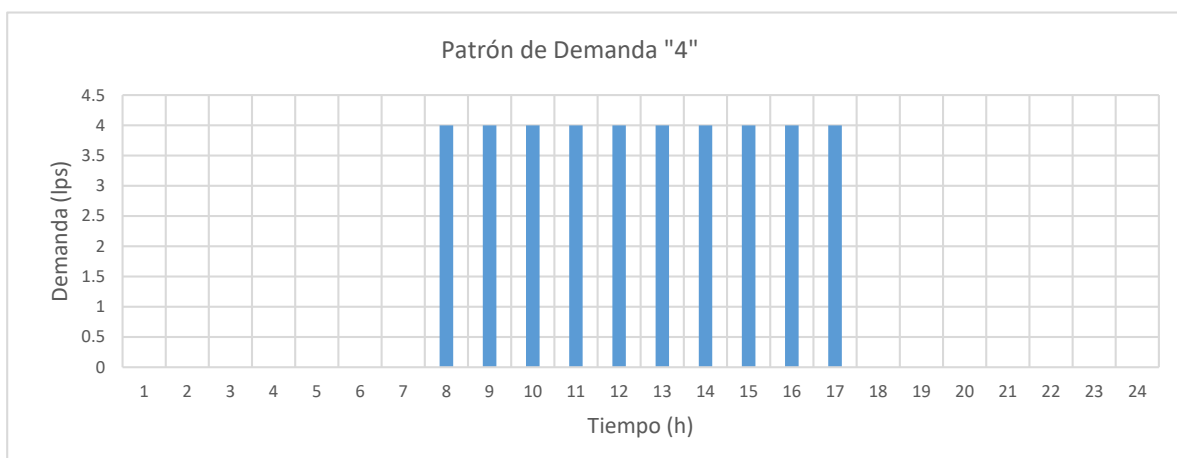
Se tienen veintiún nodos que representan el patrón de demanda “1” y cuatro nodos que representan el patrón de demanda “4”, estos se pueden identificar en la tabla no. 3, los patrones representan la demanda que ocurre durante un día, se pueden ver en las gráficas no. 1 y 2 respectivamente.

Nodo ID	Patrón de Demanda	Nodo ID	Patrón de Demanda
ND-BJ-10	1	ND-BJ-16	1
ND-BJ-20	1	ND-BJ-17	1
ND-BJ-21	1	ND-AOB-23	1
ND-BJ-23	1	ND-BJ-08	1
ND-BJ-27	1	ND-BJ-03	1
ND-BJ-29	1	ND-BJ-19	1
ND-BJ-04	1	ND-BJ-22	1
ND-BJ-06	1	ND-BJ-02	1
ND-BJ-07	1	ND-BJ-24	4
ND-BJ-09	1	ND-BJ-25	4
ND-BJ-13	1	ND-BJ-26	4
ND-BJ-14	1	ND-BJ-28	4
ND-BJ-15	1		

Tabla 3 Patrón de demanda.



Gráfica 1 Patrón de demanda 1.



Gráfica 2 Patrón de demanda 2.

El sistema trabaja con tres conexiones cerradas T-328, T-6 y T-5, véanse en la figura no. 6.

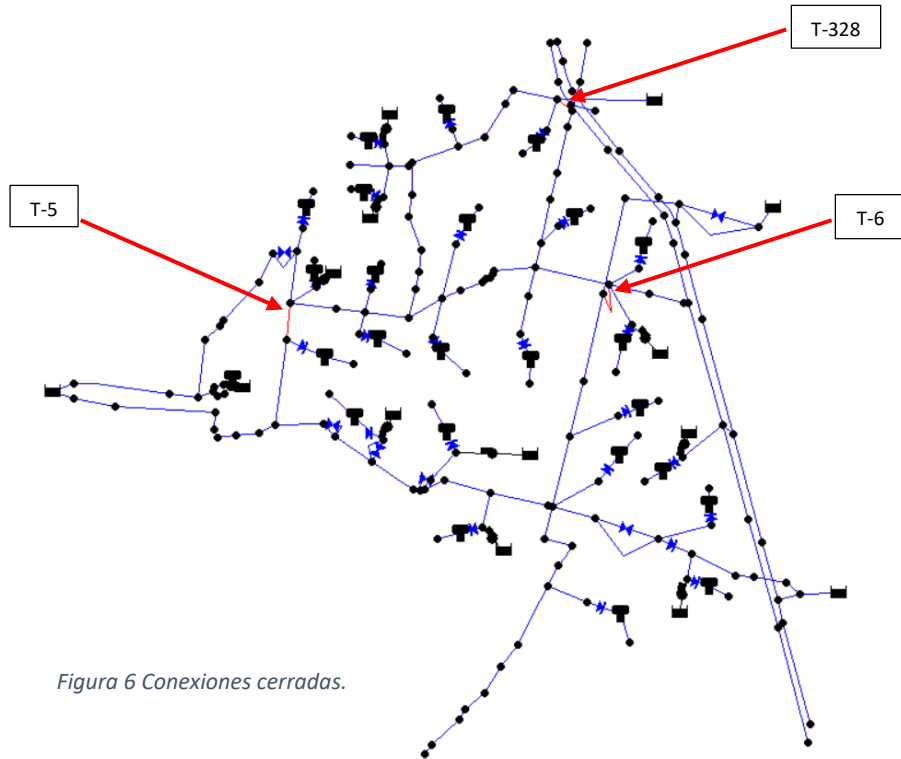


Figura 6 Conexiones cerradas.

Por la razón antes mencionada se puede visualizar la red como dos sistemas independientes a las cuales nombraremos como Sistema 1 (color rojo) y Sistema 2 (color azul), ya que no hay alguna conexión que permita continuidad entre estos dos, se muestra en la figura no. 7.

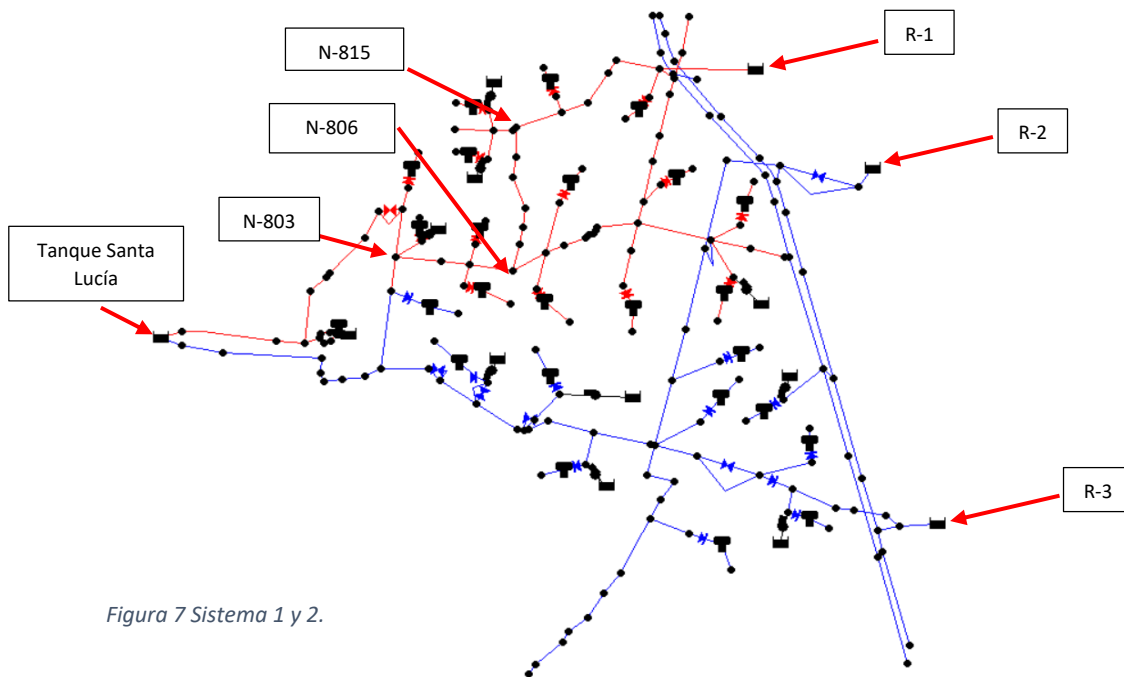


Figura 7 Sistema 1 y 2.

Dentro de la red se encuentran 6 válvulas donde sus valores ya se encuentran definidos y se pueden observar en la tabla no. 4. Por las propiedades de la red no cambiaremos ningún dato de estas.

NOMBRE DE LA VÁLVULA	TIPO	DIÁMETRO (mm)	SETTING
SANTALUCÍA1NP	PRV	500	15
V-1	PRV	300	10
V-2	PRV	300	10
V-3	PSV	300	20
V-4	PRV	300	20
V-5	PRV	1220	10

Tabla 4 Valores de válvulas existentes.

En la figura no. 8 se identifican estas válvulas dentro de la red.

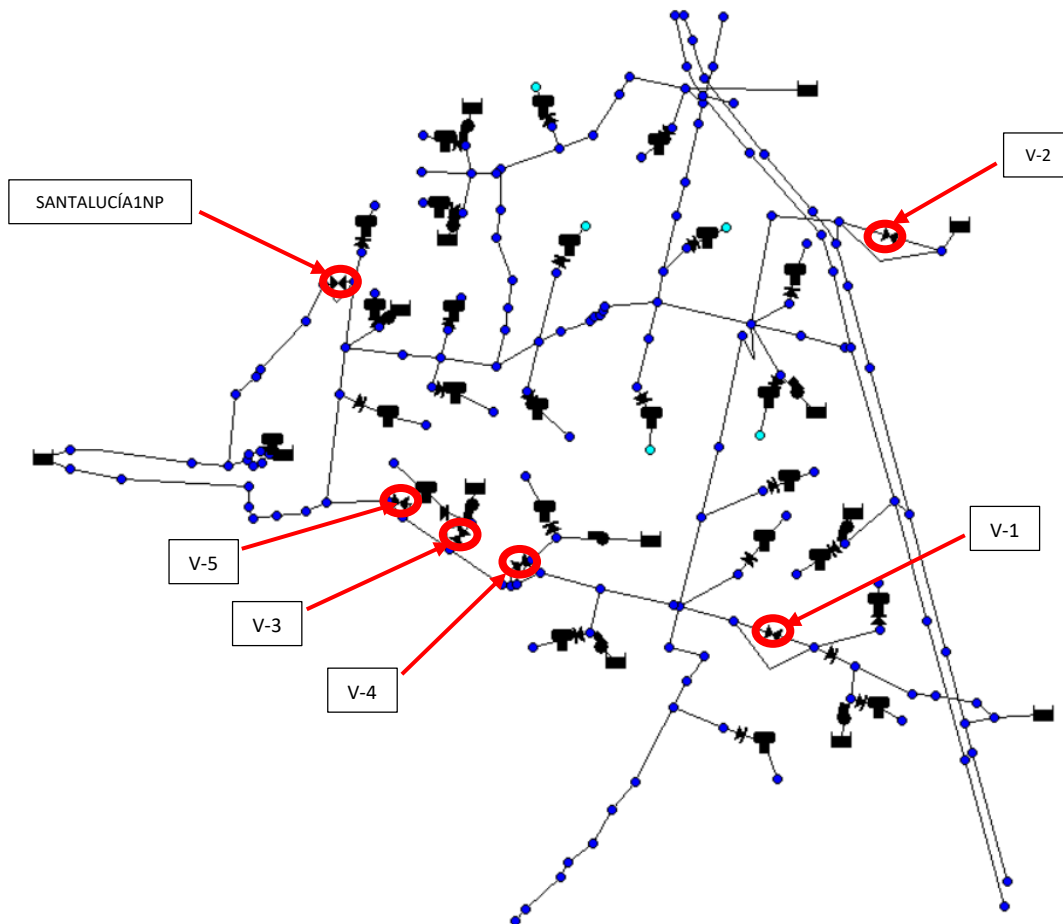


Figura 8 Ubicación de válvulas existentes.

a. Sistema 1

El sistema 1 está representada en la figura no. 7 por las tuberías color rojo. El sistema empieza con una tubería de 500 mm que sale del tanque Santa Lucía y termina en el depósito de carga constante R-1. Sobre este sistema existen 15 tanques de demanda y 15 nodos con demanda.

En la figura no. 7 (Sistema 1 y 2) se ve que la única ruta en este sistema que conecta de extremo a extremo, el agua suministrada va desde el tanque Santa Lucía continúa por los nodos N-803, N-806, N-815 llegando al depósito de carga constante R-1. En la figura no. 9 se encuentra el perfil de elevaciones de esta ruta y en la figura no. 10 las presiones de la misma.

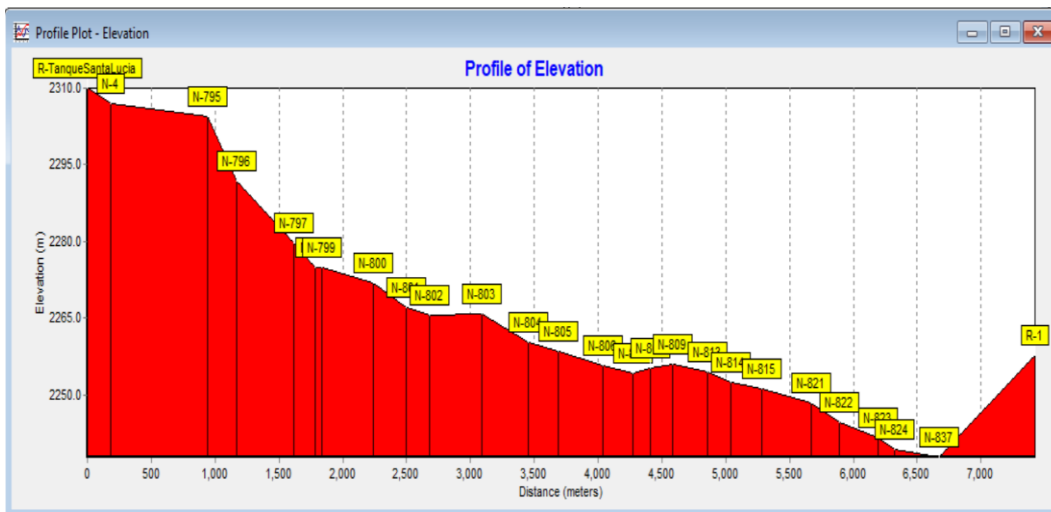


Figura 9 Perfil de elevaciones tanque R-1.

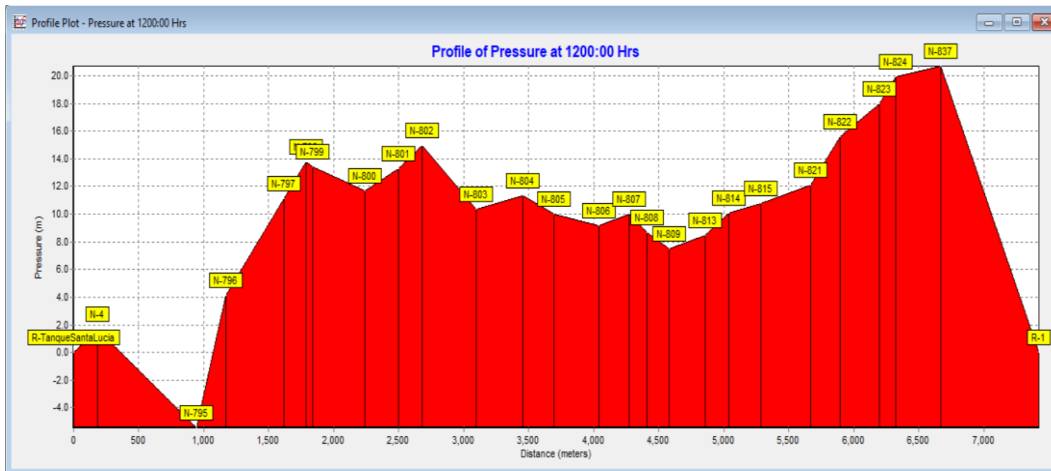
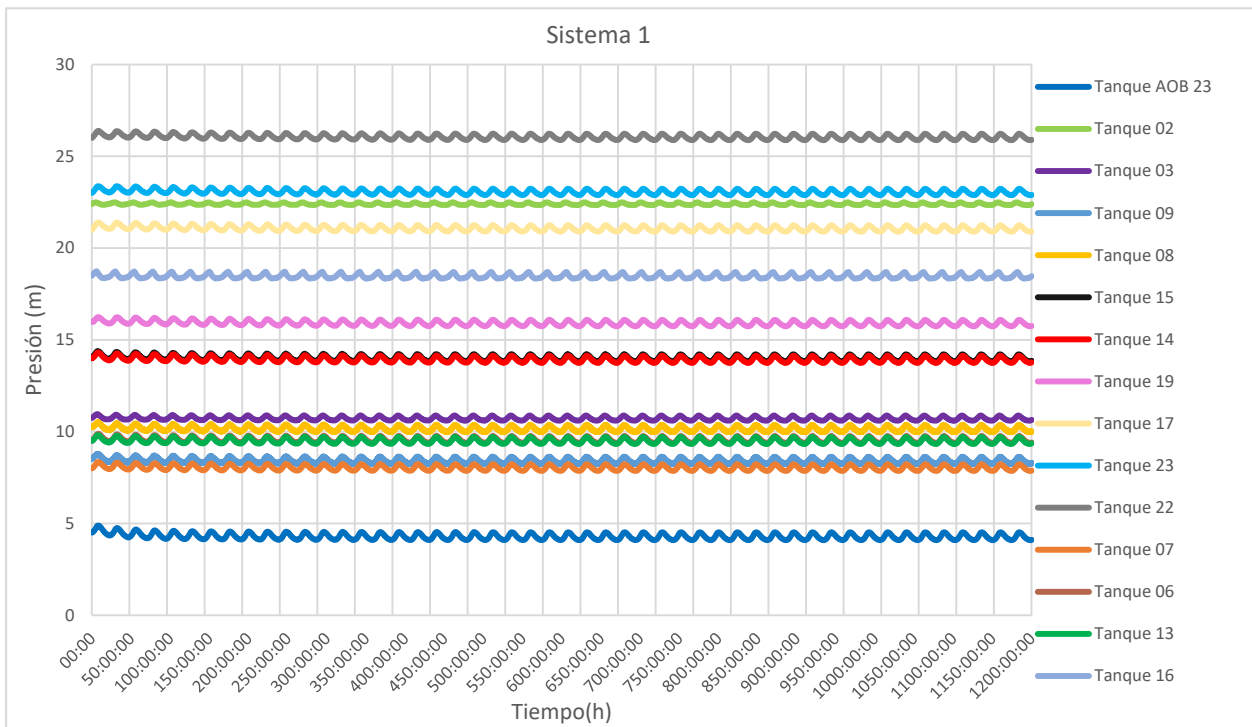


Figura 10 Presiones en la línea de conducción.

En la gráfica no. 3 se presentan los niveles de los tanques durante 1200 horas (50 días) de operación de la red, se observa que los valores medios son constantes, esto indica una operación estable en la red.



Gráfica 3 Presiones en el Sistema 1.

Además se observa que hay problemas con las presiones en ciertos tanques, los cuales no alcanzan los 20 m. En la tabla no. 5 se muestran todos los tanques y se marcan con gris los que tienen presiones menores que 20 m, que son la mayoría.

Presiones Sistema 1	
Tanque-BJ-23	22.9
Tanque-BJ-06	9.41
Tanque-BJ-07	7.88
Tanque-BJ-09	8.31
Tanque-BJ-13	9.36
Tanque-BJ-14	13.77
Tanque-BJ-15	13.86
Tanque-BJ-16	18.47
Tanque-BJ-17	20.91
Tanque-AOB-23	4.11
Tanque-BJ-08	9.99
Tanque-BJ-03	10.64
Tanque-BJ-19	15.76
Tanque-BJ-22	25.9
Tanque-BJ-02	22.39

Tabla 5 Presiones en el sistema 1.

b. Sistema 2

El sistema 2 está representada en la figura no. 11 por las tuberías color azul. El sistema empieza con una tubería de 1200 mm que sale del tanque Santa Lucía y termina en los depósitos de carga constante R-2 y R-3. En este sistema se cuenta con 10 tanques de demanda y 10 nodos con demanda.

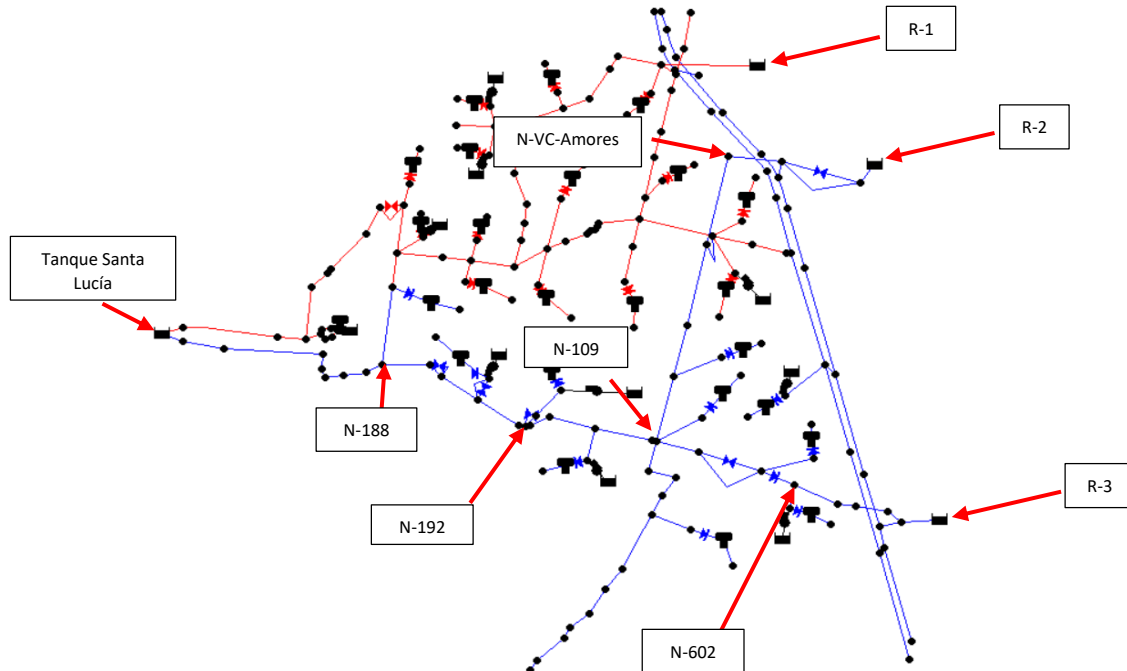


Figura 11 Rutas sistema 2.

El perfil de elevaciones de este sistema lo podremos observar en 2 partes, se muestran en las figuras 12 y 13 respectivamente.

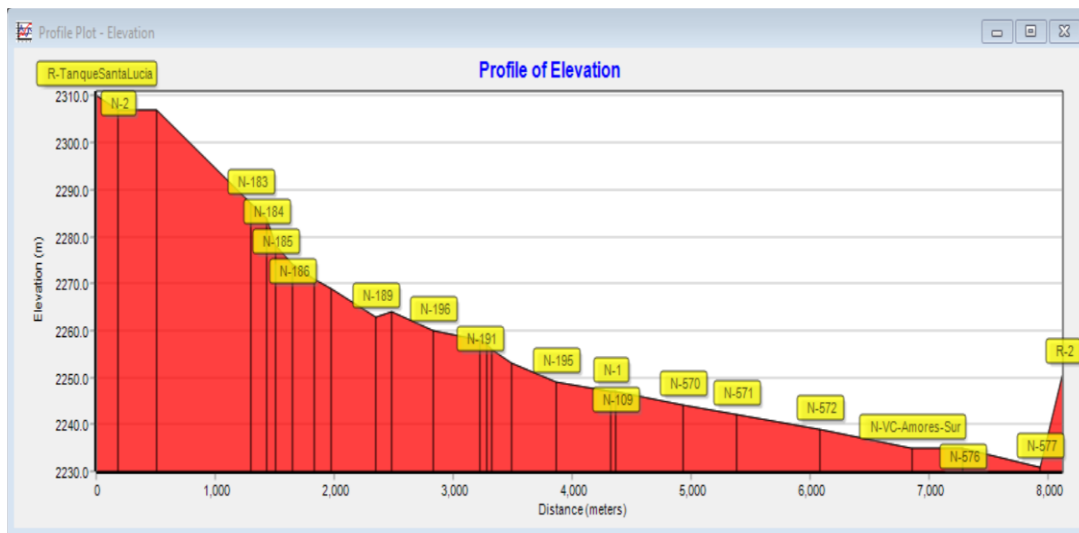


Figura 12 Perfil elevaciones Santa Lucía-R-2.

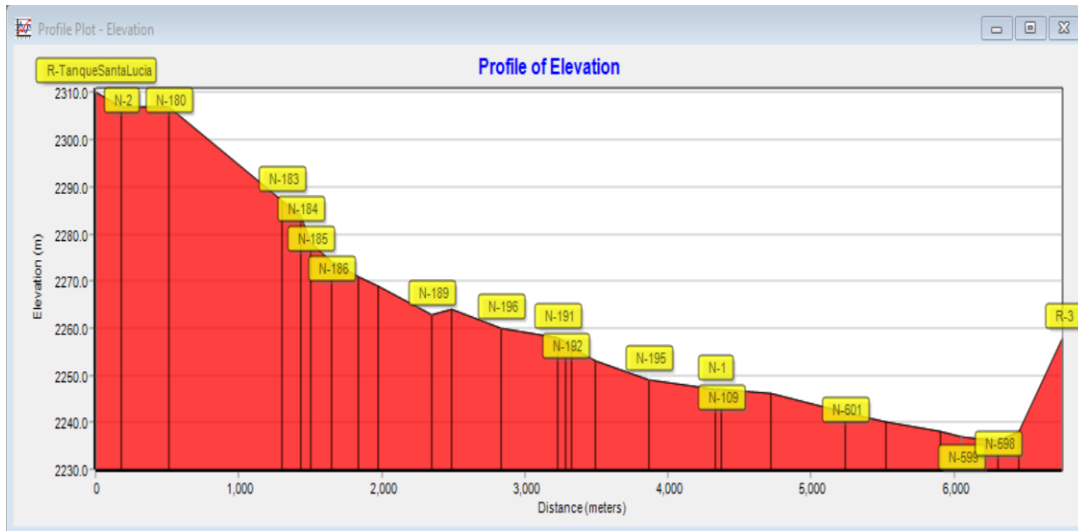
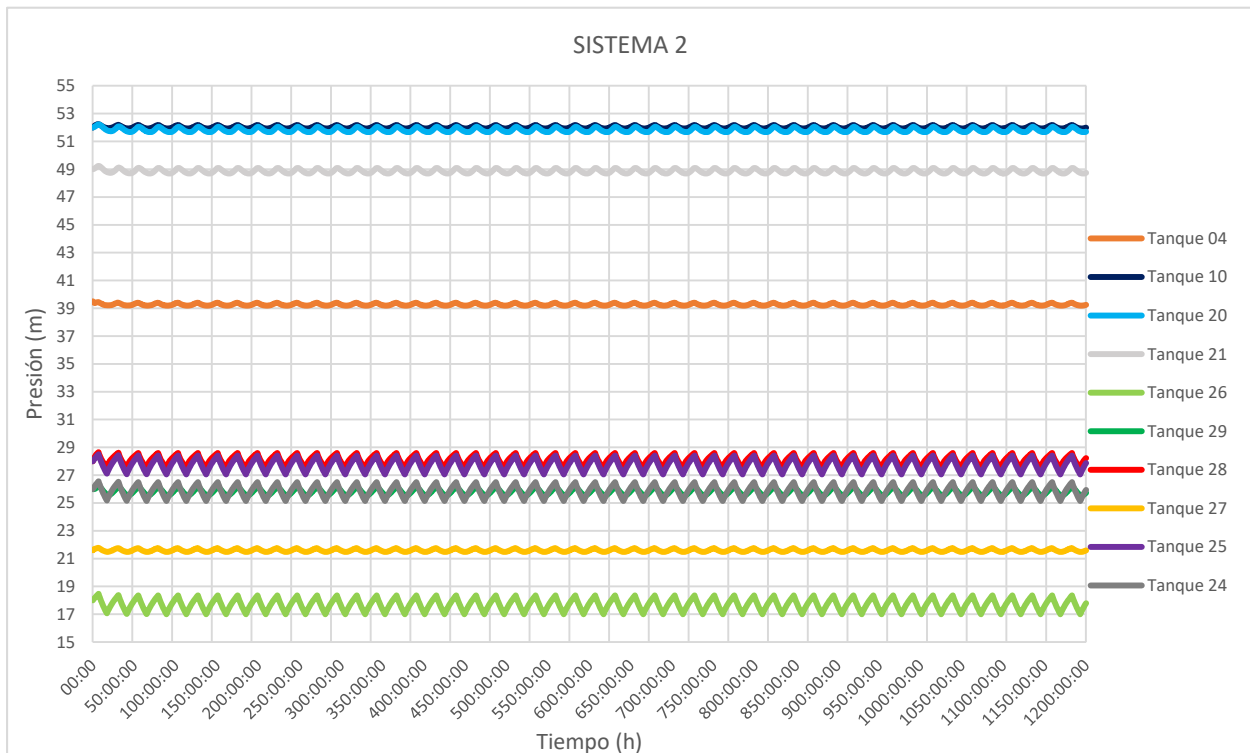


Figura 13 Perfil elevaciones Santa Lucía-R-3.

En la gráfica no. 4 se presentan los niveles de los tanques del sistema 2 durante 1200 horas (50 días) de operación de la red, se observa que los valores medios son constantes, esto indica una operación estable en la red.



Gráfica 4 Presiones en el Sistema 2.

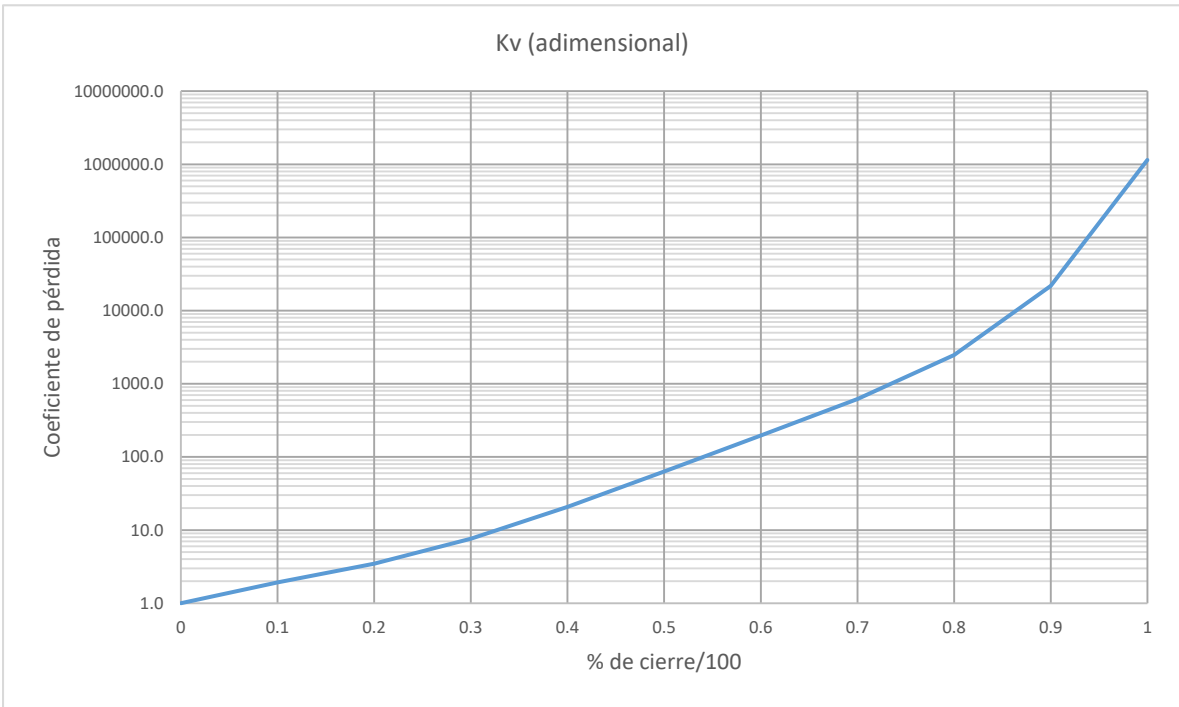
En este sistema existe el problema que en 3 tanques las presiones alcanzadas son por encima de los 40 m y 1 tanque no alcanza el nivel requerido de 20 m. Se presentan en la tabla no. 6 todos los tanques y se marcan con gris los que tienen presiones menores que 20 m y mayores que 40 m.

Presiones Sistema 2	
Tanque-BJ-10	51.99
Tanque-BJ-20	51.70
Tanque-BJ-21	48.74
Tanque-BJ-24	25.94
Tanque-BJ-25	27.87
Tanque-BJ-26	17.79
Tanque-BJ-27	21.59
Tanque-BJ-28	28.23
Tanque-BJ-29	25.73
Tanque-BJ-04	39.25

Tabla 6 Presiones en sistema 2.

El problema que hay en esta red es que se deben regular las presiones, como solución se propone la colocar válvulas en algunos sitios del sistema.

Se utilizan válvulas de control, estas tienen como coeficientes de pérdida las que se muestran en la gráfica 5.



Gráfica 5 Ley de cierre de la válvula de control.

4. SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
HIDRÁULICO DEL SECTOR DE LA RED,
BAJO DIFERENTES ESCENARIOS

En los dos sistemas en que se ha dividido la red en estudio, se presenta lo siguiente:

Sistema 1: de los 15 tanques de demanda, 11 de ellos no superan los 20 m de presión.

Sistema 2: cuenta con 10 tanques de los cuales 3 superan los 40 m de presión y en uno la presión es menor que 20 m.

Como se mostró anteriormente, en algunos tanques la presión es mayor que 40 m y en otros es menor que 20 m. Para disminuir la presión en los primeros y aumentarla en los segundos, se propone instalar válvulas de control en algunos sitios de la red. A continuación se analizará la operación de la red considerando dichas válvulas.

a. Propuestas sistema 1

Como se indica en la tabla no. 5 (Presiones en el sistema 1), en este sistema hay varios tanques que tienen presiones menores que 20 m, para incrementar la carga se analizan los siguientes 5 escenarios, véase en la tabla no. 7.

Escenario	Válvulas utilizadas
1	R. de Terreros
2	Holbein-Rodín
3	R. de Terreros y Holbein-Rodín
4	Texas-Indiana
5	R. de Terreros y Texas-Indiana

Tabla 7 Escenarios Sistema no. 1.

Escenario no. 1

Se coloca una válvula de control sobre la calle Romero de Terreros a la llegada del tanque R-1, ver la figura no. 14. Con el fin de poder elevar las presiones que se encuentran en los tanques del sistema 1, en específico los tanques BJ-06, BJ-07, BJ-09, BJ-13, BJ-14, BJ-15, BJ-16, AOB-23, BJ-08, BJ-03 y BJ-19.

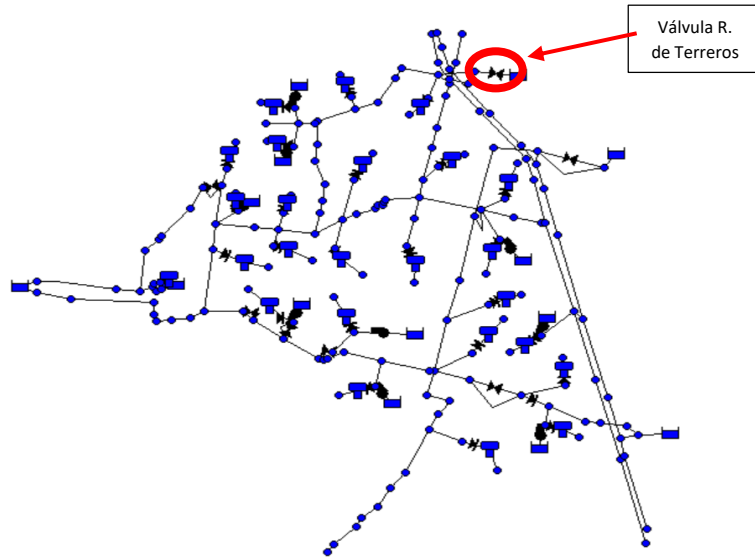


Figura 14 Ubicación de válvula R. de Terreros.

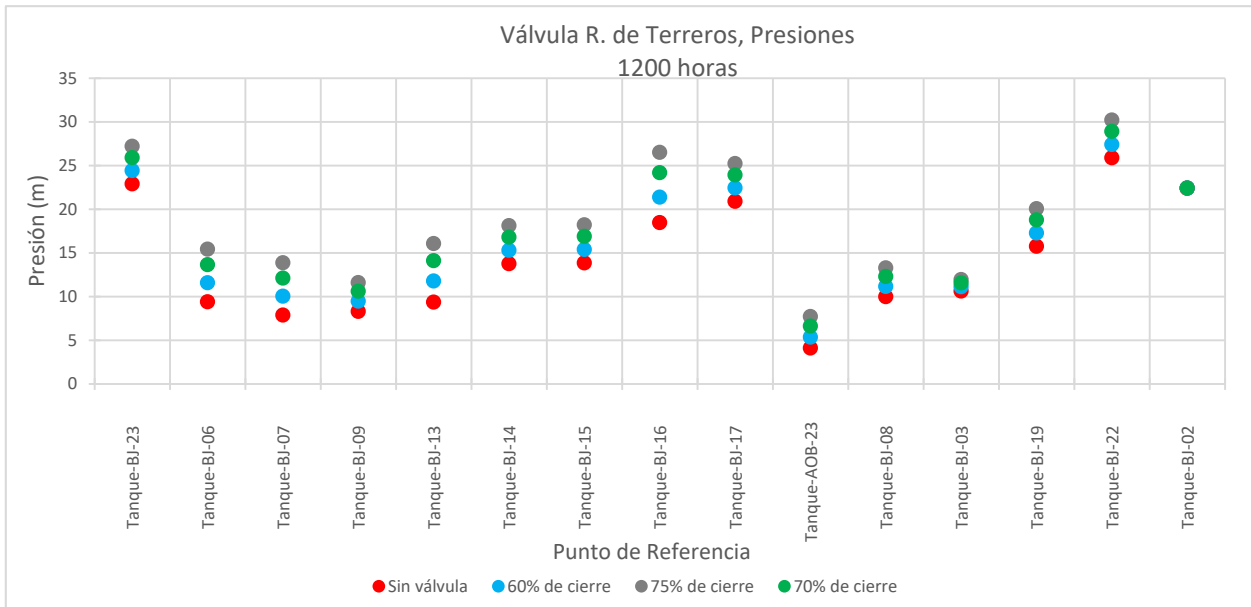
Con esta válvula se analiza el comportamiento de la red para los porcentajes de cierre de la misma que se presentan en la tabla no. 8.

Válvula	Porcentaje de Cierre
Sistema Actual	Sin Válvula
C/válvula R. de Terreros	40%
C/válvula R. de Terreros	50%
C/válvula R. de Terreros	60%
C/válvula R. de Terreros	70%
C/válvula R. de Terreros	75%

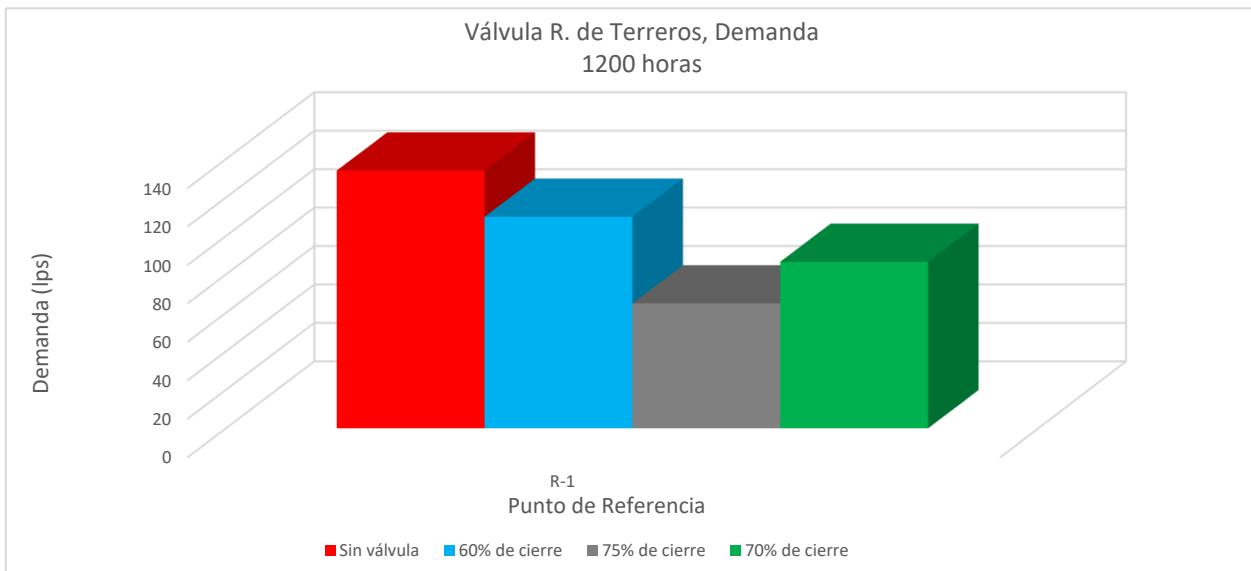
Tabla 8 Porcentaje de cierre válvula R. de Terreros.

Con las presiones medias obtenidas a los 50 días representadas en la gráfica no. 6 que se muestra a continuación, se obtiene que entre más crece el porcentaje de cierre en la válvula R. de Terreros las presiones aumentan dentro de los tanques, se grafican los 3 mejores resultados.

Como restricción para este trabajo se ha planteado que el flujo en los depósitos de carga constante R-1, R-2 y R-3 sea mínimo del 50% de lo que se recibe sin válvulas. En la gráfica no. 7 observamos la demanda del tanque R-1.



Gráfica 6 Presiones válvula R. de Terreros, escenario 1.



Gráfica 7 Demanda válvula R. de Terreros.

Al tomar en cuenta los resultados obtenidos, se llega a la conclusión que la mejor propuesta es cuando la válvula se encuentra con un porcentaje de cierre de 70%. Cerrar una válvula con un porcentaje mayor al 70% no es recomendable debido a que puede generar problemas de cavitación. En cuanto al depósito de carga constante R-1 se muestra que con la válvula cerrada 70% se cumple con la restricción de que la demanda sea mayor que el 50% de la demanda sin válvula.

Escenario 2

El escenario no. 1 parece generar un resultado favorable para el sistema 1, sin embargo, se analiza para este mismo sistema de una válvula entre las calles Holbein-Rodín, ver en la figura no. 15.

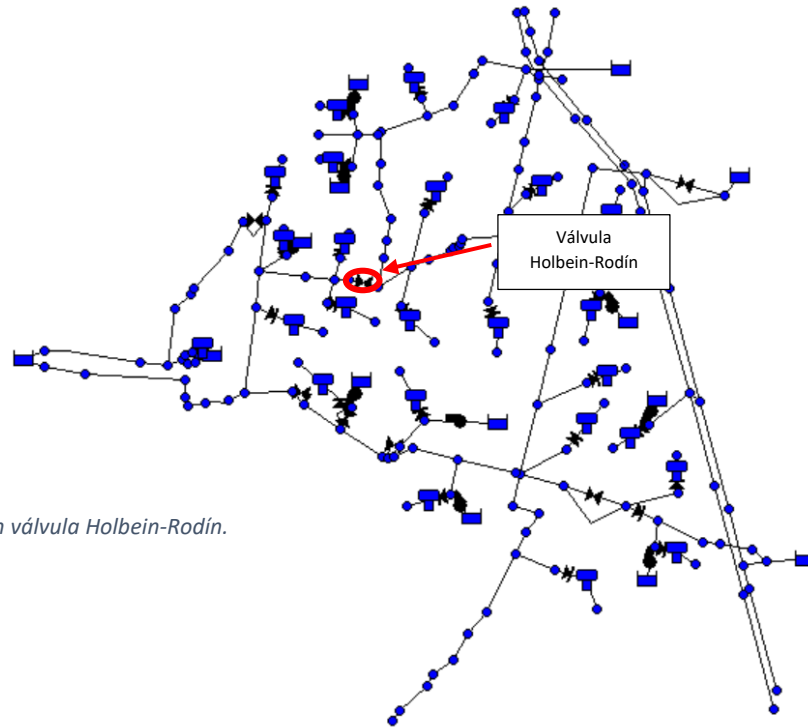


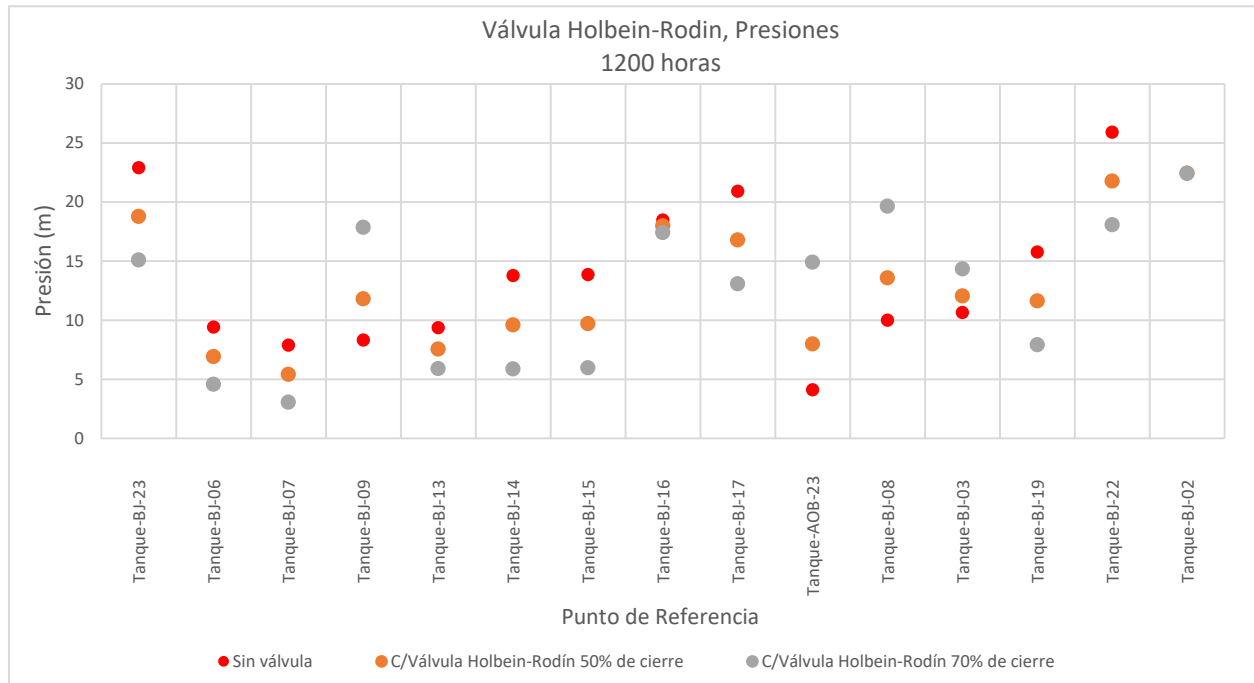
Figura 15 Ubicación válvula Holbein-Rodín.

Se analiza el comportamiento de la red para los porcentajes de cierre de la válvula que se presentan en la tabla no. 9.

Válvulas	Porcentaje de cierre
Sistema actual	Sin válvulas
C/válvula Holbein-Rodín	50%
C/válvula Holbein-Rodín	70%

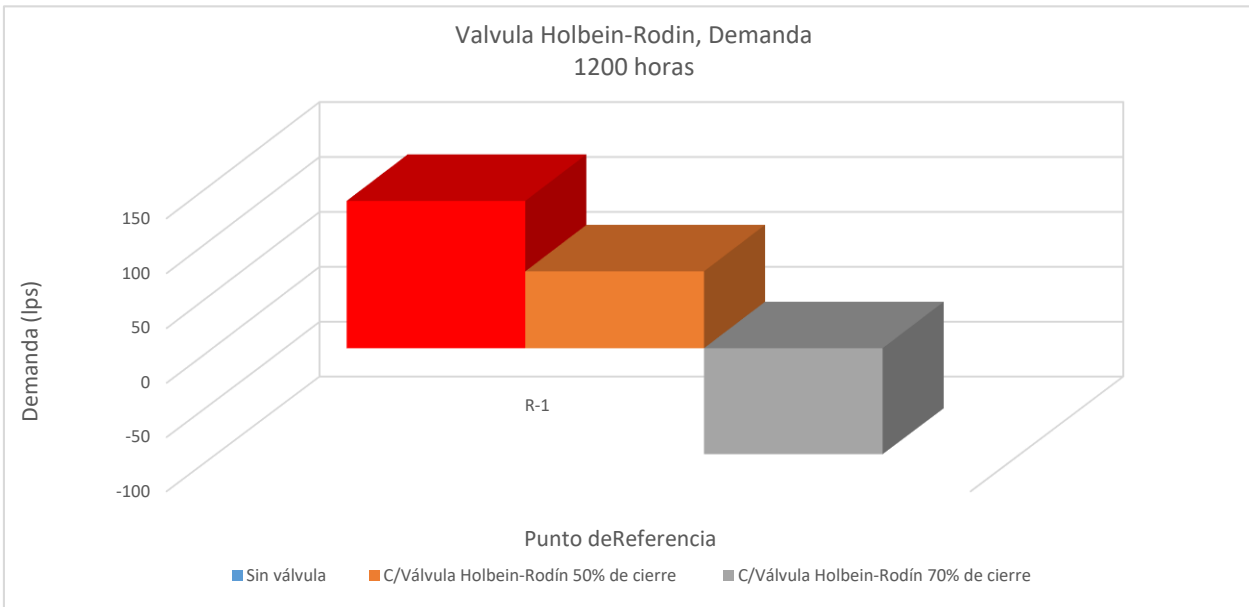
Tabla 9 Porcentaje de cierre válvula Holbein-Rodín.

Con las presiones medias obtenidas a los 50 días representadas en la gráfica no. 8 que se muestra a continuación, se observa que las presiones no mejoran en todos los tanques.



Gráfica 8 Presiones válvula Holbein-Rodin, escenario 2.

En la gráfica no. 9 se presentan la demanda que existe en el depósito de carga constante R-1.



Gráfica 9 Demanda válvula Holbein-Rodin.

Con los resultados de las gráficas 8 y 9, se concluye que utilizando únicamente esta válvula no se mejora la operación de la red.

Escenario 3

En este escenario se utilizan simultáneamente las válvulas antes mencionadas, siendo estas las ubicadas en R. de Terreros y Holbein-Rodín se muestran en la figura no. 16.

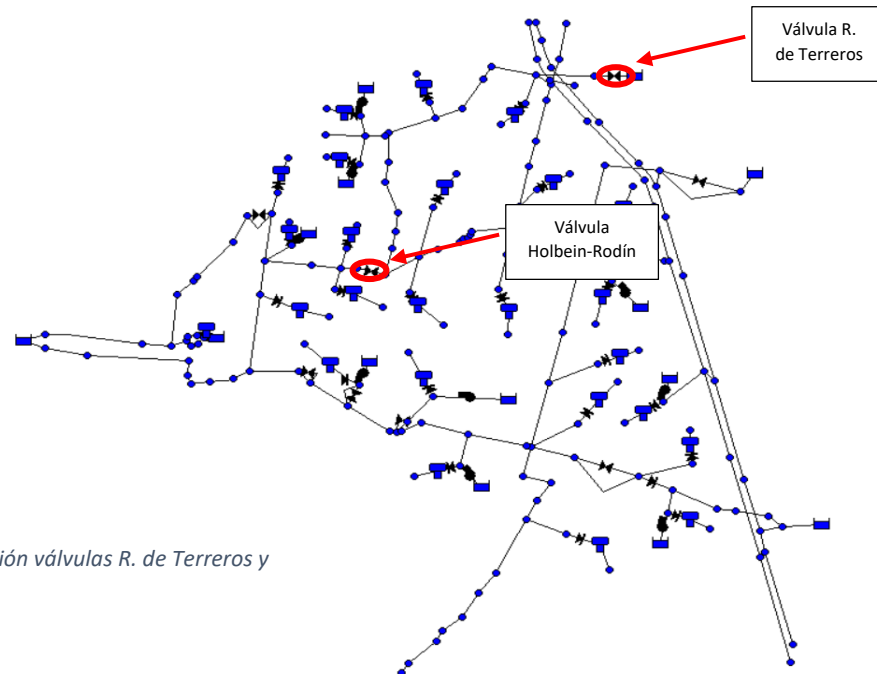


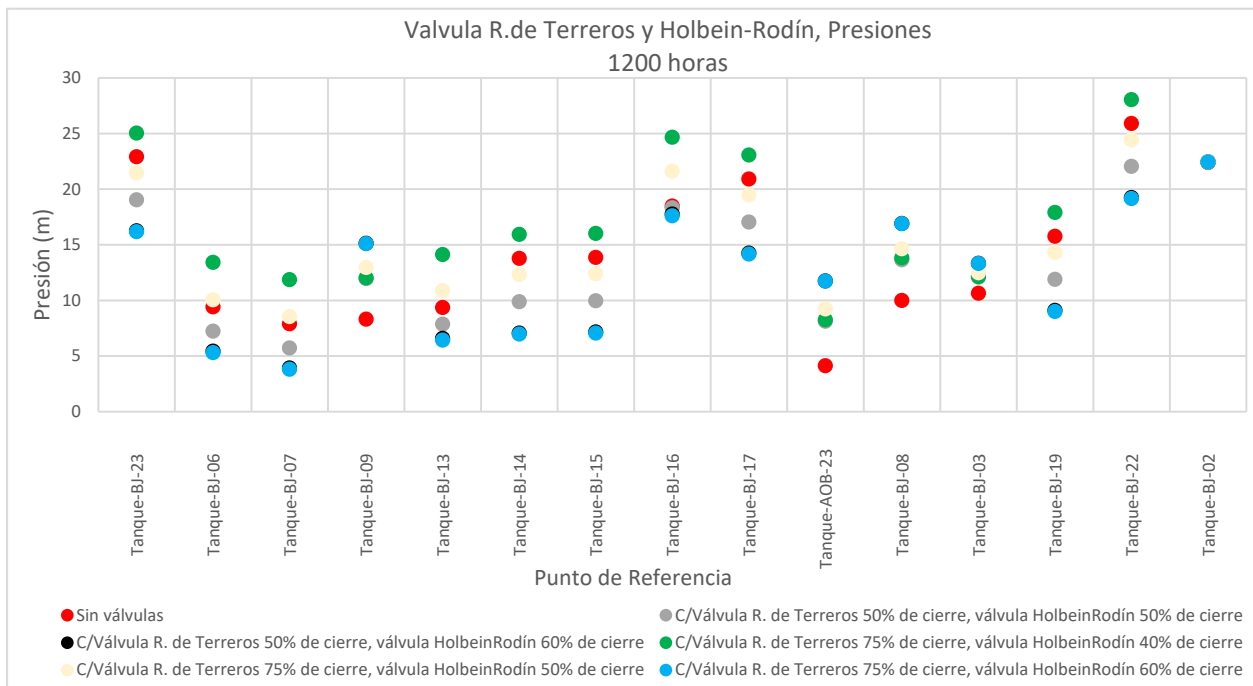
Figura 16 Ubicación válvulas R. de Terreros y Holbein-Rodín.

En la tabla no. 10 indica el porcentaje de cierre que se aplicará a cada válvula. En el caso de la válvula R. de Terreros solo se colocan dos diferentes porcentajes de cierre, debido a que estos son los que nos proporcionaron mejores resultados.

Válvulas	Porcentaje de cierre
Sistema actual	Sin válvulas
C/válvula 50% de cierre R. Terreros, % Holbein-Rodín	50%
	60%
C/válvula 75% de cierre R. Terreros, % Holbein-Rodín	40%
	50%
	60%

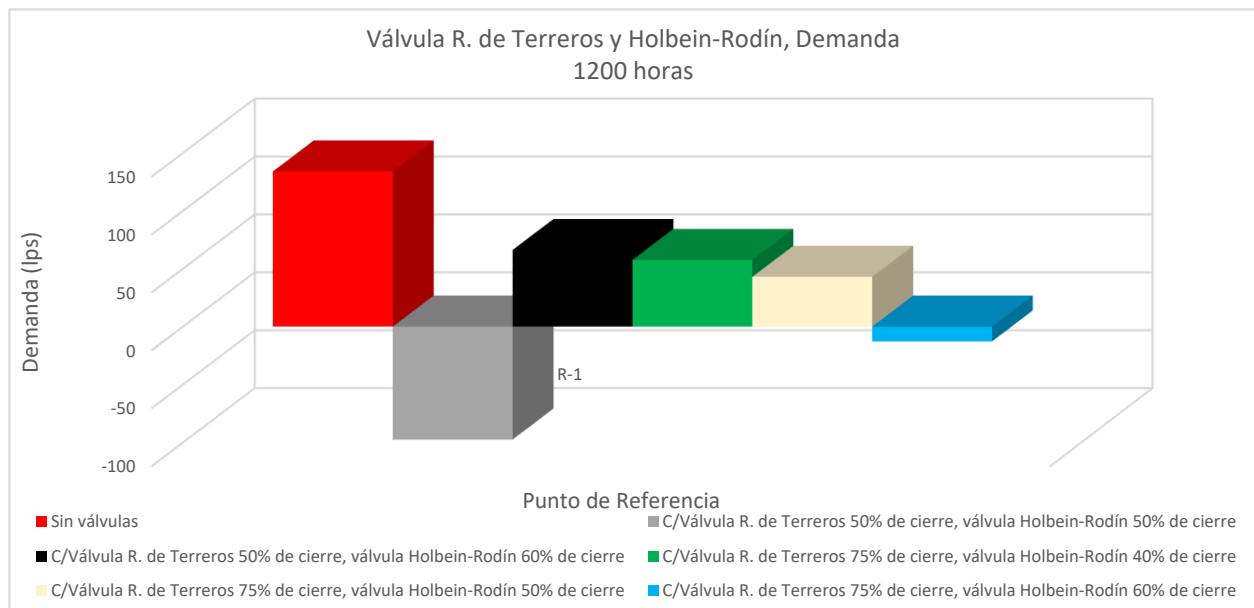
Tabla 10 Porcentaje de cierre válvula R. de Terreros y Holbein-Rodín.

En la gráfica no. 10 se observa, con respecto a la operación de la red sin válvulas de control, que el mayor aumento en la presión de los tanques del sistema 1 se obtiene cuando la válvula en R. de Terreros está cerrada un 75% y la válvula en Holbein-Rodín en un 40%.



Gráfica 10 Presiones válvula R. de Terreros y Holbein-Rodín, escenario 3.

En la gráfica 11 se muestra la demanda en el depósito de carga constante R-1 cuando las válvulas en R. de Terreros y Holbein-Rodín están cerradas con los diferentes porcentajes de cierre mencionados en la tabla no. 10. En esta misma gráfica se observa que para todas las propuestas, la demanda en el tanque R-1 es menor que el 50% de la demanda sin válvulas, por lo que ninguna de las opciones es factible.



Gráfica 11 Demanda válvula R. de Terreros y Holbein-Rodín.

Escenario no. 4

Con el fin de poder elevar las presiones en los tanques BJ-06 y BJ-07, en este escenario se propone una válvula que se ubicará entre las calles Texas-Indiana tal y como se muestra en la figura 17.

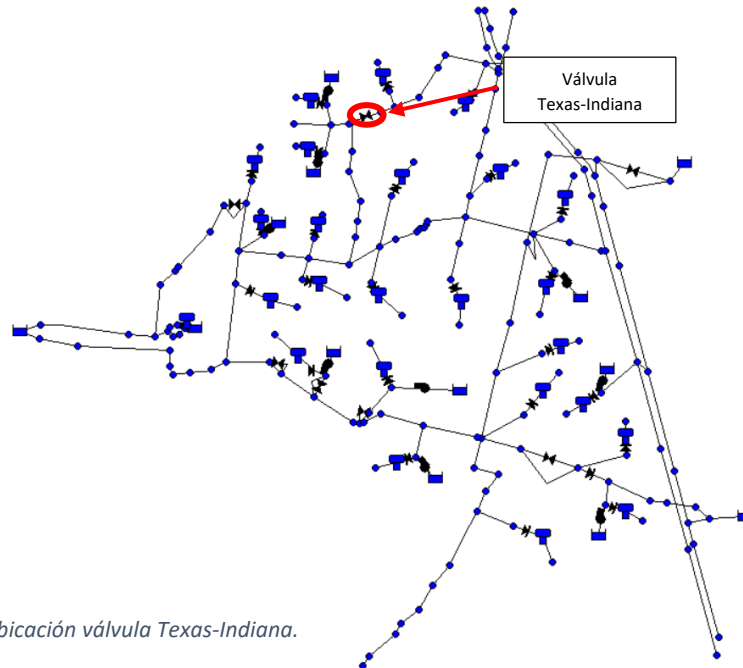


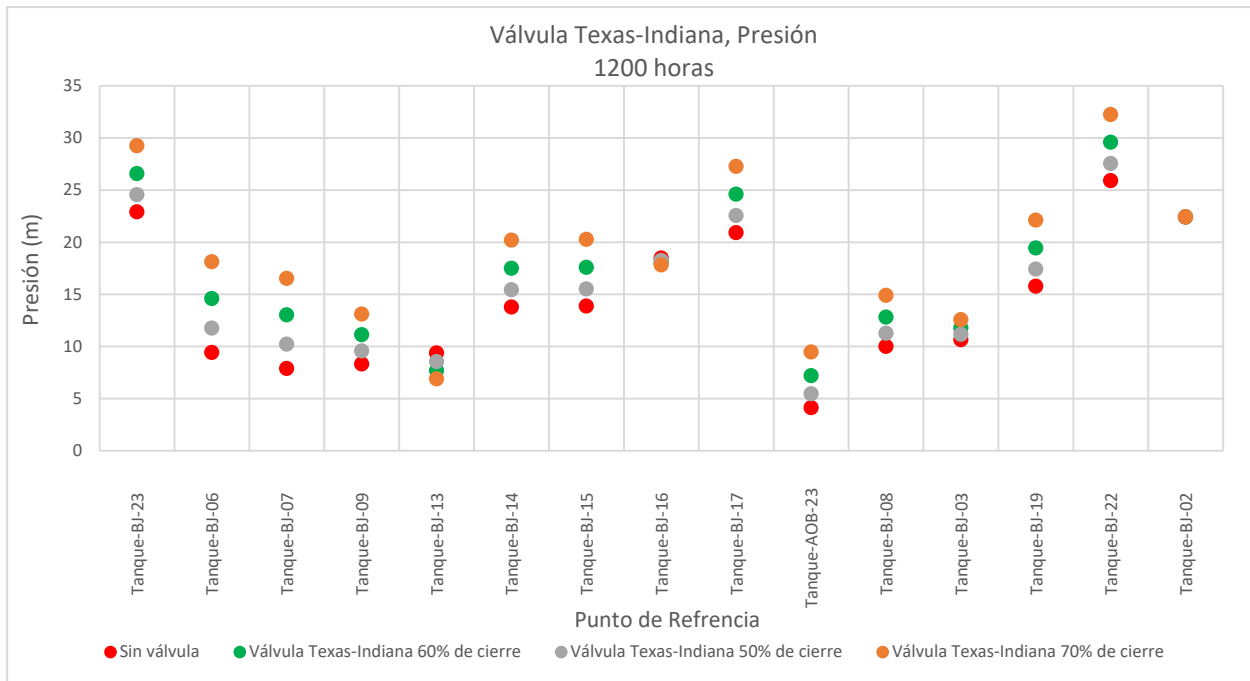
Figura 17 Ubicación válvula Texas-Indiana.

En este escenario, como en los anteriores, sólo mostraremos los mejores resultados obtenidos. En la tabla 11 se indican los porcentajes de cierre de la válvula al analizar la operación de la red.

Válvulas	Porcentaje de Cierre
Sistema actual	Sin válvula
C/válvula Texas-Indiana	50%
	60%
	70%

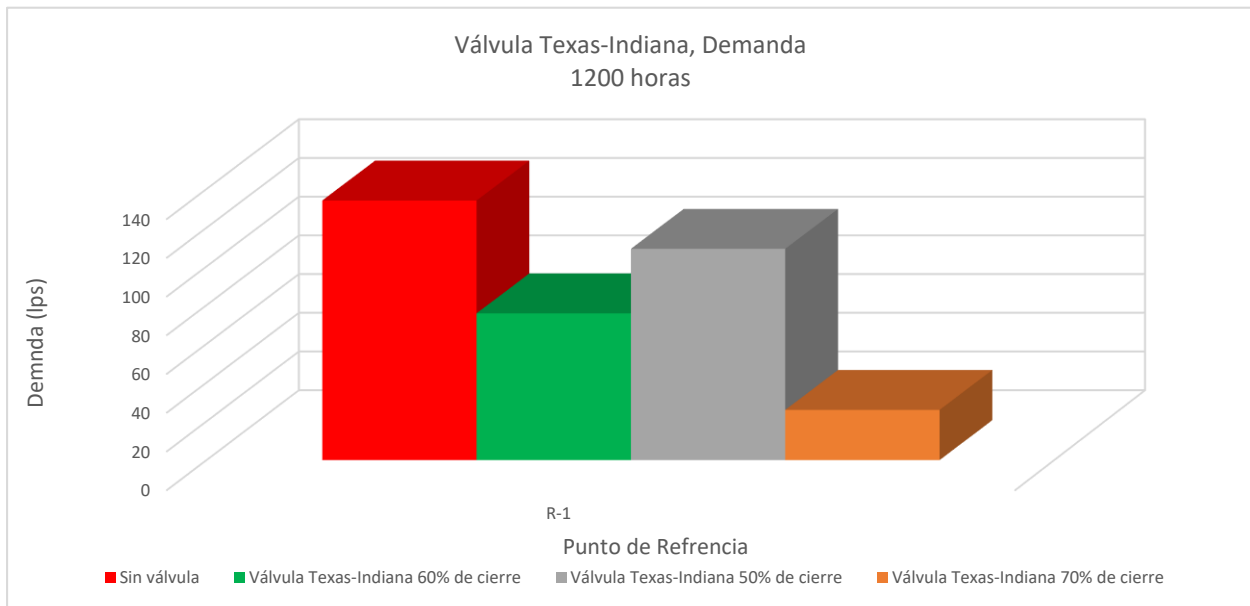
Tabla 11 Porcentaje de cierre válvula Texas-Indiana.

En la gráfica no. 12 se encuentran los resultados, dando a conocer que es necesario otra válvula, por sí misma esta válvula no genera mejores resultados a los escenarios 1 y 3.



Gráfica 12 Presiones válvula Texas-Indiana, escenario 4.

La demanda se observa en la gráfica no. 13 que se muestra a continuación. Indica que entre más incrementa el porcentaje de cierre de esta válvula disminuye considerablemente el flujo que llega al depósito R-1.



Gráfica 13 Demanda válvula Texas-Indiana.

Escenario 5

Se colocan juntas las válvulas en R. de Terreros y Texas-Indiana ver en la figura no. 18. Al colocarlas de esta manera los tanques BJ-06, BJ-07 y AOB-23 obtienen mejores presiones pero, en el depósito R-1 la demanda disminuye más del 50%.

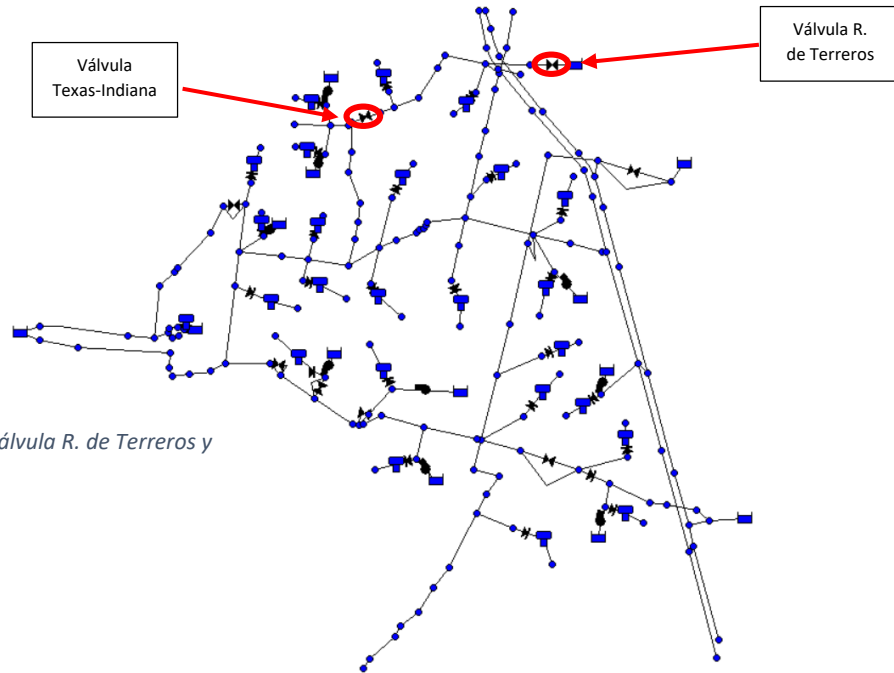


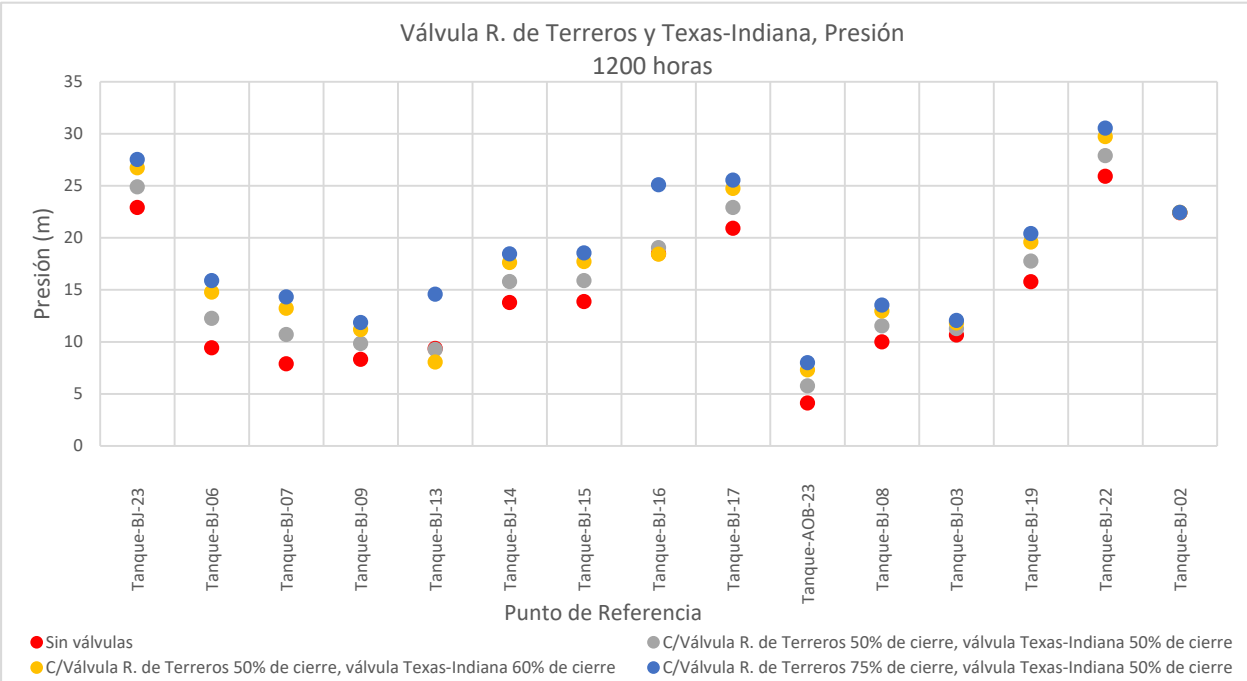
Figura 18 Ubicación válvula R. de Terreros y Texas-Indiana.

Los porcentajes de cierre de cada válvula para este escenario se muestran en la tabla no. 13. En lo que refiere a la válvula R. de Terreros se proponen 2 diferentes porcentajes de cierre.

Válvulas	Porcentaje de Cierre
Sistema actual	Sin válvulas
C/válvula 50% de cierre R. de Terreros, %Texas-Indiana	50%
	60%
	70%
C/válvula 75% de cierre R. de Terreros, %Texas-Indiana	50%
	60%

Tabla 12 Porcentaje de cierre en válvulas R. de Terreros y Texas-Indiana.

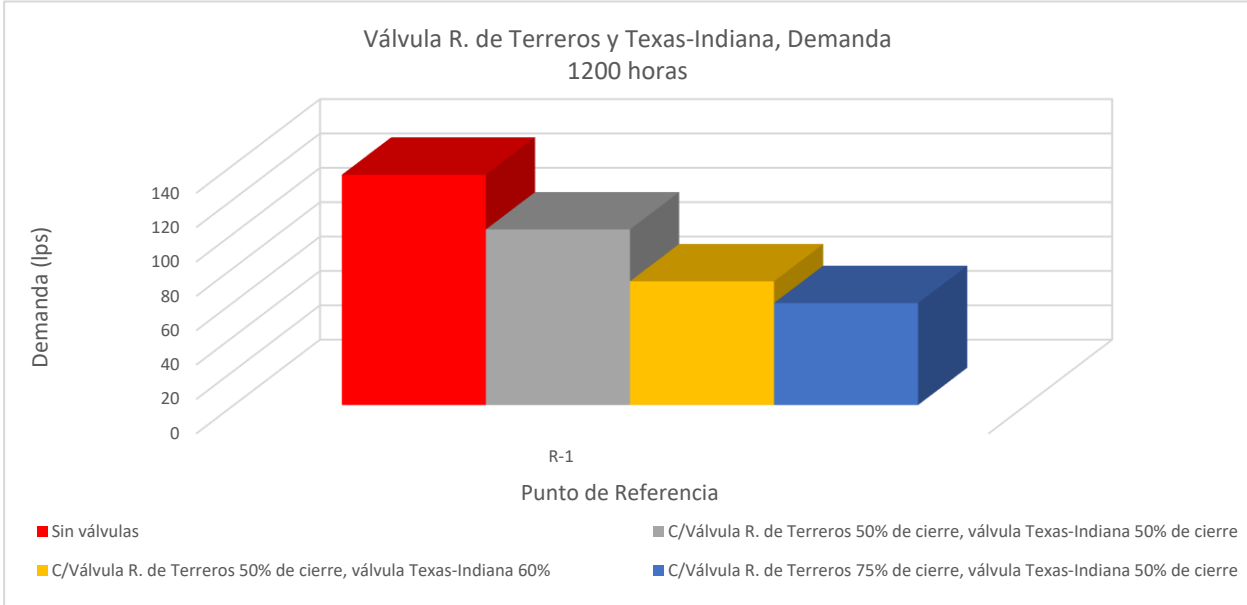
En la gráfica no. 14, se muestran las presiones obtenidas de los tanques.



Gráfica 14 Presiones válvulas R. de Terreros y Texas-Indiana, escenario 5.

En el proceso de revisión de estas dos válvulas, la propuesta que presenta mejores resultados es “C/válvula 75% de cierre R. de Terreros, válvula Texas-Indiana 50%”, la de color azul.

En la gráfica no. 15 se muestra la demanda que deberá llegar al depósito de carga constante R-1, se observa que en la propuesta de color azul, se incumple con la restricción de no disminuir más del 50% de su flujo sin válvulas.



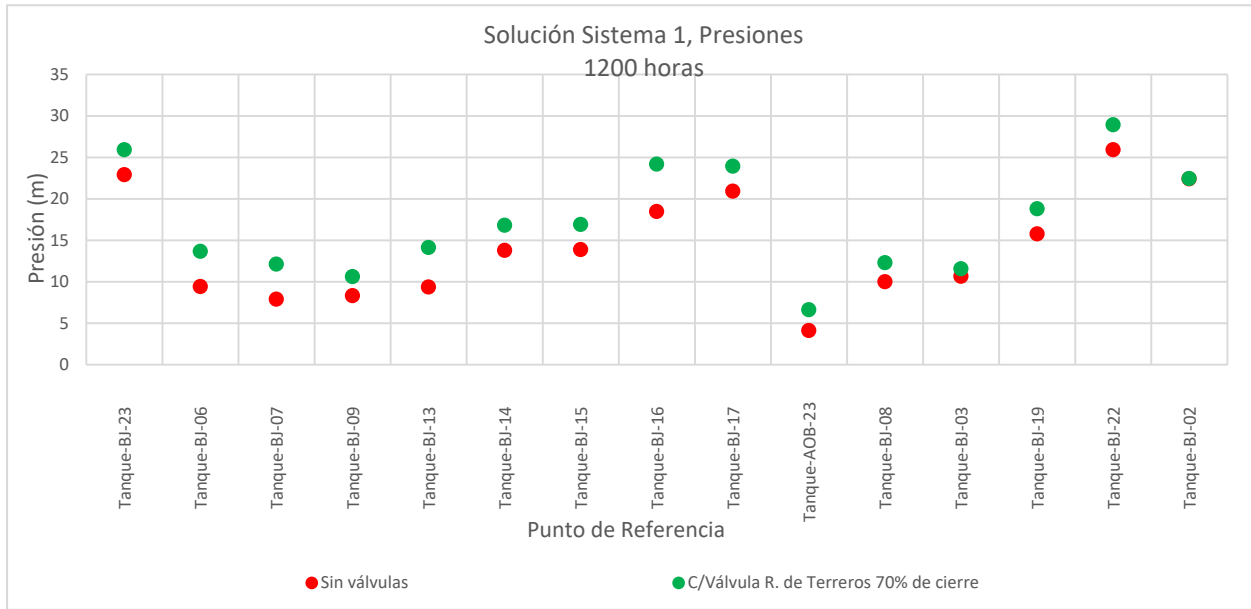
Gráfica 15 Demanda válvulas R. de Terreros y Texas-Indiana.

De los escenarios que se presentaron para el sistema 1, se obtuvo que sólo uno es factible. En la tabla no. 13 se muestran las presiones en los tanques del sistema 1 cuando trabaja sin válvulas de control y cuando opera con la válvula en R. de Terreros con 70% de cierre.

Presiones		
Tanque	Sin válvulas de Control (m)	C/válvula R. de Terreros 70% de cierre (m)
Tanque-BJ-23	22.9	25.91
Tanque-BJ-06	9.41	13.66
Tanque-BJ-07	7.88	12.11
Tanque-BJ-09	8.31	10.61
Tanque-BJ-13	9.36	14.11
Tanque-BJ-14	13.77	16.81
Tanque-BJ-15	13.86	16.9
Tanque-BJ-16	18.47	24.18
Tanque-BJ-17	20.91	23.93
Tanque-AOB-23	4.11	6.62
Tanque-BJ-08	9.99	12.29
Tanque-BJ-03	10.64	11.56
Tanque-BJ-19	15.76	18.78
Tanque-BJ-22	25.9	28.92
Tanque-BJ-02	22.39	22.43

Tabla 13 Presiones, Sistema 1.

Los resultados de la tabla no. 13 se presentan en la gráfica no. 16. Se observa que cuando el sistema opera sin válvulas, en 6 de los tanques existe una presión menor o igual a 10 m (BJ-03, BJ-06, BJ-07, BJ-08, BJ-09, BJ-13 y AOB-23), con la opción presentada la presión aumenta a valores mayores que 10 m, excepto en el tanque AOB-23 en el que la presión permanece por debajo de 10 m.

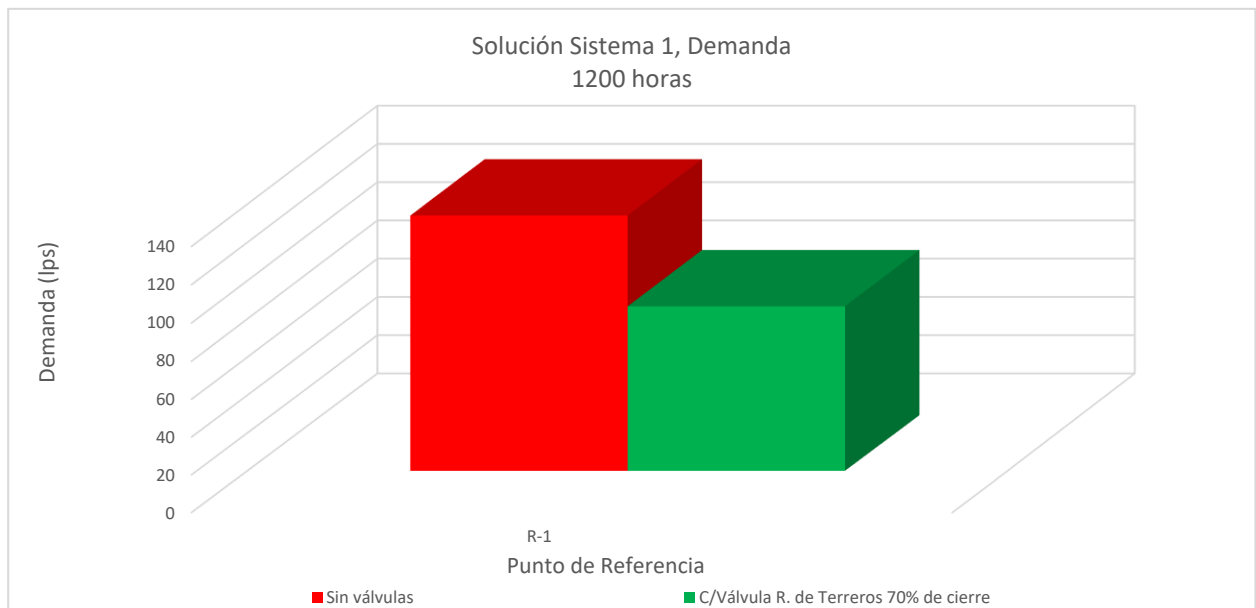


Gráfica 16 Presiones, Sistema 1.

En la tabla no. 14 y en la gráfica no. 17 que se muestran a continuación, se observan los resultados obtenidos en cuanto a la demanda en R-1.

Demanda		
Embalse	Sin válvulas de Control (lps)	C/válvula R. de Terreros 70% de cierre (lps)
R-1	134.07	86.6

Tabla 14 Demanda, Sistema 1.



Gráfica 17 Demanda, Sistema 1.

Con base en los resultados mostrados en las gráficas no. 16 y 17, se determina que usar la válvula denominada R. de Terreros con un porcentaje de cierre de 70% es la mejor opción para nuestro sistema no. 1.

b. Propuestas Sistema 2.

Como se indica en la tabla no. 6 (Presiones en el sistema 2), en este sistema existen 3 tanques que tienen presiones mayores que 40 m y 1 menor que 20 m, para regular la carga se analizan los siguientes 6 escenarios mostrados en la tabla no. 15.

Escenario	Válvulas utilizadas
A	Válvula Amores
B	Válvula Molinos
C	Válvula Rosas
D	Válvula Molinos y válvula Rosas
E	Válvula Amores y válvula Rosas
F	Válvula Amores, válvula Molinos y válvula Rosas

Tabla 15 Escenarios sistema no. 2.

Escenario A

En el primer escenario para la solución del sistema 2 se colocará una válvula de control ubicada en las calles Amores y Concepción Beistegui, ver en la figura no. 19. El propósito de colocarla en esta ubicación es elevar la presión en el tanque BJ-26 sin afectar de gran manera la demanda que recibe el depósito de carga constante R-2.

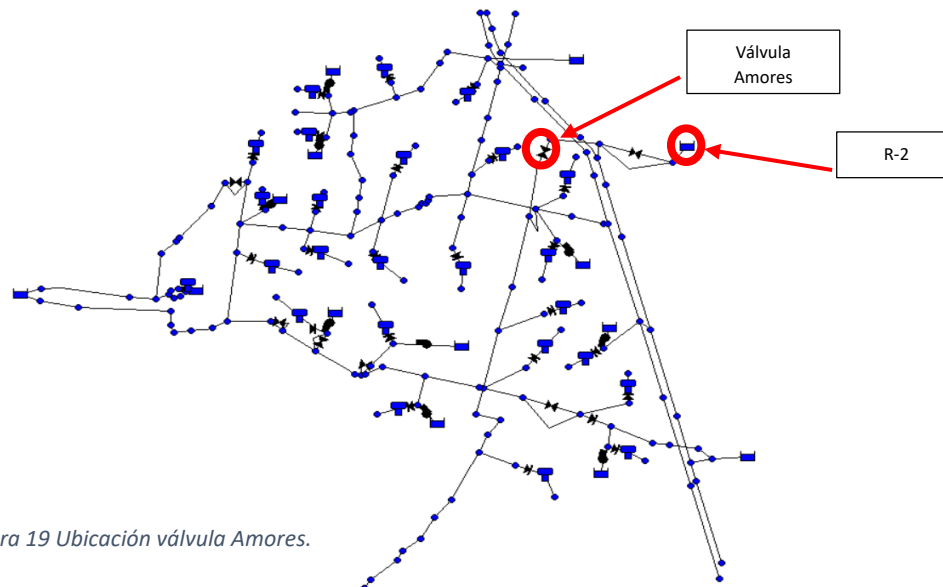


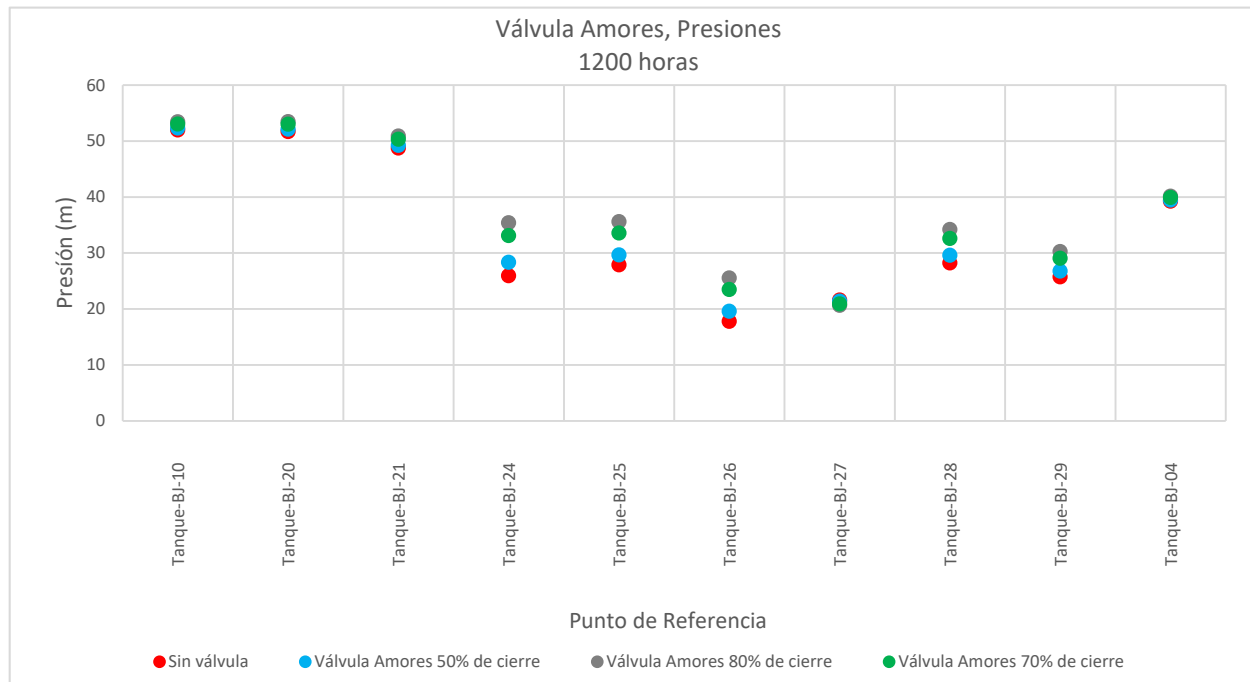
Figura 19 Ubicación válvula Amores.

Se analiza el comportamiento de la red con diferentes cierres de válvula. Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los porcentajes de cierre indicados en la tabla no. 16.

Válvula	Porcentaje de Cierre
Sistema Actual	Sin válvula
C/válvula Amores	50%
	70%
	80%

Tabla 16 Porcentaje de cierre en válvula Amores.

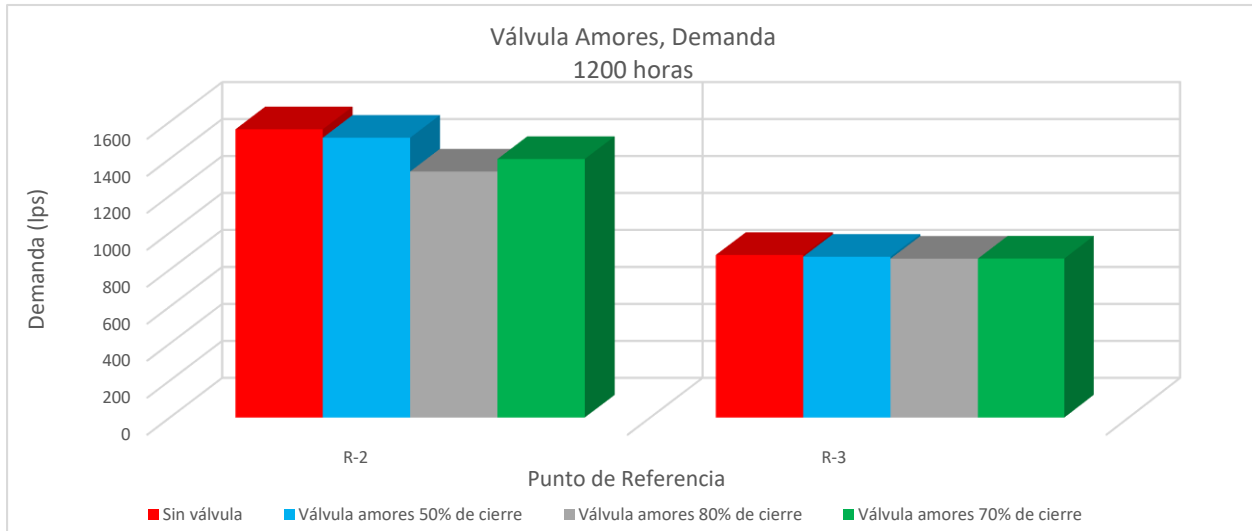
A los 50 días de operación de la red, las presiones medias en los tanques son las que se muestran en la gráfica no. 18.



Gráfica 18 Presiones válvula Amores, escenario A.

Al igual que para el sistema 1 se tiene que cumplir que el flujo en los depósitos de carga constante R-1, R-2 y R-3 sea mínimo del 50% de lo que se recibe sin válvulas. En la gráfica no. 19 se presentan los resultados.

Como se muestra a lo largo de este trabajo, se representa el sistema sin válvulas con color rojo y la mejor opción con verde, en este escenario se concluye que la mejor opción al evaluar ambas gráficas es "Válvula Amores 70% de cierre". Esta elección se debe a que se obtiene una presión mayor que 20 m en el tanque BJ-26, a pesar de que aumentan las presiones en los tanques BJ-24, BJ-25, BJ-27, BJ-28 y BJ-29, en ningún caso es mayor que 40 m y la demanda en R-2 y R3 es mayor que el 50% de la que tenía sin la válvula propuesta.



Gráfica 19 Demanda válvula Amores.

Escenario B

Se colocara una válvula sobre la calle Molinos y Rebull como se muestra en la figura no. 20, la ubicación se elige con la finalidad de disminuir las presiones en los tanques BJ-10, BJ-20 y BJ-21.

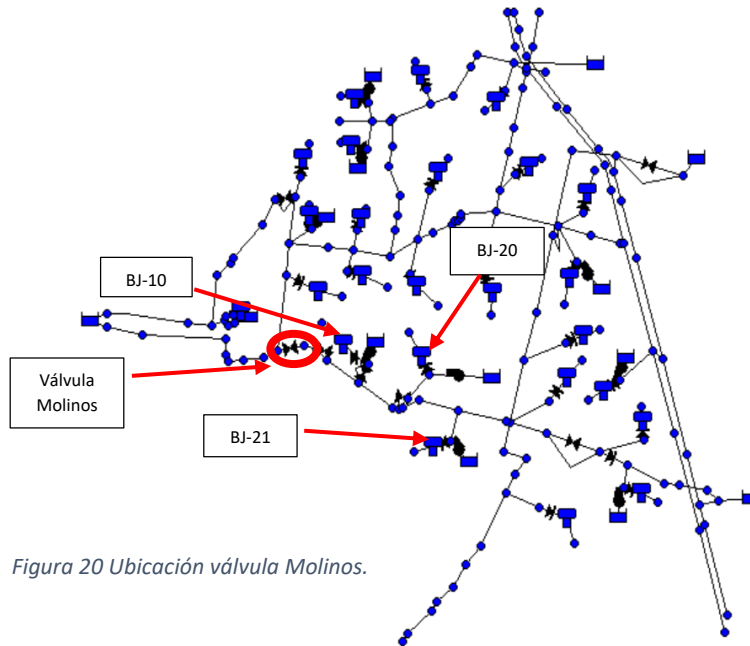


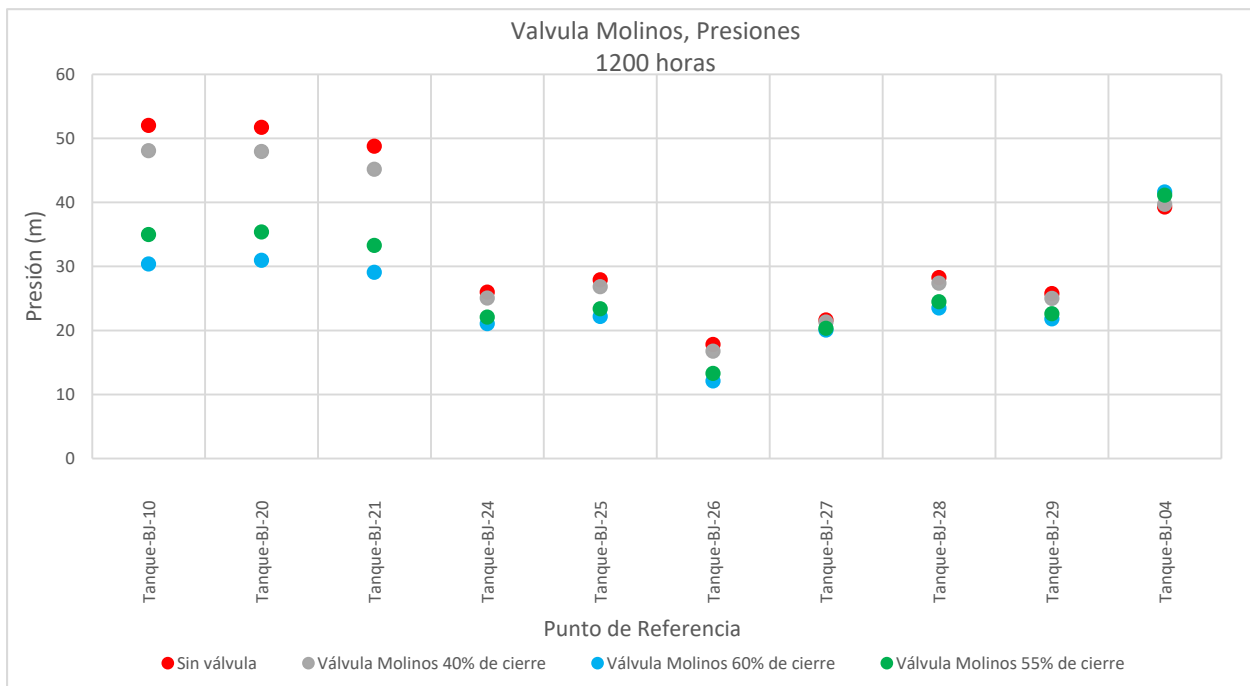
Figura 20 Ubicación válvula Molinos.

Se analiza el comportamiento de la red para los porcentajes de cierre de la válvula que se presentan en la tabla no. 17.

Válvulas	Porcentaje de Cierre
Sistema Actual	Sin válvulas
C/válvula Molinos	Molinos 40%
	Molinos 55%
	Molinos 60%

Tabla 17 Porcentaje de cierre en válvula Molinos.

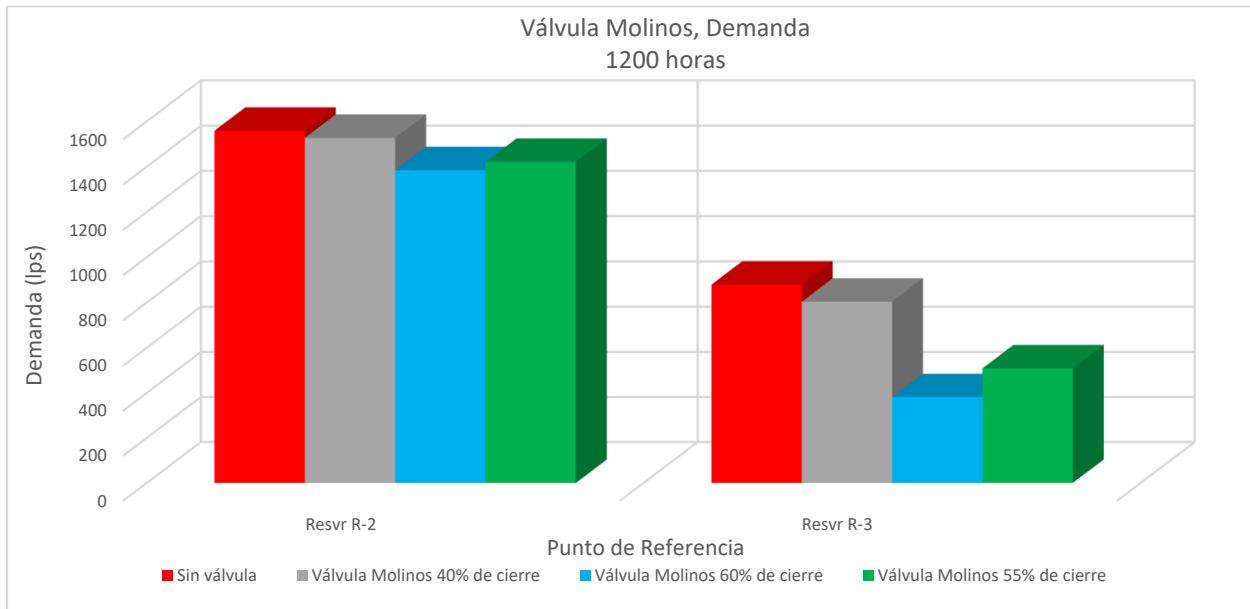
Las presiones medias de este escenario nos indican que la disminución de presión en los tanques BJ-10, BJ-20 y BJ-21 es favorable. En la gráfica no. 20 se muestran los resultados.



Gráfica 20 Presiones válvula Molinos, escenario B.

Al cerrar la válvula Molinos se pierde presión en los tanques BJ-10, BJ-20 y BJ-21 como ya se había mencionado antes. En gráfica no. 21 se muestra la demanda en R-2 y R-3 para los diferentes porcentajes de cierre.

Se observa que cuando la válvula está cerrada 55% la demanda en R-2 y R-3 es mayor que el 50% de la que tenía sin válvula.



Gráfica 21 Demanda válvula Molinos.

Escenario C

Se propone ubicar una válvula entre las calles Rosa de Fuego y Rosa de Castilla como se muestra en la figura 21.

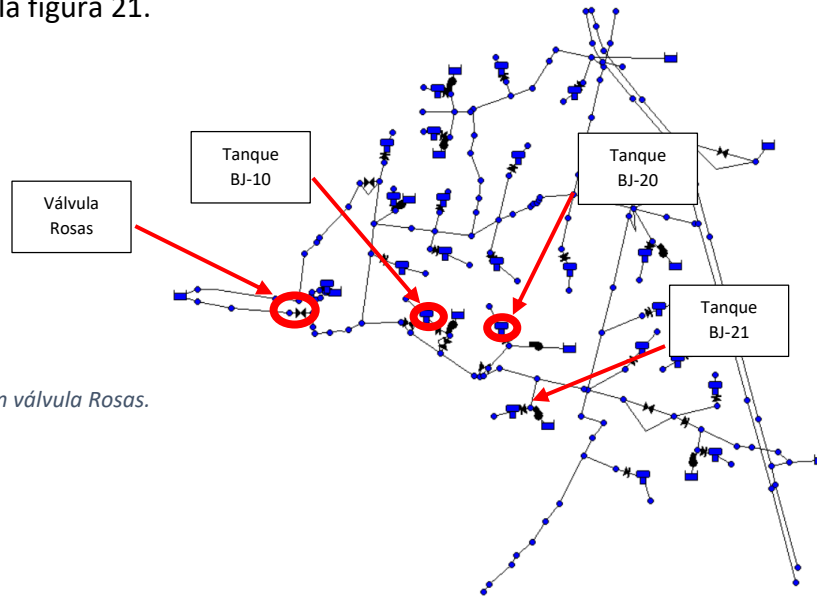


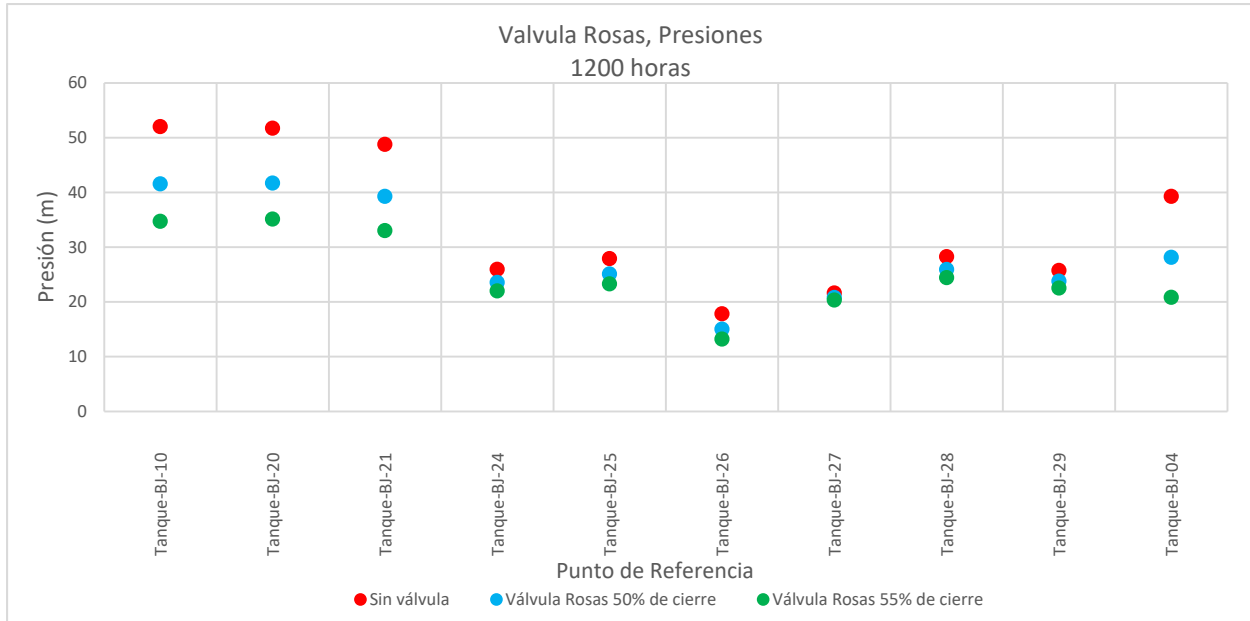
Figura 21 Ubicación válvula Rosas.

De todos los análisis realizados, en la tabla no. 18 se muestran solo aquellos que generan mejores resultados que el escenario anterior.

Válvulas	Porcentaje de Cierre
Sistema Actual	Sin válvulas
C/válvula Rosas	Rosas 50%
	Rosas 55%

Tabla 18 Porcentaje de cierre en válvula Rosas.

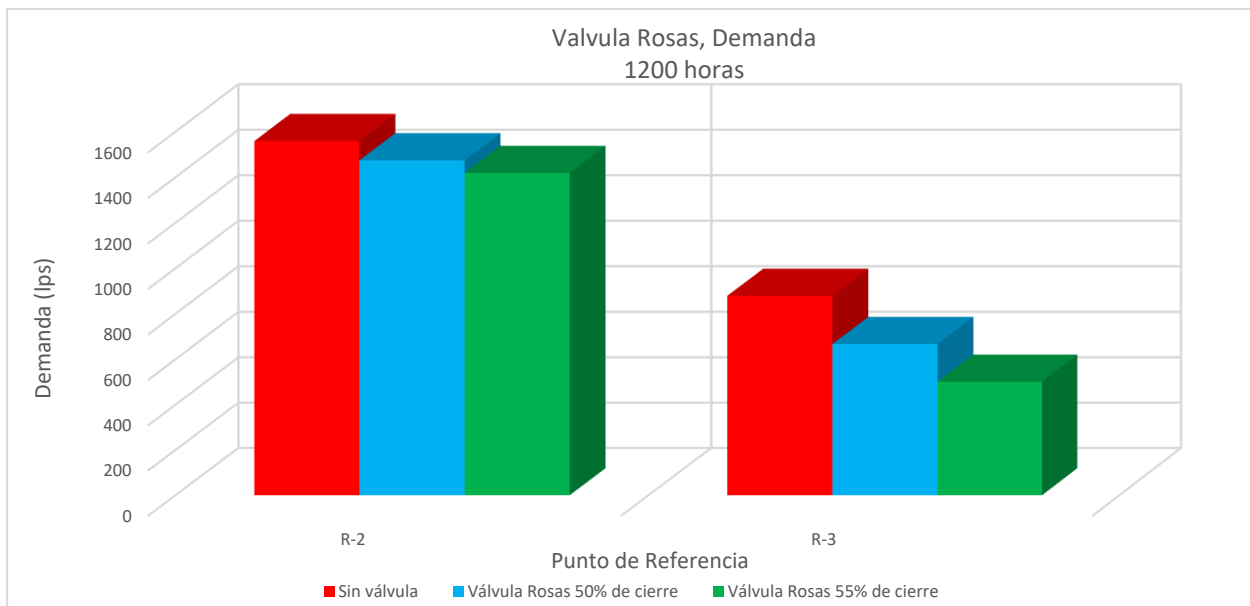
La presión en los tanques BJ-10, BJ-20 y BJ-21, que sin válvula, eran mayor que 50 m, con la válvula en Rosas cerrada 55% disminuye para establecerse entre 30 y 40 m, resultados de color verde de la gráfica no. 22. Si la válvula se cierra 50%, los tanques BJ-10 y BJ-20 aún mantienen presiones por encima de 40 m, por lo que descartamos esta propuesta.



Gráfica 22 Presiones válvula Rosas, escenario C.

En la gráfica no 23 se muestra la demanda en los depósitos de carga constante R-2 y R-3 para los casos de la tabla no. 18.

Debido a que con la opción “Válvula Rosas 55% de cierre”, las presiones en los tanques están entre 20 m y 40 m (excepto en el tanque BJ-26) y la demanda en los depósitos R-2 y R-3 es mayor al 50% de la demanda sin válvula, se elige esta opción como la mejor.



Gráfica 23 Demanda válvula Rosas.

Escenario D

En este escenario se utilizan las válvulas Molinos y Rosas, anteriormente se revisaron por separado, en esta instancia se realizará una combinación entre ambas.

La ubicación de estas válvulas se identificará en la figura no. 22.

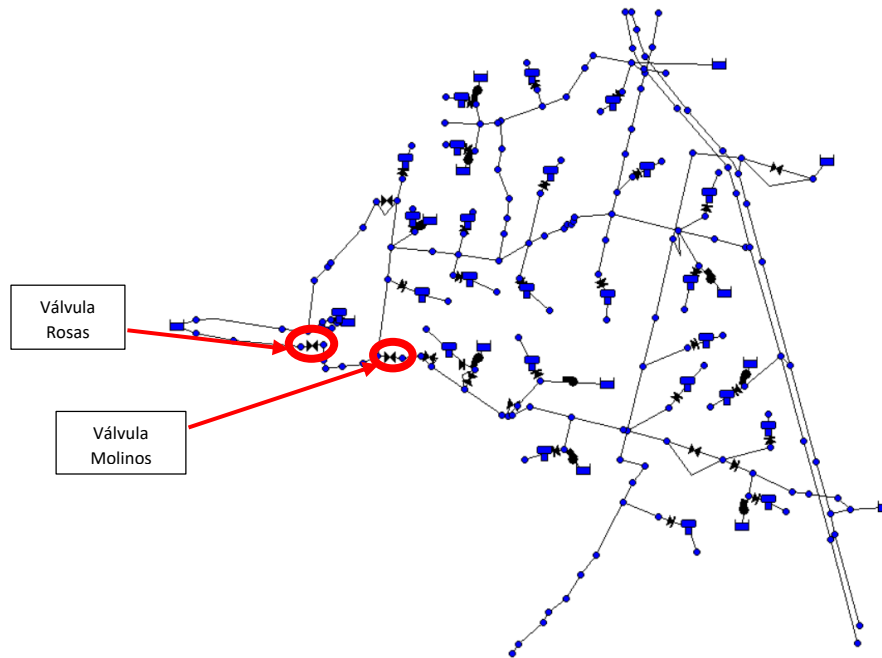


Figura 22 Ubicación de válvulas.

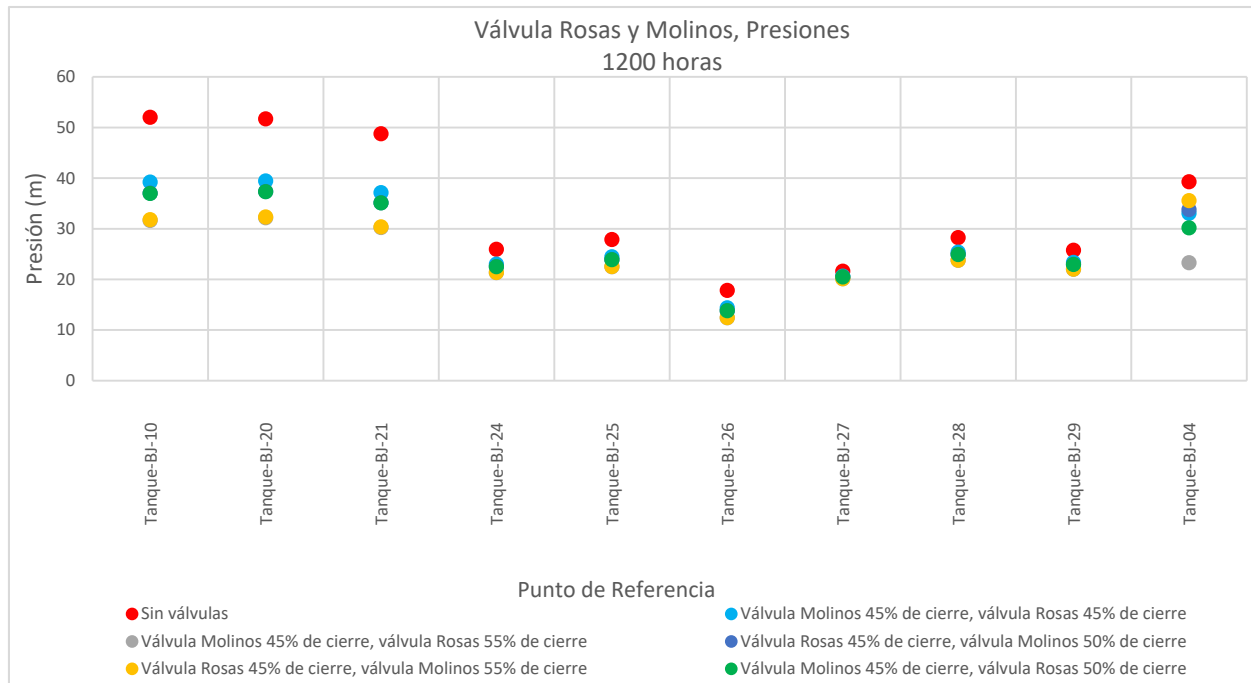
De todos los análisis realizados, en la tabla no. 19 se indican las combinaciones de porcentajes de cierre de válvulas con los que se obtuvieron los mejores resultados.

Válvulas	Porcentaje de Cierre
Sistema Actual	Sin válvulas
Válvula Molinos 45% de cierre, %Válvula Rosas de cierre	Rosas 45%
	Rosas 50%
	Rosas 55%
Válvula Rosas 45% de cierre, %Válvula Molinos de cierre	Molinos 50%
	Molinos 55%

Tabla 19 Porcentaje de cierre en válvulas Rosas y Molinos.

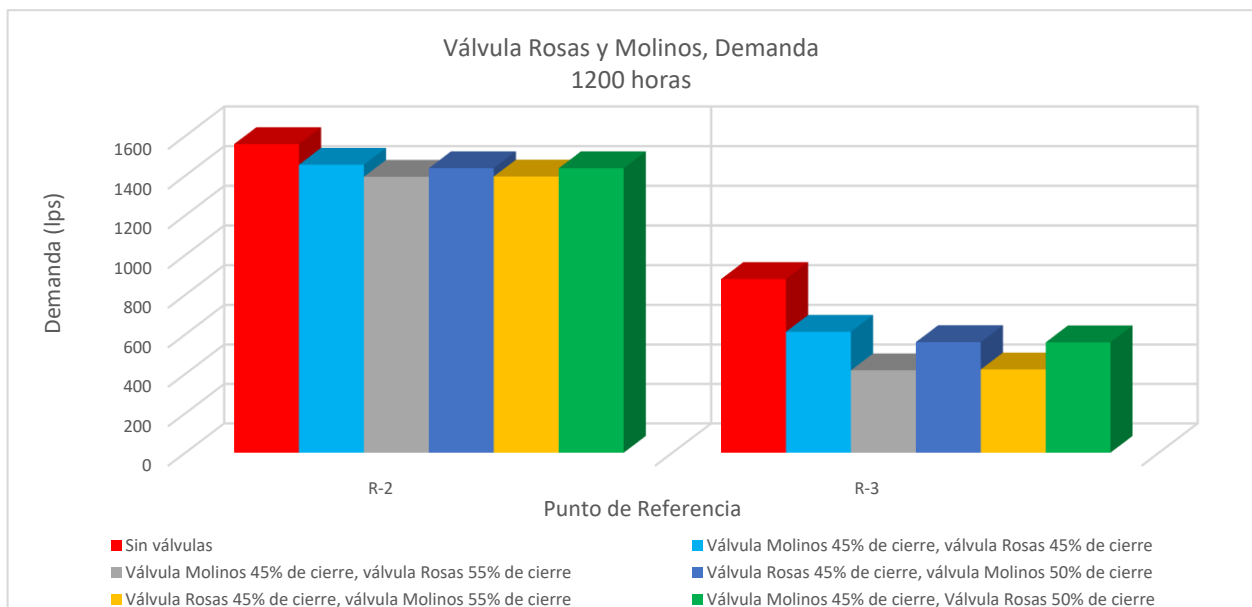
En la gráfica no. 24 se muestran las presiones de los tanques para todas las propuestas de la tabla no. 19.

Cabe señalar que en cuanto a presiones se refiere las combinaciones de color gris y verde obtienen resultados muy parecidos y mejores que las demás.



Gráfica 24 Presiones válvulas Molinos y Rosas, escenario D.

En la gráfica no. 25 es donde se representa la demanda en los depósitos de carga constante.



Gráfica 25 Demanda válvulas Molinos y Rosas.

Se tiene la combinación “Válvula Molinos 45% de cierre, válvula Rosas 55% de cierre” representado de color gris, afecta de mayor manera a los tanques R-2 y R-3, por lo que elige que el mejor resultado de este escenario el de “Válvula Molinos 45% de cierre, válvula Rosas 50% de cierre”.

Escenario E

En este escenario se usarán las válvulas Amores y Rosas, anteriormente se revisaron por separado, en esta instancia se realizará una combinación de ambas.

La ubicación de estas válvulas se muestra en la figura no. 23.

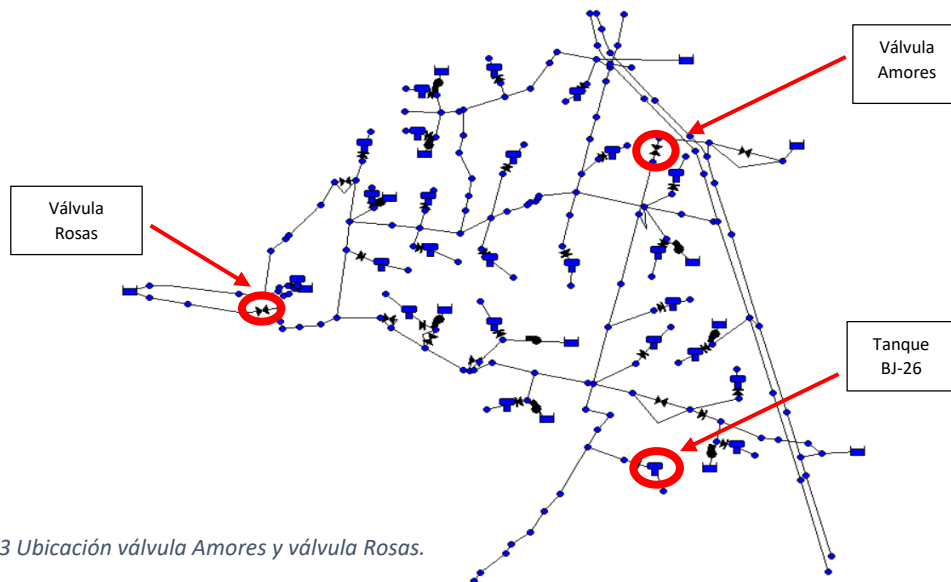


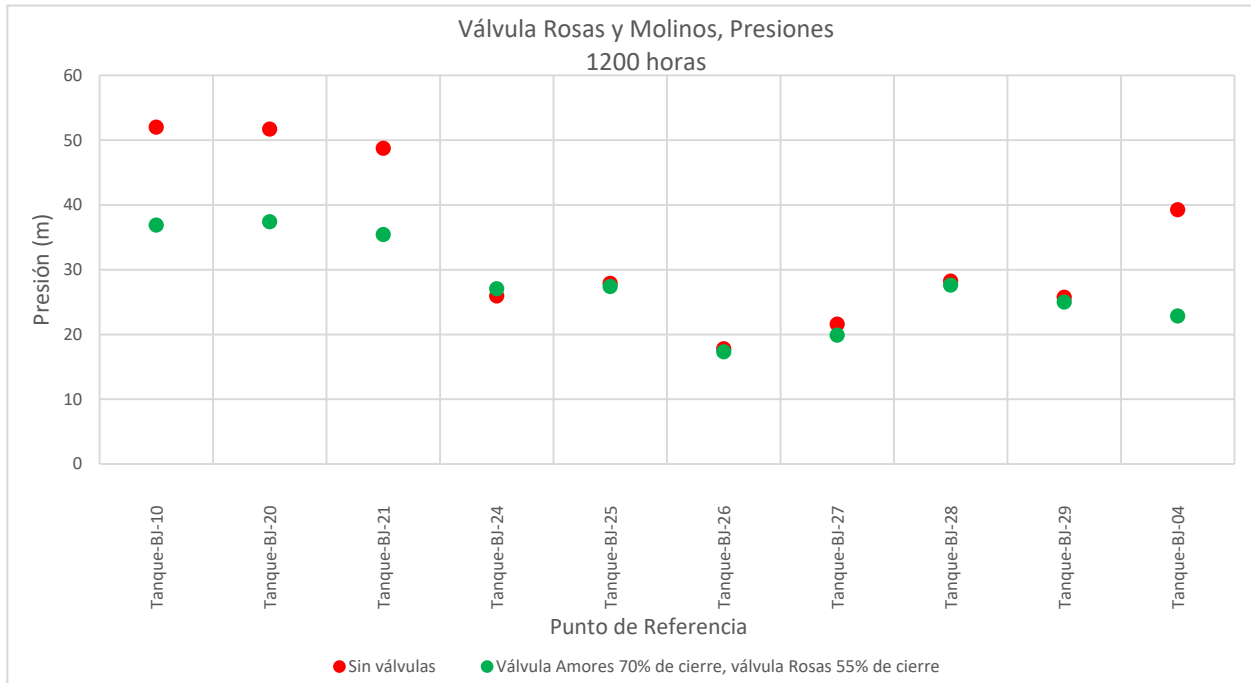
Figura 23 Ubicación válvula Amores y válvula Rosas.

En la tabla 20 se presentan las opciones que mejor generan resultados, con este escenario se busca subir la presión en el tanque BJ-26, hasta el momento no se ha podido hacer que mantenga su presión mayor que 20 m.

Válvulas	Porcentaje de Cierre
Sistema Actual	Sin válvulas
Válvula Amores 70% de cierre, %Válvula Rosas de cierre	Rosas 55%

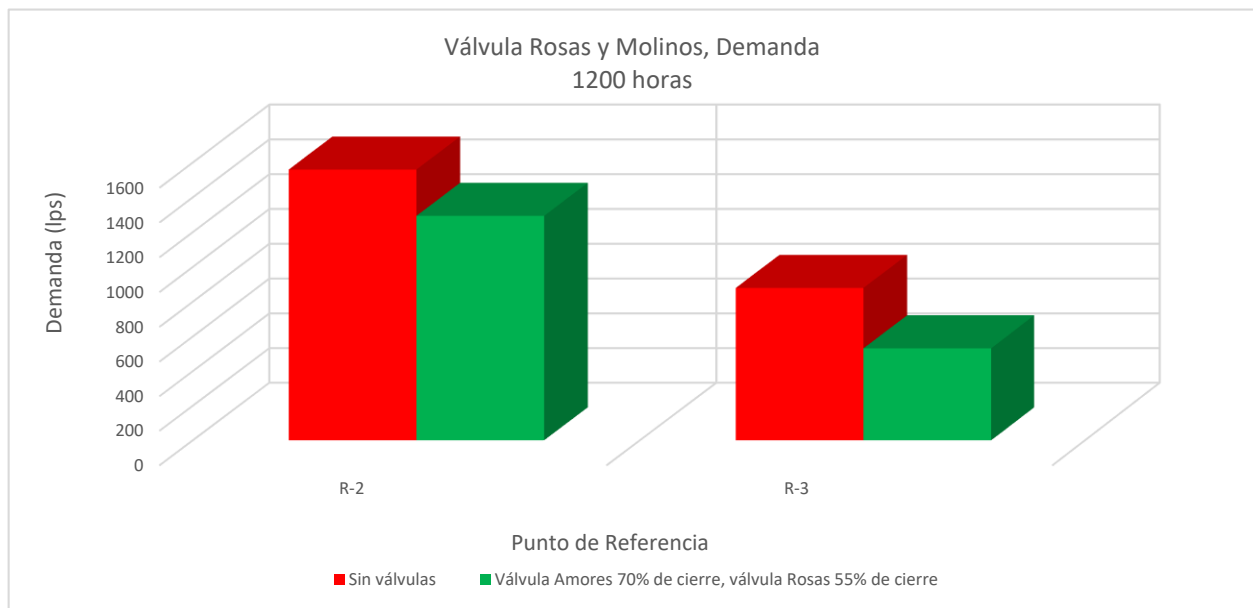
Tabla 20 Porcentaje de cierre en válvula Amores y válvula Rosas.

En la gráfica no. 26 se observan las presiones en este escenario, en los tanques BJ-10, BJ-20, BJ-21 y BJ-04 las presiones son menores que 40 m, mientras que en el tanque BJ-26 se mantiene debajo de 20 m, incumpliendo son el objetivo de este escenario.



Gráfica 26 Presiones válvula Amores y válvula Rosas, Escenario E.

En cuanto a la gráfica no. 27 está representada la demanda donde se lee que sí hay una disminución importante en comparación de cuando se presentan sin válvulas, por lo que no resulta ser mejor que los escenarios anteriores.



Gráfica 27 Demanda válvula Amores y válvula Rosas.

Escenario F

La propuesta en el escenario F es que trabajen juntas 3 válvulas, las cuales se identificaron como válvula Amores, Rosas y Molinos, véase en la figura no. 24.

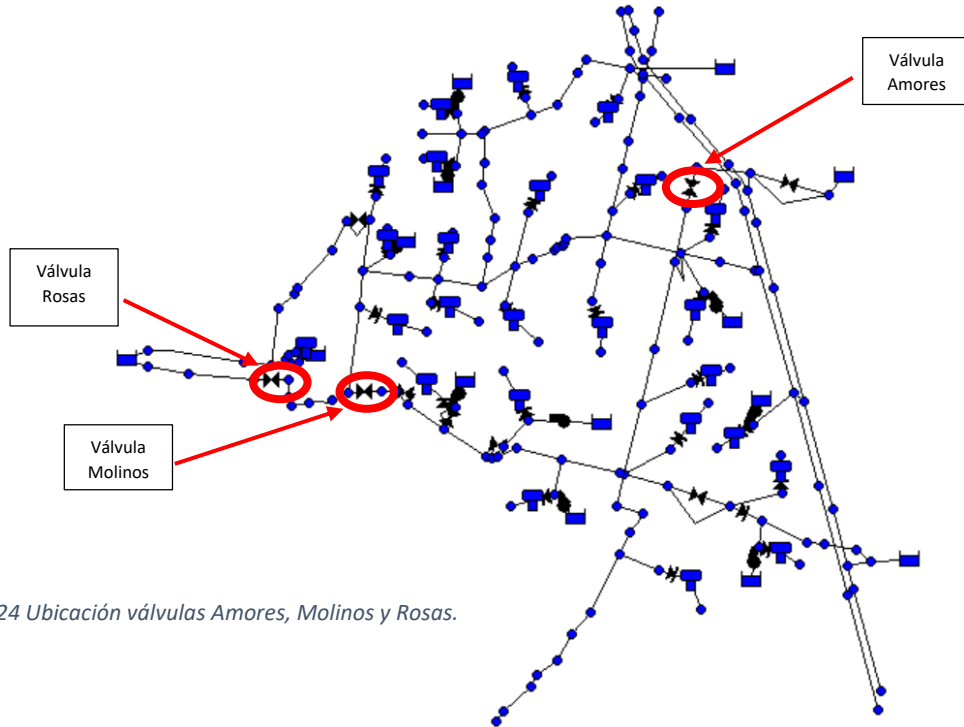


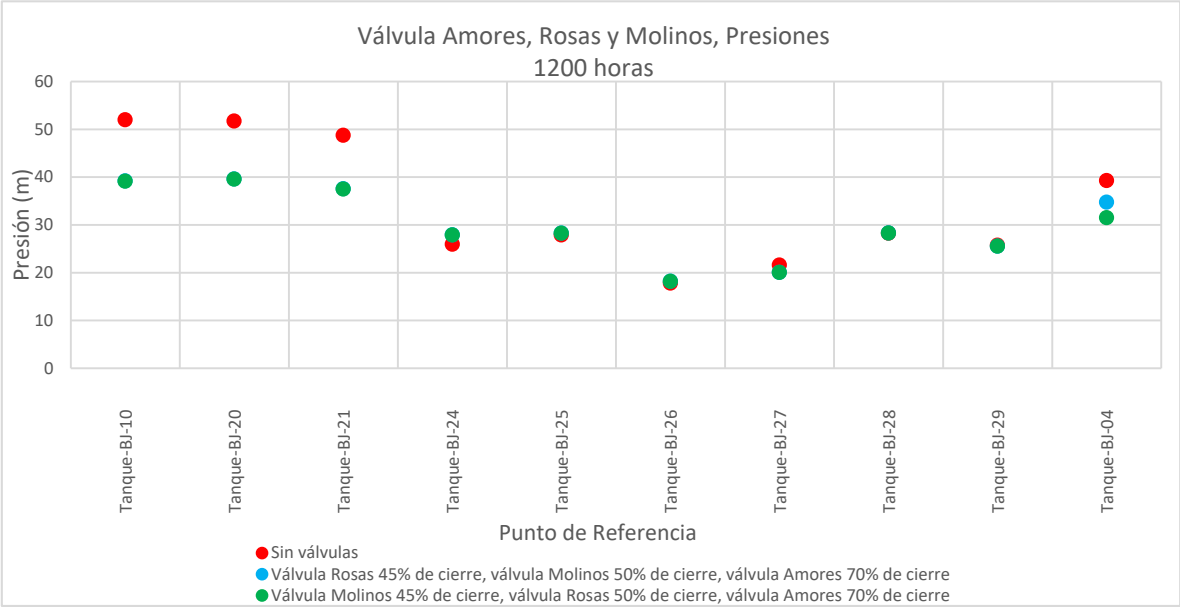
Figura 24 Ubicación válvulas Amores, Molinos y Rosas.

Las opciones de análisis para este escenario que se presentan en la tabla no. 21, se determinaron combinando las opciones que arrojaron los mejores resultados en los escenarios A y D.

Válvulas	Porcentaje de Cierre
Sistema Actual	Sin válvulas
Válvula Amores 70% de cierre, válvula Molinos 45% de cierre	Rosas 50%
Válvula Amores 70% de cierre, válvula Rosas 45% de cierre	Molinos 50%

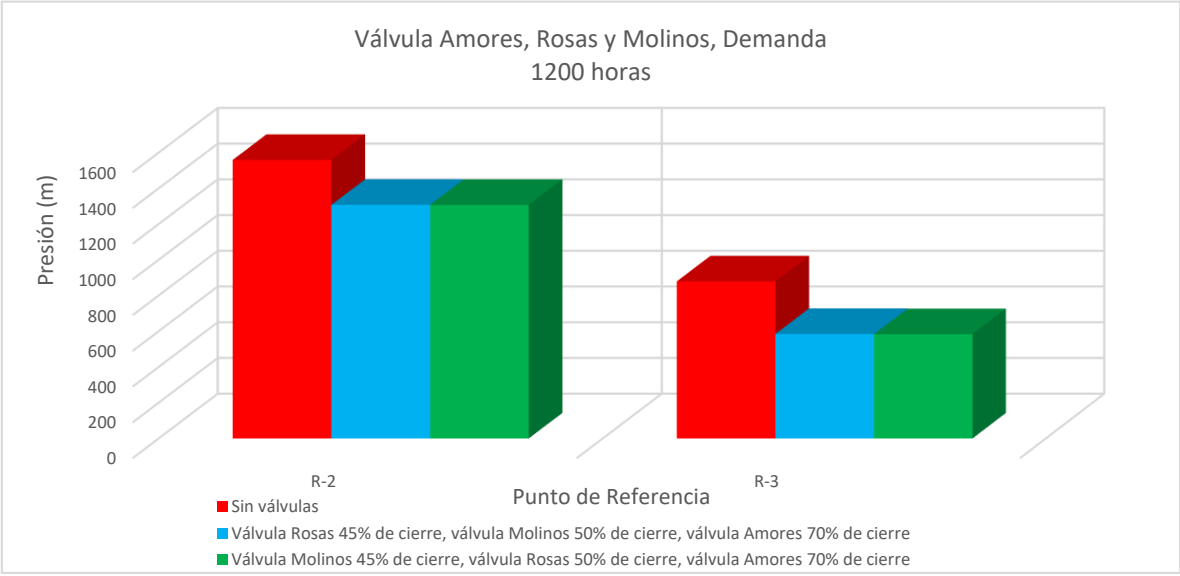
Tabla 21 Porcentaje de cierre en válvulas Amores, Molinos y Rosas.

Las presiones presentadas en la gráfica no. 28 muestra que con ambas opciones de la tabla no. 21, las presiones en los tanques del sistema 2, excepto en el tanque BJ-26, están entre 20 m y 40 m que es el intervalo objetivo.



Gráfica 28 Presiones válvula Amores, Molinos y Rosas, escenario F.

Se presenta la demanda de este escenario en la gráfica no. 29, se observa de manera evidente que el flujo que llega a los depósitos de carga constante R-2 y R-3 son casi iguales, en ambos casos cumplen con la restricción de no disminuir más del 50% en comparación de cuando opera sin válvulas; por esta razón, la propuesta “Válvula Molinos 45% de cierre, válvula rosas 50% de cierre, válvula Amores 70% de cierre” es la que brinda mejores resultados.



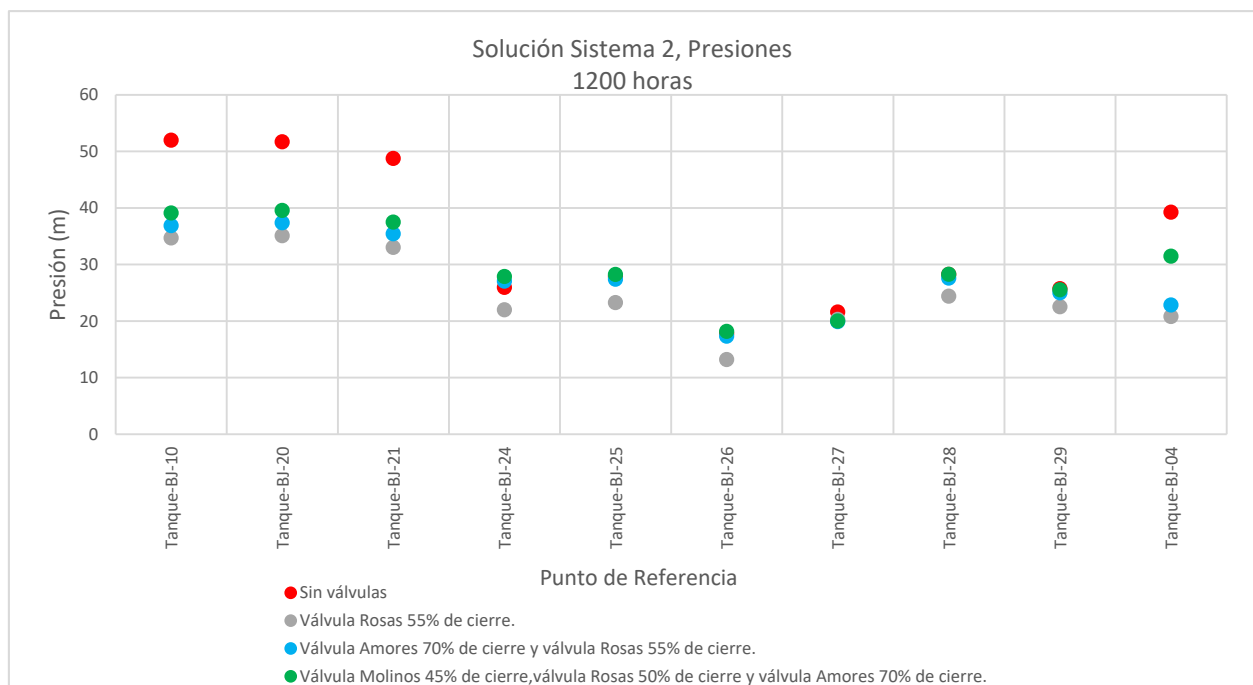
Gráfica 29 Demanda válvula Amores, Molinos y Rosas.

En la tabla no. 22 se muestra que con las propuestas indicadas, las presiones en los tanques están dentro del intervalo objetivo, entre 20 m y 40 m, excepto en el tanque BJ-26.

Presiones				
Tanque	Sin válvulas de Control. (m)	Válvula Rosas 55% de cierre. (m)	Válvula Amores 70% de cierre y válvula Rosas 55% de cierre. (m)	Válvula Molinos 45% de cierre, válvula Rosas 50% de cierre y válvula Amores 70% de cierre. (m)
Tanque-BJ-10	51.99	34.68	36.88	39.12
Tanque-BJ-20	51.7	35.1	37.39	39.55
Tanque-BJ-21	48.74	33.01	35.42	37.49
Tanque-BJ-24	25.94	21.98	27.05	27.88
Tanque-BJ-25	27.87	23.27	27.4	28.24
Tanque-BJ-26	17.79	13.19	17.32	18.16
Tanque-BJ-27	21.59	20.3	19.89	20.02
Tanque-BJ-28	28.23	24.4	27.6	28.28
Tanque-BJ-29	25.73	22.52	24.98	25.53
Tanque-BJ-04	39.25	20.81	22.84	31.48

Tabla 22 Presiones, Sistema 2.

En la gráfica 30, se comparan las presiones de las propuestas indicadas en la tabla no. 22.

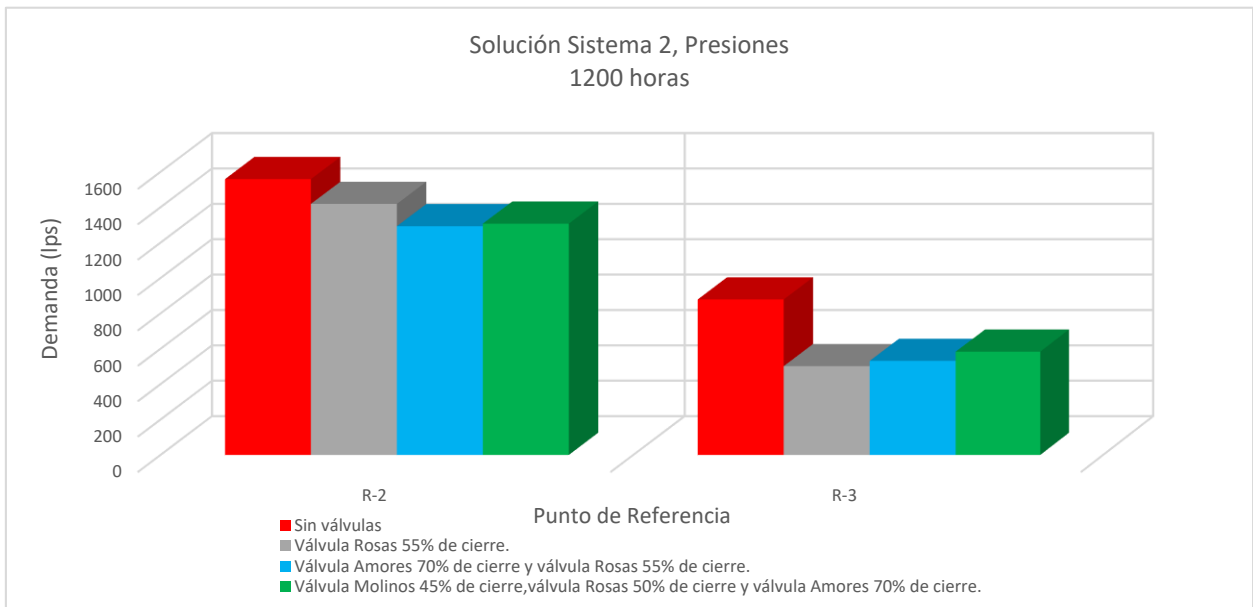


Gráfica 30 Solución Sistema 2.

En cuanto a los valores de la demanda de este análisis se encuentran en la tabla no. 23 y la gráfica no. 31, para las tres propuestas en los tanques la demanda es mayor que el 50 % de cuando el sistema opera sin válvulas, por lo que las tres propuestas satisfacen esta restricción.

Demanda				
Depósito de carga constante	Sin válvulas (lps)	Válvula Rosas 55% de cierre. (lps)	Válvula Amores 70% de cierre y válvula Rosas 55% de cierre. (lps)	Válvula Molinos 45% de cierre, válvula Rosas 50% de cierre y válvula Amores 70% de cierre. (lps)
R-2	1559.06	1418.9	1292.9	1307.19
R-3	878.88	501.64	531.73	583.65

Tabla 23 Demanda, Sistema 2.



Gráfica 31 Demanda, Sistema 2.

5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Al revisar los diferentes escenarios, se puede observar que hay diferentes combinaciones que nos arrojan resultados favorables. A lo largo de este trabajo se logra definir la mejor opción en cuanto a ubicación y porcentaje de cierre de válvulas para acercarnos al objetivo planteado, mantener las presiones en los tanques de demanda entre 20 m y 40 m, sin disminuir la demanda en los depósitos de carga constantes más allá del 50% de la misma cuando el sistema opera sin válvulas de regulación.

Se define que se ubicarán 3 válvulas de control a lo largo de la Red, las cuales se presentan en la figura no. 25

- Válvula R. de Terreros, ubicada sobre la calle Romero de Terreros en la colonia del Valle Norte, alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México
- Amores, ubicada sobre la calle Amores esquina con calle Concepción Beistegui en la colonia del Valle Norte, alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México
- Rosas, ubicada sobre la calle Rosa de Castilla esquina con calle Rosa de Fuego en la colonia Alfonso XIII, alcaldía Álvaro Obregón, Ciudad de México.

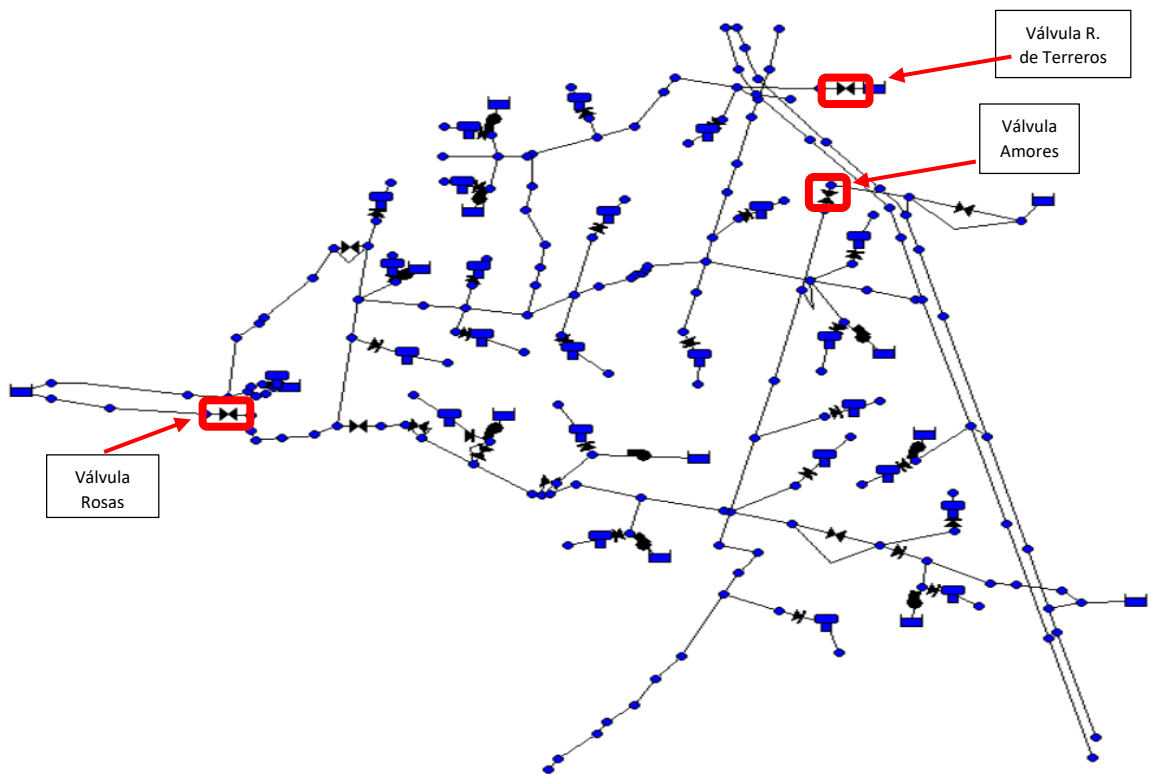


Figura 25 Válvulas R. de Terreros, Amores y Rosas.

Una vez que se ubican las válvulas, el porcentaje de cierre de cada una, será como se muestra en la tabla no. 24.

Válvula	Porcentaje de cierre (%)
R. de Terreros	70
Amores	70
Rosas	55

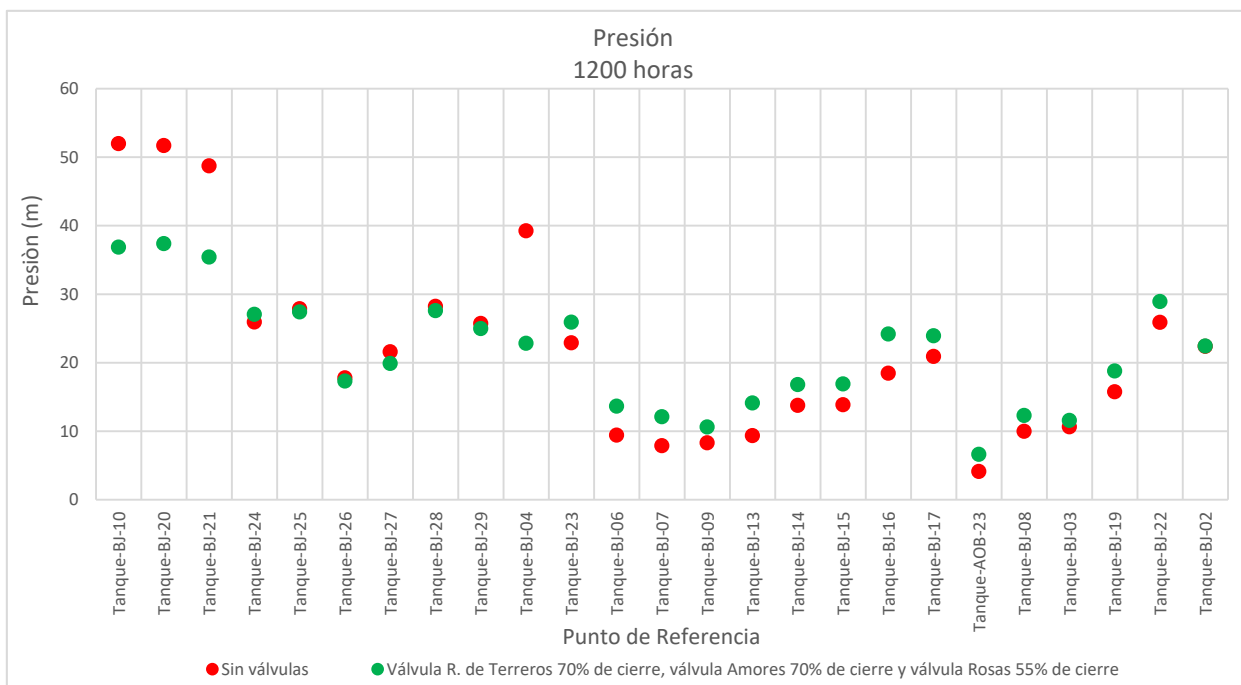
Tabla 24 Porcentajes de válvulas finales.

En la tabla no. 25 se realiza la comparativa de presiones en los tanques, cuando el sistema se encuentra sin válvulas y cuando se colocan las mostradas en la tabla no. 24.

Presiones		
Tanque	Presión sin válvulas (m)	Presión Sistema final. (m)
Tanque-BJ-10	51.99	36.88
Tanque-BJ-20	51.7	37.39
Tanque-BJ-21	48.74	35.42
Tanque-BJ-24	25.94	27.05
Tanque-BJ-25	27.87	27.4
Tanque-BJ-26	17.79	17.32
Tanque-BJ-27	21.59	19.89
Tanque-BJ-28	28.23	27.6
Tanque-BJ-29	25.73	24.98
Tanque-BJ-04	39.25	22.84
Tanque-BJ-23	22.9	25.91
Tanque-BJ-06	9.41	13.66
Tanque-BJ-07	7.88	12.11
Tanque-BJ-09	8.31	10.61
Tanque-BJ-13	9.36	14.11
Tanque-BJ-14	13.77	16.81
Tanque-BJ-15	13.86	16.9
Tanque-BJ-16	18.47	24.18
Tanque-BJ-17	20.91	23.93
Tanque-AOB-23	4.11	6.62
Tanque-BJ-08	9.99	12.29
Tanque-BJ-03	10.64	11.56
Tanque-BJ-19	15.76	18.78
Tanque-BJ-22	25.9	28.92
Tanque-BJ-02	22.39	22.43

Tabla 25 Presiones, Sistema final.

En la gráfica no. 32 se representan los datos de la tabla no. 25, se muestra de manera visual el cambio de presiones cuando no se usan válvulas con respecto a cuando se colocan las tres válvulas propuestas. Los resultados se pueden apreciar en cada uno de los tanques.



Gráfica 32 Presiones, Sistema final.

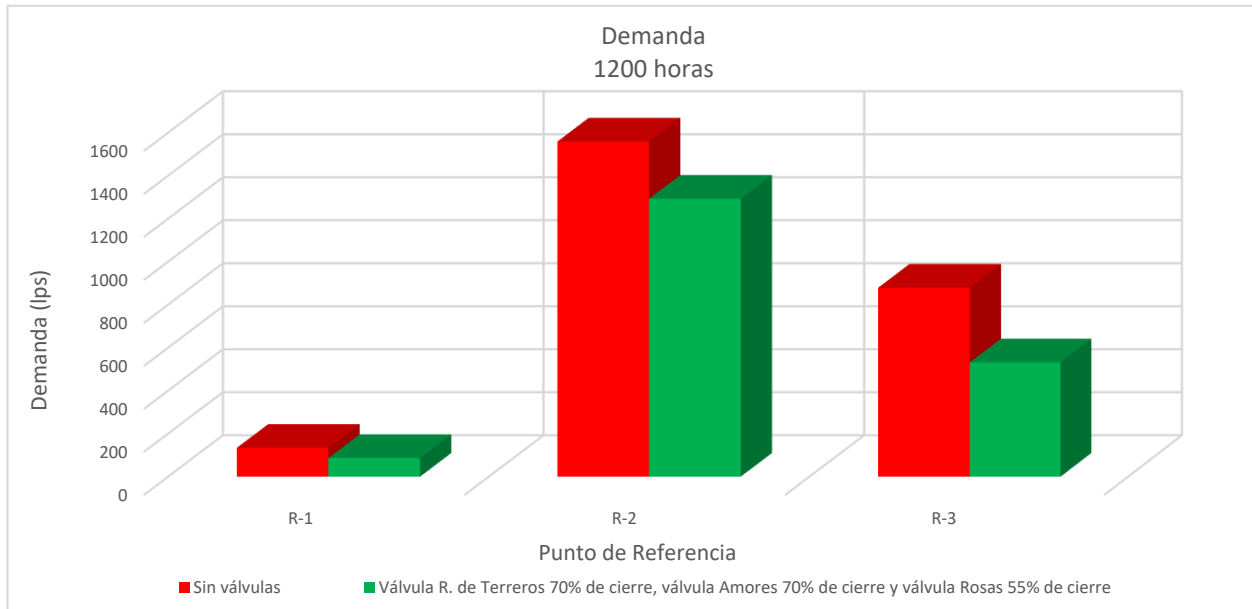
Los resultados nos indican que, en el sistema 2 se logra el objetivo de reducir las presiones en los tanques BJ-10, BJ-20, BJ-21 y BJ-04 las cuales se encontraban por encima de los 40 m y solo en el tanque BJ-26 la presión es menor que 20 m. Con respecto al sistema 1, se observa que en sólo cuatro tanques la presión es mayor que 20 m, en todos los demás, a pesar del aumento en la presión esta no rebasa los 20m.

En la tabla no. 26 se muestra la demanda que obtendrán los depósitos de carga constante R-1, R-2 y R-3, se observa que en ninguno de los casos tenemos una disminución mayor del 50 %, la cual era la restricción en este trabajo.

Demanda		
Tanque	Demanda sin válvulas (lps)	Demanda Sistema final (lps)
R-1	134.07	86.6
R-2	1559.06	1292.9
R-3	878.88	531.73

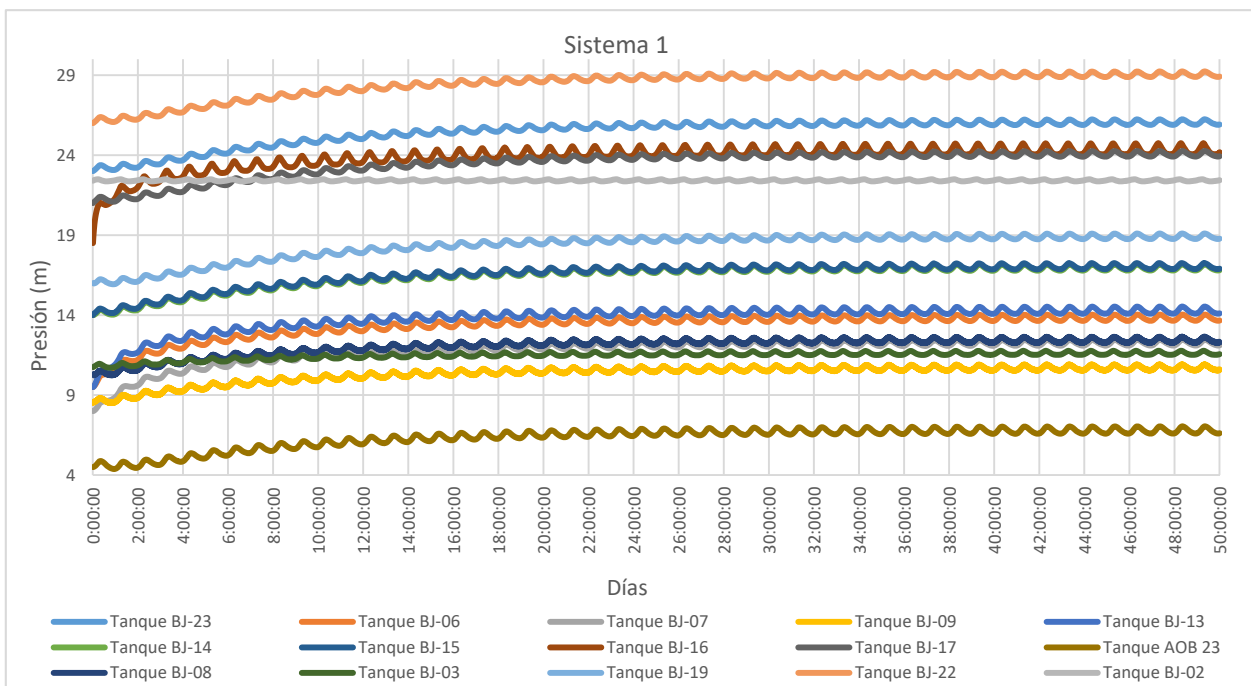
Tabla 26 Demanda, Sistema final.

Los resultados de la tabla no. 26 se muestran en manera visual en la gráfica no. 33, las barras de color rojo representan las demandas en los tanques R-1, R-2 y R-3 para la operación de la red sin válvulas, las de color verde cuando la red opera con las válvulas indicadas y con los porcentajes de cierre señalados.

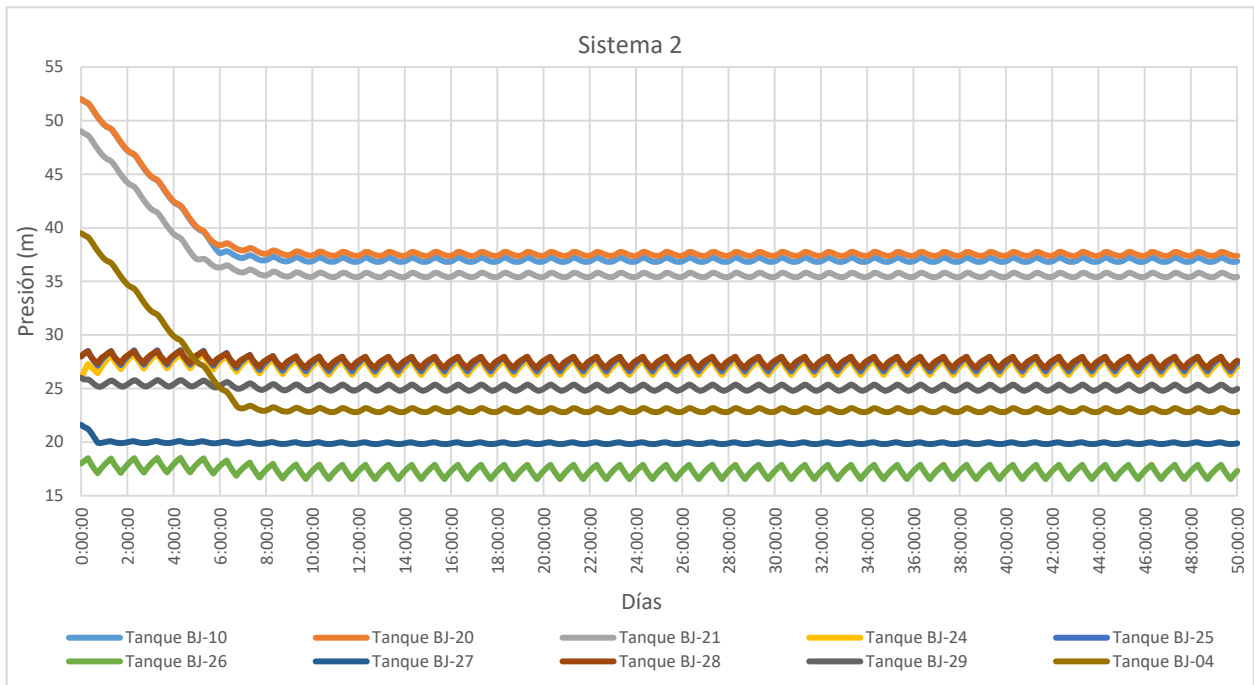


Gráfica 33 Demanda, Sistema final.

En las gráficas no. 34 y 35 se muestran las presiones en los tanques cuando la red opera con las tres válvulas propuestas durante un periodo de 50 días.



Gráfica 34 Presiones finales en el Sistema 1.



Gráfica 35 Presiones finales en el Sistema 2.

6. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (Vol. Redes de distribución). Ciudad de México: Naturales., Secretaria del Medio Ambiente y Recursos.

Karina Adriana Garcia Riveros, L. A. (2010). *Optimización de Redes de Distribución Hidráulica de Alta y Baja Presión (Tesis de Grado)*. San Juan de Aragon, Estado de México.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Megapolis, C. A. (09 de 10 de 2018). *Gobierno de México*. Obtenido de [https://www.gob.mx/comisionambiental/es/articulos/la-mancha-urbana-de-la-megalopolis?idiom=es#:~:text=El%20avance%20territorial%20de%20la,u.\(s.f.\)](https://www.gob.mx/comisionambiental/es/articulos/la-mancha-urbana-de-la-megalopolis?idiom=es#:~:text=El%20avance%20territorial%20de%20la,u.(s.f.))

Montes, F. J. (2006). *Estudio para identificar zonas con problemáticas de Infraestructura Hidráulica de la delegación Benito Juárez (Tesis de Grado)*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Rossman, L. A., Water supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, & U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (MAYO 2017). *EPANET 2 MANUAL DE USARIO*. CINCINNATI, OH, USA.