



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIÓN DE
INGENIERÍA**

**“COMPARACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN
SECTOR DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA
POTABLE DE LA CIUDAD DE MÉXICO AL REPRESENTAR
LA OPERACIÓN DE LAS BOMBAS DE ALGUNOS POZOS
CON CURVAS TEÓRICAS CONTRA DATOS MEDIDOS”.**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL:
TÍTULO DE ESPECIALISTA
EN:
HIDRÁULICA URBANA

PRESENTA:
ESMERALDA ANGULO FORTIZ

DIRECTORA:
M.C. LIBIA GEORGINA CARMONA PAREDES

CIUDAD DE MÉXICO, MARZO 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.

Contenido

1. Introducción	3
Objetivo:	5
Descripción:	5
2. Descripción del sector de la red primaria a analizar	5
3. Análisis del comportamiento hidráulico del sector de la red	8
4. Comparación del funcionamiento de la red al utilizar curvas teóricas contra curvas de datos reales.	26
5. Comentarios y conclusiones	50
6. Bibliografía	51

1. Introducción

La Ciudad de México, una de las ciudades más grandes del mundo, con 9.21 millones de habitantes, de acuerdo con datos de población quinquenal 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), recibe el líquido de tres fuentes principales: alrededor de 70% se obtiene de pozos de extracción subterránea, que se calcula son entre 400 y 600 en las distintas alcaldías, y el resto se obtiene principalmente del Sistema Lerma (administrado por el gobierno de la CDMX) y del Sistema Cutzamala (administrado por la CONAGUA).

El sistema Lerma-Cutzamala son obras de ingeniería hidráulica complejas puesto que su infraestructura inicia en Michoacán y luego pasa por el Estado de México para, finalmente, llegar a la CDMX, esto es posible gracias al trabajo de seis plantas de bombeo y de una potabilizadora, que se localizan en sus más de 330 kilómetros de canales abiertos, túneles y acueductos. Este sistema se alimenta con agua de lluvia de siete presas y cada segundo bombea aproximadamente 16 metros cúbicos. Sin embargo, la operación del Lerma-Cutzamala tiene un alto costo económico, social y ambiental ya que, al tener su origen a unos 150 kilómetros del Valle de México, el costo anual de operación es demasiado elevado, por la energía para el bombeo y distribución de líquido. Además, el 40% del agua que corre por las tuberías del Lerma-Cutzamala se pierde debido a las fugas en el sistema, el cual, es importante mencionar, solo cubre a unas cuantas zonas, puesto que los habitantes de algunas alcaldías al oriente, como Iztapalapa, sufren escasez de agua.

La extracción del agua del acuífero ha sido el factor que ha permitido en cierta medida, resolver el abastecimiento a la CDMX, sin embargo, ha sido necesario la construcción de pozos cada vez a mayor profundidad, dado el abatimiento de sus niveles estáticos y dinámicos, que son un reflejo claro del agotamiento del acuífero.

Actualmente la ciudad de México tiene problemas severos para abastecer de agua potable debido a su sobrepoblación, aunado a eso es una de las ciudades que más consume agua, en promedio 336 l/h/d y este consumo incrementa en zonas residenciales, lo que hace más exigente la demanda. Otro factor es la ubicación de la CDMX a 2 mil metros por encima del nivel del mar, lo que hace necesario el bombeo para elevar el vital líquido a la ciudad y por lo tanto costos extremadamente altos de operación. Las fugas en sus líneas de conducción primarias y secundarias hacen que se pierda un porcentaje importante del recurso que bien podría alimentar a las zonas con desabasto.

La sobreexplotación de los acuíferos está provocando que se busquen nuevas fuentes y se evite la extracción de agua en la ciudad, es por ello que como medida preventiva se recurre a la infiltración de agua de lluvia, en un intento por recuperar el abatimiento de los acuíferos, sin embargo, el volumen que se extrae es mayor al que se inyecta, cada segundo se extraen del subsuelo 45 metros cúbicos y sólo se

reponen 25 metros cúbicos, en consecuencia se compacta el suelo y propicia el hundimiento que va de diez centímetros por año, aunque en ciertos lugares como Xochimilco, Tláhuac, Ecatepec, Nezahualcóyotl y Chalco, el suelo se ha compactado hasta 40 centímetros en tan sólo un año. Estos asentamientos están provocando afectaciones a la red presentando fracturas, aunado a la edad de las tuberías que sobrepasa los 50 años, en consecuencia, se presentan fugas en el sistema.

Existen diferentes acciones que se pueden realizar para aminorar la problemática del desabasto de agua potable, tales como buscar nuevas fuentes de abastecimiento, que sin duda sería una solución segura. Sin embargo, es necesario antes de cualquier acción, mejorar el sistema actual que garantice un buen funcionamiento con cualquier fuente, eliminando o reduciendo las fugas en las líneas primarias y secundarias de la red, implementando un sistema de control que permita identificar el estado de la redes mediante sectorización, haciendo campañas y acercamiento con la población para crear conciencia y disminuir los consumos mediante cultura del agua, la captación de agua de lluvia e incremento de la capacidad de filtración de agua mediante pozos de absorción.

Por todo lo anterior en 2019 arrancó la estrategia de "Conformación de Sectores Hidrométricos", que considera la realización de un total de 466 sectores, que se establecerán en toda la red de las alcaldías de la CDMX, inicialmente arrancó en el poniente de la ciudad, en las alcaldías Álvaro Obregón y Benito Juárez, esta estrategia está a cargo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex).

La sectorización tiene como objetivo mejorar la distribución de agua potable de manera equitativa a toda la CDMX. Básicamente la sectorización consiste en dividir la red de agua en zonas aisladas hidráulicamente, con una sola entrada de agua, lo que permite comparar la cantidad entregada cada día con el consumo de los usuarios dentro del sector. Esta división en sectores se realiza delimitado mediante válvulas de seccionamiento y tapas ciegas que aislarán de otros sectores. Parte de la sectorización es implementar medidores de caudal y volumen en la entrada del agua, así como válvulas para control de presiones. De esta manera, en cada sector se pueden establecer esquemas de control de presiones y la comparación de suministro contra consumo de agua para reducción y reparación de fugas.

La estrategia inició con 26 de 49 sectores hidrométricos en la alcaldía Álvaro Obregón y 27 de 50 sectores en la alcaldía de Benito Juárez; debido a que mayormente el bloque de agua proveniente de los Sistemas Lerma y Cutzamala que entran por el poniente de la Ciudad de México y tiene una de sus llegadas principales en estas dos alcaldías y los pozos de extracción son menores en cantidad.

Objetivo:

El objetivo de este trabajo es comparar el funcionamiento de un sector de la red de distribución de agua potable de la Ciudad de México cuando la operación de algunas de las bombas de la red se representa con datos teóricos y cuando se utiliza información obtenida a través de medidas.

Descripción:

El sector de la red de distribución de agua potable de la Ciudad de México que se analiza en este trabajo se alimenta con el agua almacenada en un tanque y la cuál se extrae de un conjunto de pozos localizados en diferentes sitios de la red. La operación de las bombas instaladas en los pozos puede representarse con curvas de operación teóricas proporcionadas por los fabricantes, sin embargo, esto nos arrojará resultados teóricos pues sabemos que a través del tiempo estas curvas se van modificando. Para tener un mejor conocimiento del funcionamiento de la red, es necesario obtener las curvas de operación con datos reales y hacer análisis del sector con estas curvas. La comparación entre las cargas y demandas que se obtienen al utilizar curvas teóricas y reales permite observar qué tanto se han sobrestimado o subestimado esas variables, cuyos valores son la base para tomar decisiones que lleven a mejorar la operación de la red.

2. Descripción del sector de la red primaria a analizar

El sector de estudio pertenece a la sectorización de la Ciudad de México que se muestra en la imagen 1, este sector es alimentado por dos tipos de fuentes, por el tanque Santa Lucia el cual se abastece de agua potable del Sistema Cutzamala, así como se alimenta de agua extraída por 10 pozos profundos; el sector se encuentra ubicado al poniente de la Alcaldía Benito Juárez en colindancia con la Alcaldía Álvaro Obregón.

El Tanque Santa Lucia está ubicado en la Colonia Olivar del Conde 1ª. Sección, Alcaldía Álvaro Obregón en la cota 2310 msnm. La mayoría de los pozos profundos se encuentran en diferentes colonias de la Alcaldía Benito Juárez a excepción de un pozo ubicado en la Alcaldía Álvaro Obregón.

Pozo	Ubicación (Colonia)
ABO4	Alonso XIII
BJ03	Rosendo Arnaiz

BJ06	Jardín Bombo
BJ07	Miraflores
BJ10	La Campana
BJ20	Parroquia 2
BJ21	Acacias
BJ23	La Huerta
BJ27	Parroquia
BJ2	Jardín Morelos

Tabla 1 Pozos de extracción

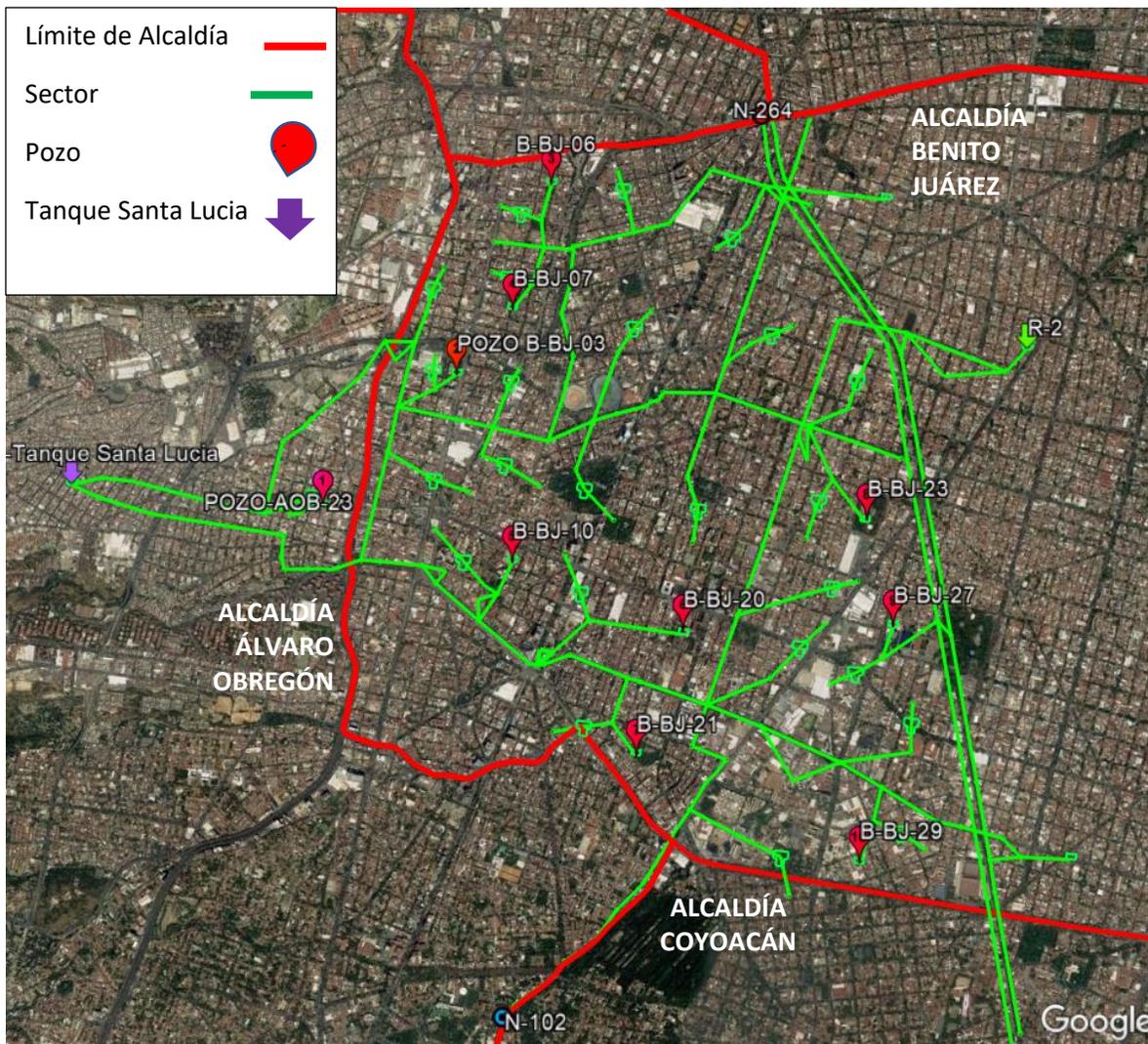


Imagen 1 Sector de estudio

Las líneas primarias del sector son de diámetros de 48", 36", 20" y 12" con una rugosidad del material de 0.013 por lo que muy probablemente sean de asbesto cemento.

La topografía de la zona en la que se encuentra el sector es prácticamente altimetría plana, a excepción de donde se encuentra el tanque Santa Lucía en zona alta, existiendo un desnivel de este punto, que es el más alto, al punto más bajo de 59 m.

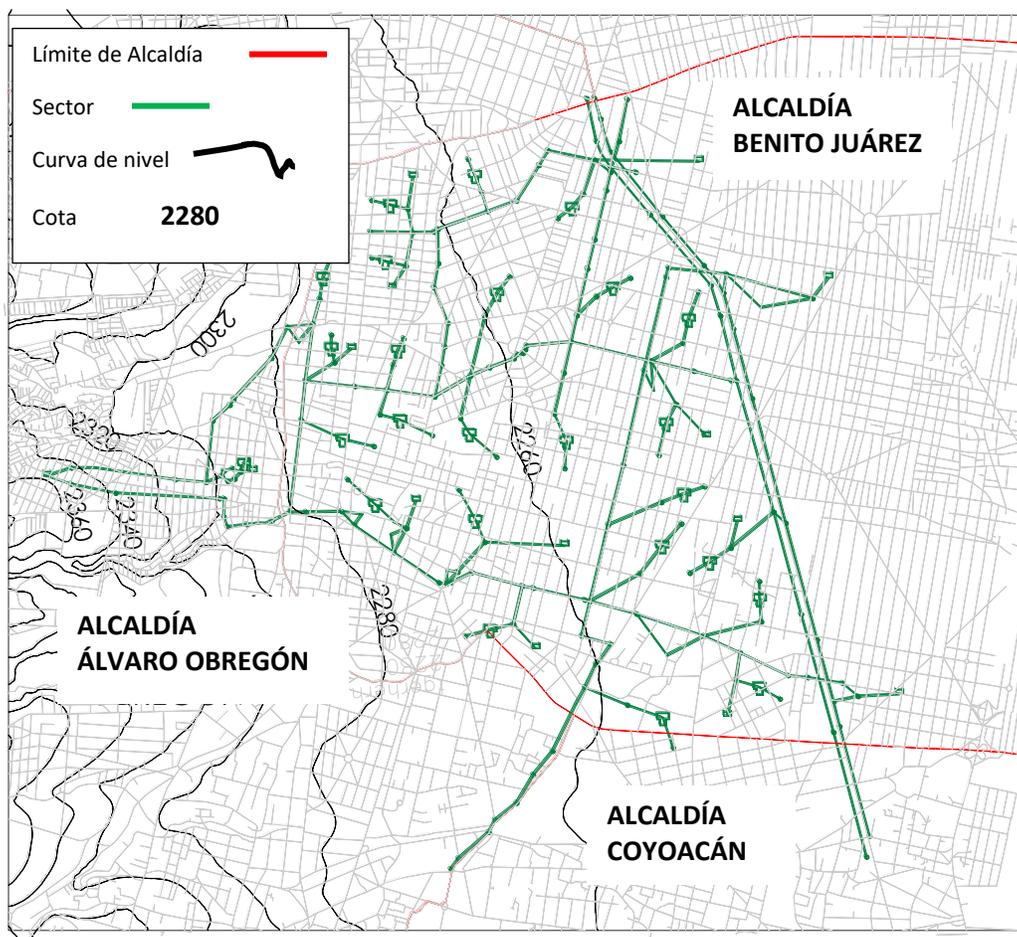


Imagen 2 Topografía de la zona

Para lograr el objetivo del presente trabajo se ocupó el programa EPANET, que permite el planteamiento y desarrollo de la problemática arrojando resultados lo más apegados a la realidad del funcionamiento del sector. Sin embargo, como todo software de análisis, la forma de introducir los datos será la forma en que el programa nos entregue esos resultados, es aquí donde radica la importancia de realizar el análisis de las bombas de los pozos con las curvas de funcionamiento de mediciones reales, de tal manera que los resultados sean como opera el sistema en condiciones reales. La idea es que se puedan comparar los resultados, ya sea de datos teóricos y datos reales. Las nuevas curvas de las bombas que se proponen se obtienen a partir de medidas proporcionadas por SACMEX.

EPANET es un programa que modela el comportamiento de una red de tubos a presión en periodos prolongados, mediante tubos, nodos, fugas, bombas, válvulas tanques y almacenamientos.

EPANET efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos, los niveles en los depósitos, y la concentración de las especies químicas presentes en el agua, a lo largo del periodo de simulación discretizado en múltiples intervalos de tiempo. Además de la concentración de las distintas especies, puede también simular el tiempo de permanencia del agua en la red y su procedencia desde las diversas fuentes de suministro.

El sector analizado se representó en EPANET con sus elementos principales en campo como son:

- ❖ las fuentes de abastecimiento:
 - Tanque Santa Lucia representado como embalse,
 - 10 pozos profundos los cuales fueron representados mediante un embalse con cota a la profundidad del pozo, su bomba con la curva teórica que le corresponde asignada de acuerdo con su gasto y altura,
- ❖ 3 almacenamientos: R-1, R-2 y R-3, ubicados al oriente del sector, a los que se les entrega un gasto, el cual abastece a otros sectores de la CDMX, que no son parte de este estudio.
- ❖ válvulas tipo:
 - reductora de presión (PRV),
 - sostenedora de presión (PSV),
 - reguladora de presión (TCV),
 - válvula de retención (CV) ubicadas en los tanques
- ❖ líneas primarias de material asbesto cemento y rugosidad $n = 0.013$, de diámetros que van desde 48", 36", 20" y hasta 12".
- ❖ subsectores que son representados en el modelo como tanques ligados a un nodo al cual se le asigna una demanda base, esta demanda base representa la demanda del subsector.

3. Análisis del comportamiento hidráulico del sector de la red

Tiempo de análisis

El sistema se analizó durante un tiempo de 2 meses, este fue el tiempo en el que se observó una estabilidad en el modelo.

Presiones admisibles

Las presiones dentro de una red dependen de dos factores, la necesidad del servicio y las condiciones topográficas de la localidad. Las necesidades del servicio obligan por una parte a seleccionar una presión mínima capaz de atender dos clases de requerimientos: los de las edificaciones y la demanda contra incendio. Por otro lado, presiones muy altas en la red requerirán de tuberías y accesorios más resistentes (más costosos) e incrementar las fugas (en caso de existir). Por lo tanto, en ningún punto de la red la presión debe exceder una presión máxima permisible.

La presión mínima debe verificarse en la red de distribución de tal manera que en todos los puntos se tenga una presión por lo menos igual a está en la hora de máxima demanda y, se garantice un suministro mínimo.

En cambio, la máxima se presentará cuando exista poca demanda y la red continúe funcionando a presión. El establecimiento de estas condiciones en una localidad se combina con su topografía. Como resultado de esto, en los puntos más elevados la presión disponible en las horas de máximo consumo no debe ser inferior a la presión mínima requerida; en cambio, en los más bajos, esta presión no debe ser superior a la presión máxima especificada.

De acuerdo con las sugerencias que emite la Comisión Nacional del Agua se recomienda tomar los siguientes valores de presiones admisibles:

- ❖ Presión mínima admisible 10 m.c.a.
- ❖ Presión máxima admisible 50 m.c.a.

Patrones de Demanda

El patrón de demanda tiene en cuenta la variación temporal de la demanda a lo largo del día, para efectos exclusivo de este sector de estudio en la CDMX, se manejaron dos tipos de patrón de demanda, los cuales son producto de análisis estadísticos de los registros tomados en periodos largos de tiempo por el SACMEX. Estos patrones son los siguientes:

- ❖ *Patrón de demanda 1*

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Factor	1.3	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	1.1	1.6	1.9	2.1	2.2	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5

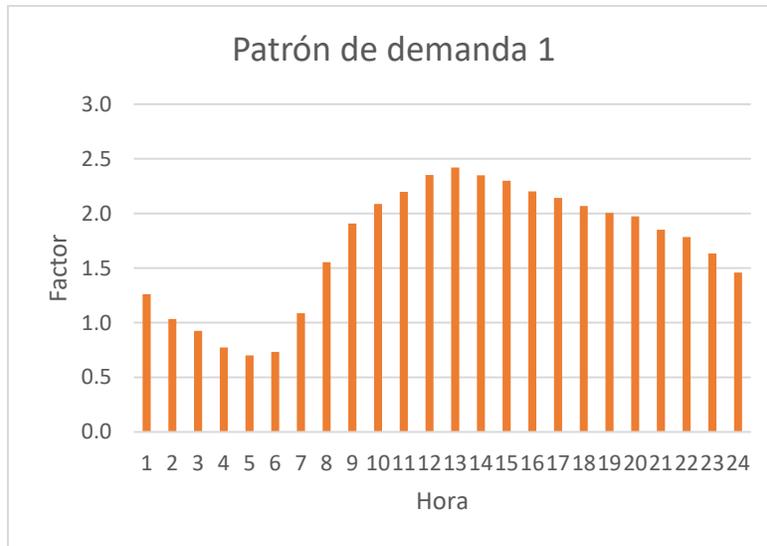


Imagen 3 Patrón de demanda 1

Los valores anteriores se pueden interpretar de la siguiente manera:

De las 12:00 a las 13:00 horas será la hora en que se presenta el mayor gasto, es decir será el Gasto Máximo horario.

Y el Gasto mínimo se presenta entre las 03:00 – 06:00 horas

Este patrón es asignado a todos los nodos con demanda base que son lo que representan los subsectores de tal manera que el consumo de los subsectores en determinado horario está determinado por:

$$\text{Demanda Base} \times \text{Factor (patrón)} = \text{Consumo}$$

❖ Patrón de demanda 4

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Factor	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0



Imagen 4 Patrón de demanda 4

Es decir, en esa zona o esos subsectores, tendrán de las 07:00 – 17:00 horas un gasto constante y de las 17:00 – 7:00 horas no hay suministro de agua, lo que podría interpretarse que a esos subsectores se les abastecen mediante tandeos, además por la ubicación de estos se encuentran en zonas de oficinas.

Pozos, bomba y su curva característica.

Como ya se explicó anteriormente los pozos de extracción se representaron mediante almacenamientos a una elevación determinada que corresponde a la profundidad del pozo.

En EPANET las bombas son líneas que comunican energía al fluido elevando su altura piezométrica. Los datos principales de una bomba son sus nudos de aspiración (almacenamiento) e impulsión (altura) y su curva característica a velocidad nominal (o relación entre caudal trasegado y la altura comunicada). En lugar de dar la curva característica, el comportamiento de una bomba puede también modelarse admitiendo que trabaja a potencia constante para cualquier combinación de caudal y altura, lo que permite determinar la altura comunicada al fluido en función del caudal de paso, es decir podemos representar la curva con el siguiente polinomio:

$$H = a_0 + a_1q + a_2q^2..... \textcircled{1}$$

Donde:

H = carga

a_0 = altura de impulsión para gasto nulo

q = caudal de paso

Lo que nos dice que necesitamos mínimo 3 puntos para obtener la curva y mientras más puntos medidos, la curva que podemos aproximar representará de mejor forma a la bomba.

En la siguiente tabla 2, se describen los pozos en el sector, se muestra el nombre con el que se identifican en EPANET, su curva correspondiente, la colonia de la zona en la que se encuentran ubicados, la cota de profundidad, y finalmente la profundidad del pozo.

ID Pozo	Ubicación (Colonia)	Elevación (msnm)	Profundidad (m)	Curva
ABO4	Alonso XIII	2141.9	150	C-AOB-23
BJ03	Rosendo Arnaiz	2115.7	150	C-BJ-03
BJ06	Jardín Bombo	2102.6	150	C-BJ-06
BJ07	Miraflores	2104.5	150	C-BJ-07
BJ10	La Campana	2100	150	C-BJ-10
BJ20	Parroquia2	2100	148	C-BJ-20
BJ21	Acacias	2100	149	C-BJ-21
BJ23	La Huerta	2100	140	C-BJ-23
BJ27	Parroquia	2100	138	C-BJ-27
BJ2	Jardín Morelos	2100	139	C-BJ-29

Tabla 2 Descripción de los Pozos

La Curva Característica de una Bomba representa **la relación entre la altura comunicada al fluido y el caudal de paso, a su velocidad nominal de giro**. La altura es la energía comunicada al fluido por unidad de peso, o bien, la diferencia de carga entre la salida y la entrada de la bomba, y se representa sobre el eje vertical Y, en metros. El caudal se representa sobre el eje horizontal X, en litros por segundo. Para que la curva característica de una bomba sea válida, la altura debe disminuir al aumentar el caudal.

EPANET tiene diferentes formas de definir una curva de la bomba, en función del número de puntos suministrados, ajustando diferentes tipos de curvas a estos puntos de la siguiente manera:

Curva de un solo Punto – Una curva de un solo punto queda definida por una única relación altura-caudal, que normalmente representará el punto de funcionamiento deseado o nominal de la bomba. EPANET añade dos puntos más a la curva, uno a caudal nulo, cuya altura supone que es un 133 % de la altura nominal, y otro a altura cero, cuyo caudal correspondiente asume que es el doble del caudal nominal. De este modo la curva es tratada finalmente como una curva de tres puntos.

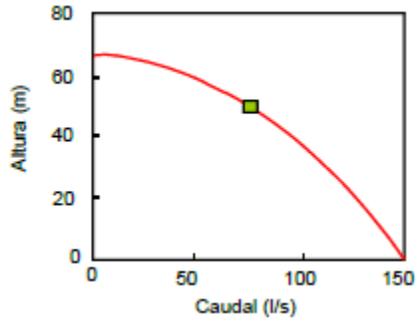


Imagen 5 Curva de un solo punto

Curva de Tres Puntos – Cuando la curva de una bomba se define mediante tres puntos, éstos se interpretan como: un punto de funcionamiento a Caudal Bajo (altura a caudal nulo o a caudal mínimo), un punto de funcionamiento al Caudal de Diseño (caudal y altura nominal de la bomba), y un punto de funcionamiento a Caudal Máximo (caudal y altura a caudal máximo). EPANET intenta ajustar una curva continua del tipo:

$$h_G = A - Bq^C$$

que pase por los tres puntos especificados, para definir el comportamiento completo de la bomba. En la expresión anterior:

h_G = es el incremento de altura,

q = el caudal de paso,

A, B, y C = son constantes de la curva de ajuste.

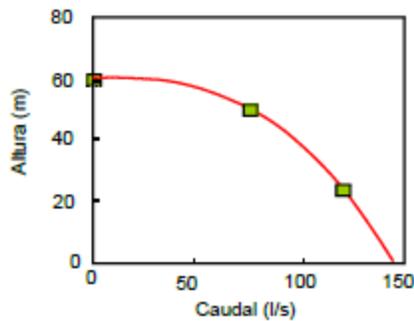


Imagen 6 Curva de tres puntos

Curva Multipunto – La curva de una bomba se interpreta como una curva multipunto si el número de pares de valores altura-caudal proporcionados es dos, cuatro o más de cuatro. EPANET completa en este caso la curva de la bomba uniendo los puntos proporcionados mediante tramos rectos.

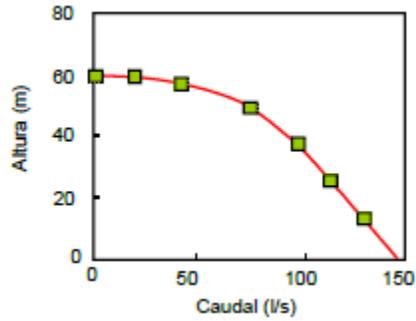


Imagen 7 Curva Multipunto

A continuación, se presentan las curvas teóricas de las bombas de cada pozo del presente trabajo y que EPANET determinó con un solo punto, es decir, al programa se le indicó un caudal y una carga de bombeo, y con esto el programa realiza el proceso indicado párrafos arriba para este punto obteniendo así el polinomio y la curva de la bomba.

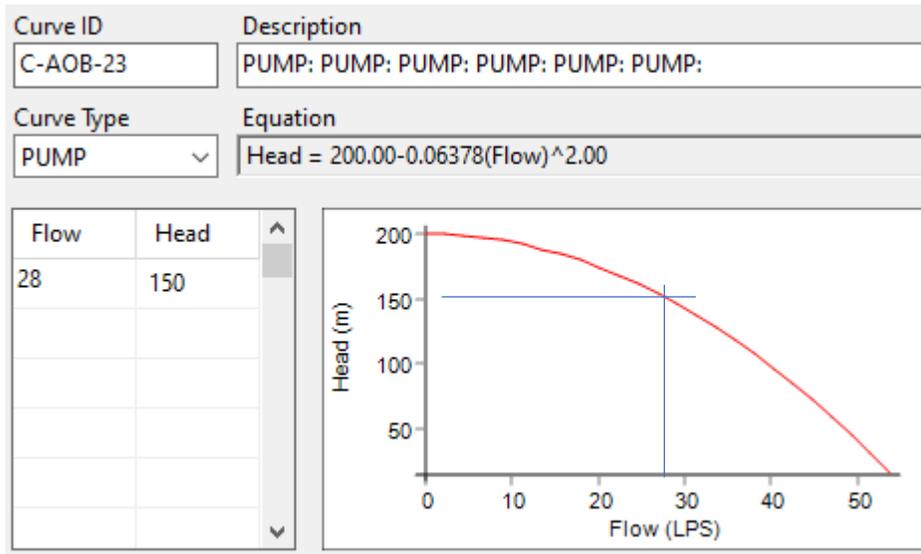


Imagen 8 Curva de la bomba pozo AOB-23 (Alonso XIII)

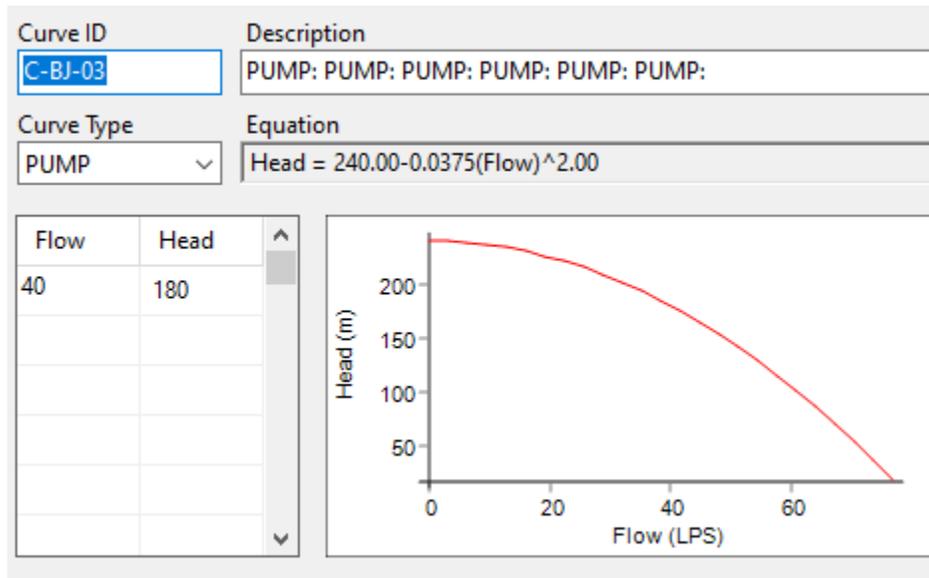


Imagen 9 Curva de la bomba pozo C-BJ-03 (Rosendo Arnaiz)

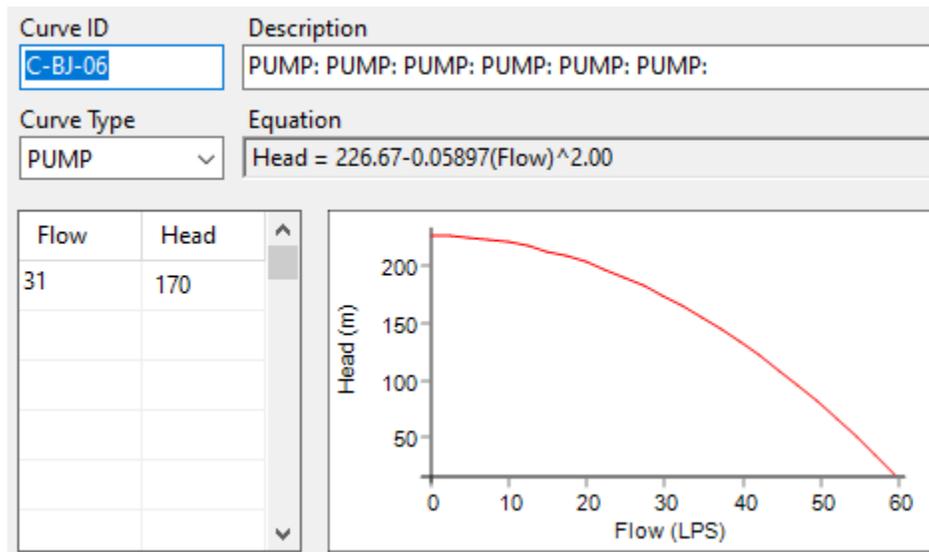


Imagen 10 Curva de la bomba pozo C-BJ-06 (Jardín Bombo)

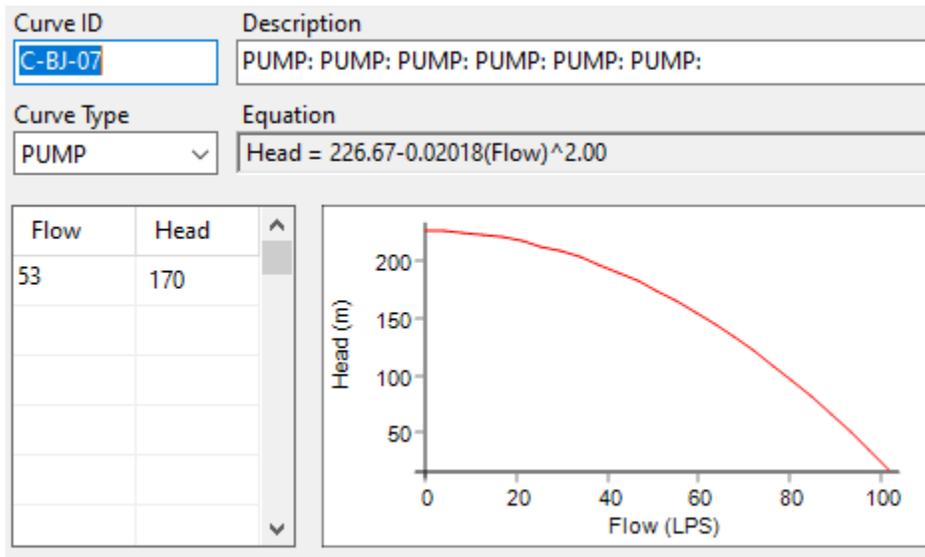


Imagen 11 Curva de la bomba pozo C-BJ-07 (Miraflores)

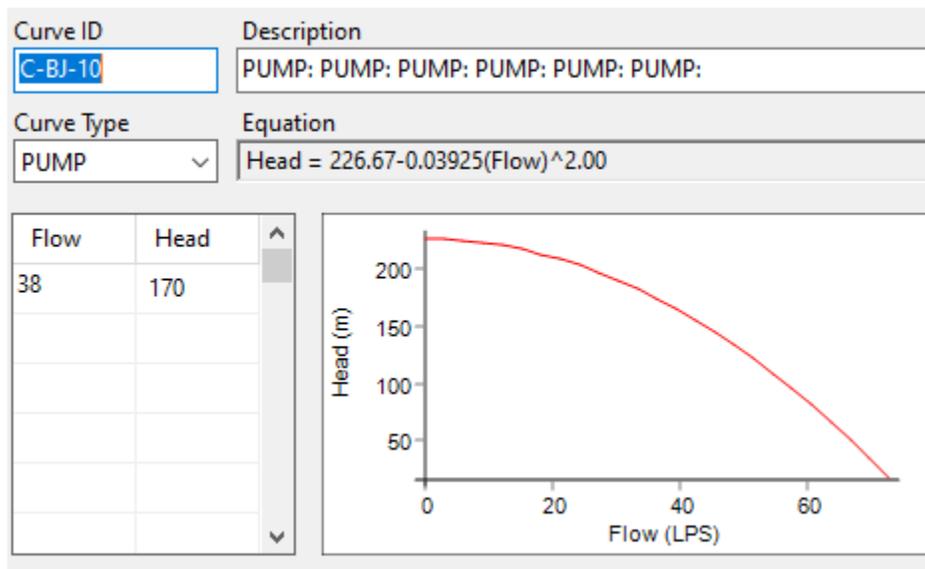


Imagen 12 Curva de la bomba pozo C-BJ-10 (La Campana)

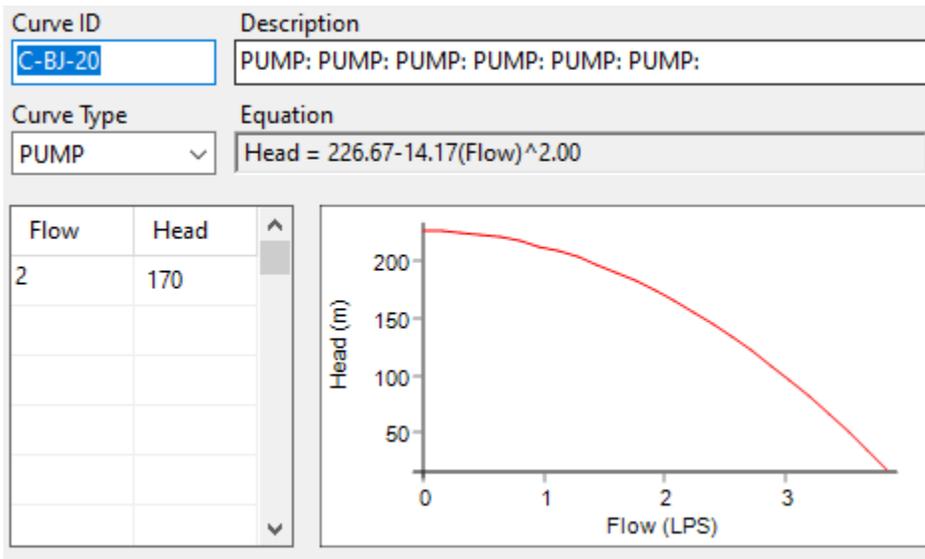


Imagen 13 Curva de la bomba pozo C-BJ-20 (Parroquia2)

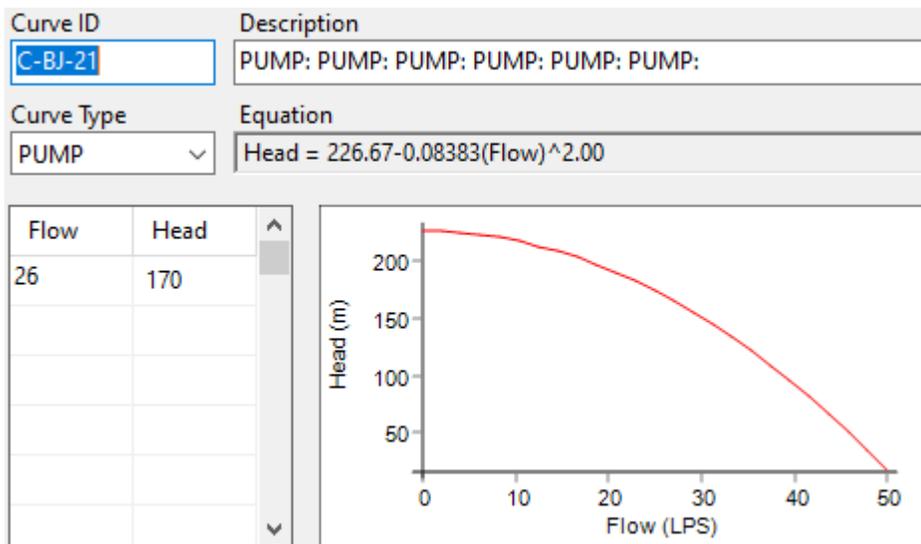


Imagen 14 Curva de la bomba pozo C-BJ-21 (Acacias)

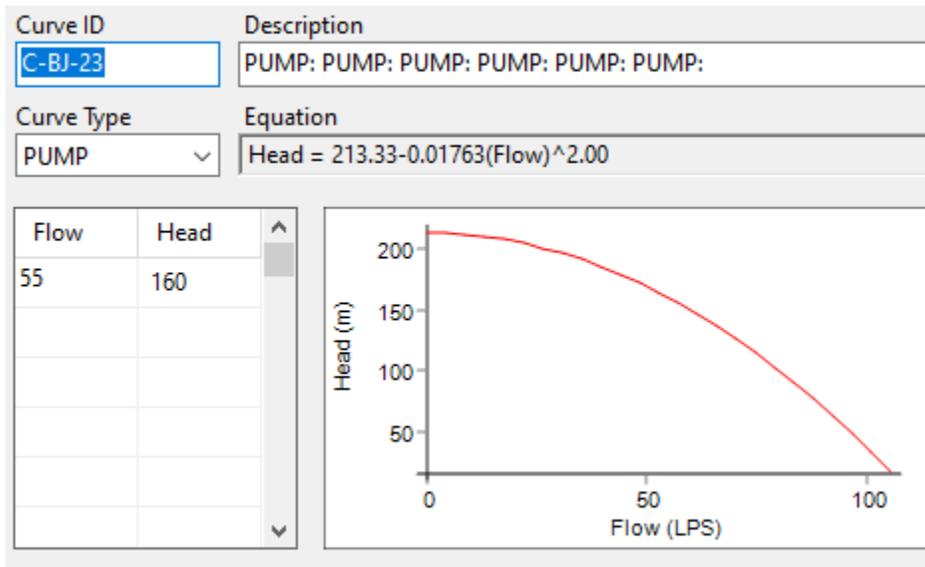


Imagen 15 Curva de la bomba pozo C-BJ-23 (La Huerta)

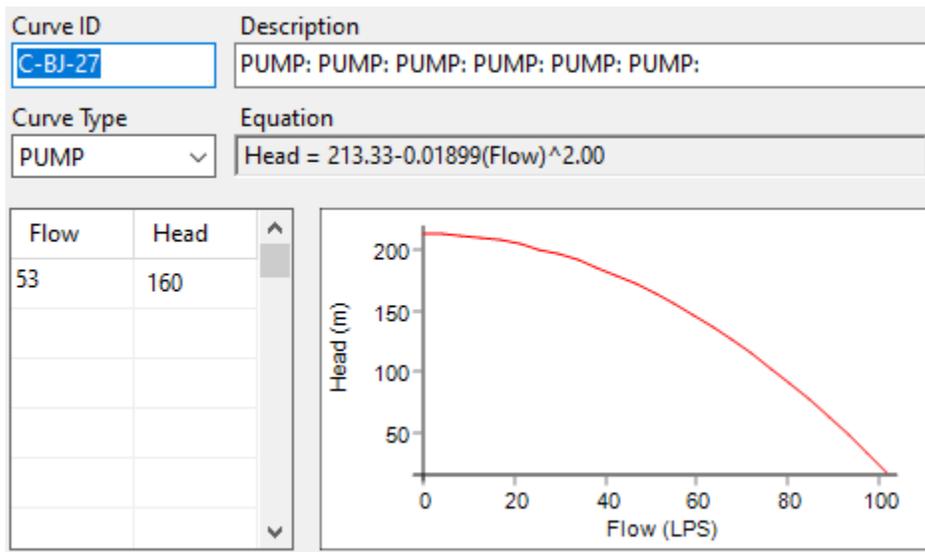


Imagen 16 Curva de la bomba pozo C-BJ-27 (Parroquia)

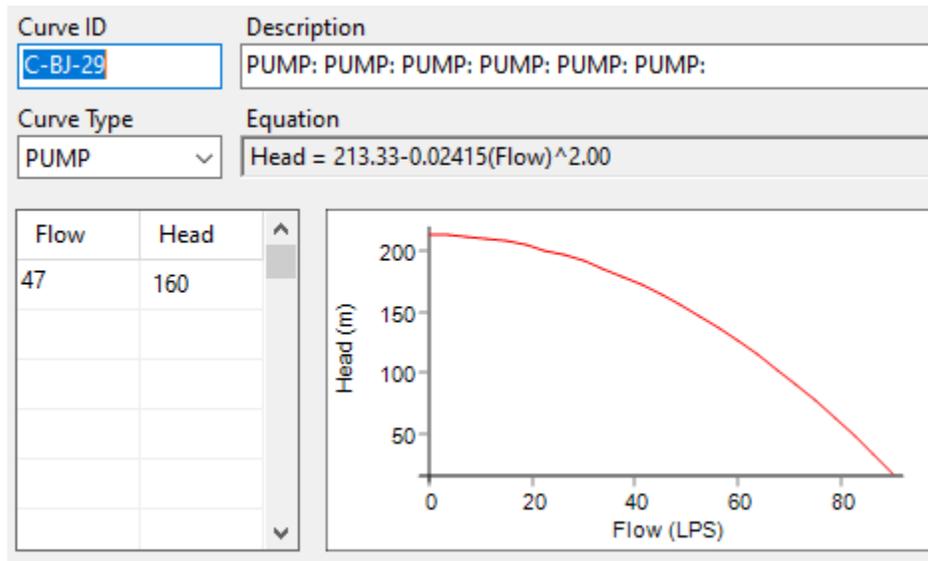


Imagen 17 Curva de la bomba pozo C-BJ-29 (Jardín Morelos)

Válvulas

Las válvulas se colocaron de manera estratégica para modificar la operación del sector, tema que no se trata en el presente trabajo.

Tanques

En la siguiente tabla 3, se presenta los datos que EPANET requiere para el análisis de los tanques (los cuales representan la demanda de los subsectores) asociados a un nodo de demanda. Cabe mencionar que esta demanda es resultado de mediciones de los consumos de esas zonas durante meses, de tal manera que abarcan los consumos en días laborales, días de descanso, horarios de mayor consumo, etc., este nodo de demanda es asociado a un patrón de demanda durante el día (24 hr); recordemos que para este caso de estudio tenemos dos diferentes tipos de patrones (Imagen 3 y 4).

	ID Tanque o subsector	ID Nodo de demanda	Base demanda (lps)	Elevación (msnm)	ID Patrón de Demanda
1	Tanque-BJ-10	ND-BJ-10	11.87	2301.99	1
2	Tanque-BJ-20	ND-BJ-20	19.3	2299.7	1
3	Tanque-BJ-21	ND-BJ-21	24.48	2297.73	1
4	Tanque-BJ-23	ND-BJ-23	29.6	2262.89	1
5	Tanque-BJ-24	ND-BJ-24	18.44	2265.94	4
6	Tanque-BJ-25	ND-BJ-25	17.25	2267.87	4

	ID Tanque o subsector	ID Nodo de demanda	Base demanda (lps)	Elevación (msnm)	ID Patrón de Demanda
7	Tanque-BJ-26	ND-BJ-26	20.75	2267.79	4
8	Tanque-BJ-27	ND-BJ-27	12.57	2259.59	1
9	Tanque-BJ-28	ND-BJ-28	10.6	2266.23	4
10	Tanque-BJ-29	ND-BJ-29	17.72	2264.73	1
11	Tanque-BJ-04	ND-BJ-04	14.7	2304.95	1
12	Tanque-BJ-06	ND-BJ-06	14.66	2262.01	1
13	Tanque-BJ-07	ND-BJ-07	11.84	2262.38	1
14	Tanque-BJ-09	ND-BJ-09	10.46	2268.61	1
15	Tanque-BJ-13	ND-BJ-13	32.33	2260.56	1
16	Tanque-BJ-14	ND-BJ-14	33.29	2263.77	1
17	Tanque-BJ-15	ND-BJ-15	16.29	2263.86	1
18	Tanque-BJ-16	ND-BJ-16	22.74	2258.47	1
19	Tanque-BJ-17	ND-BJ-17	25.61	2262.91	1
20	Tanque-AOB-23	ND-AOB-23	29.71	2296.01	1
21	Tanque-BJ-08	ND-BJ-08	9.86	2268.59	1
22	Tanque-BJ-03	ND-BJ-03	5.96	2276.34	1
23	Tanque-BJ-19	ND-BJ-19	31.13	2262.85	1
24	Tanque-BJ-22	ND-BJ-22	20.31	2262.9	1
25	Tanque-BJ-02	ND-BJ-02	8.29	2280.39	1

Tabla 3 Descripción de los subsectores del Sector, representados por tanques.

Así pues, lo que hace EPANET al tener un nodo al que se le asigna una demanda base y un patrón de demanda, como ya se había mencionado, determina el consumo para cada subsector (nodo de demanda) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Demanda Base} \times \text{Factor (patrón de demanda)} = \text{Consumo del nodo}$$

Tanques de abastecimiento y de entrega

Los tanques de abastecimiento y de entrega (tabla 4) son representados en EPANET como almacenamientos, el primero, es el tanque de abastecimiento Santa Lucía alimentado por el sistema Cutzamala, éste alimenta junto con los pozos de extracción al sector de estudio. Los tanques identificados en EPANET como R-1, R-2 y R-3 reciben un gasto que posteriormente alimenta a otros sectores, estos tanques no se analizaron en el presente estudio al ser parte de otro sector. Para el análisis de estos elementos EPANET solo requiere la elevación de desplante de cada tanque.

Tanques	Gasto promedio (lps)	Elevación (msnm)
Tanque Santa Lucia	3016.87	2310.00
R-1	134.07	2257.80
R-2	1559.06	2251.00
R-3	878.87	2258.00

Tabla 4 Tanques en el sector de estudio.

Análisis

Con todos los elementos anteriores se analizó el modelo del sector de la siguiente manera: los tanques que representan la demanda de las zonas de los subsectores, se les asignó un nivel constante, al hacer una primera simulación y observar la gráfica de presiones se notaba que iba de manera ascendente, lo que indicaba que con el tiempo estos se vaciarían. Para resolver este problema era necesario encontrar un nivel en donde el nivel del agua se comportará de manera cíclica que simulará el consumo cíclico del subsector. Por lo que se amplió el tiempo de simulación durante dos meses; para observar el comportamiento ascendente de las presiones y determinar un nivel medio. Con este nivel medio sustituimos el nivel inicial, se volvió a hacer la simulación, y se revisaron las gráficas de presión encontrando que el comportamiento de las presiones ahora sí era cíclico y que la operación de la red ya era estable. Ese nivel medio encontrado nos representa el nivel variante de agua que entra y sale del tanque debido a la demanda del subsector que no es constante y que es cíclica durante todo el tiempo de análisis (2 meses)

Para mayor ejemplificación de lo anterior, se muestran las gráficas (imagen 18 y 19) del comportamiento del nivel de agua y la demanda en un tanque del sector. Es importante mencionar que el funcionamiento en EPANET de todos los tanques es cíclico y muy similar en cuanto al tiempo que alcanzan para estabilizarse.

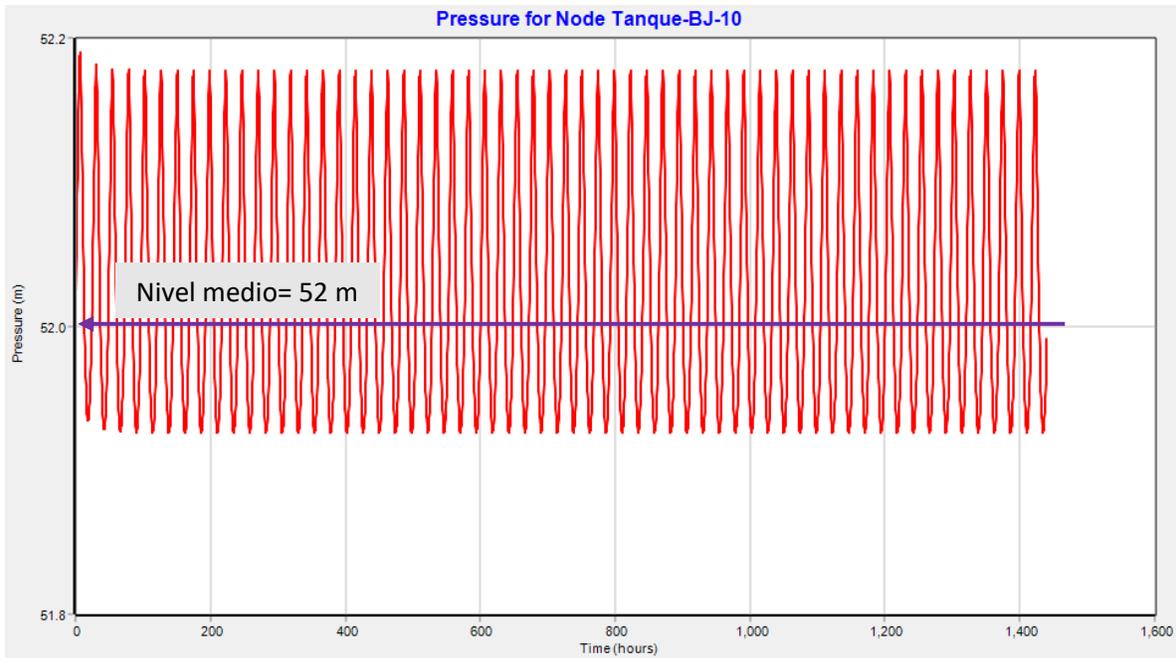


Imagen 18 Comportamiento del nivel de agua dentro del tanque.

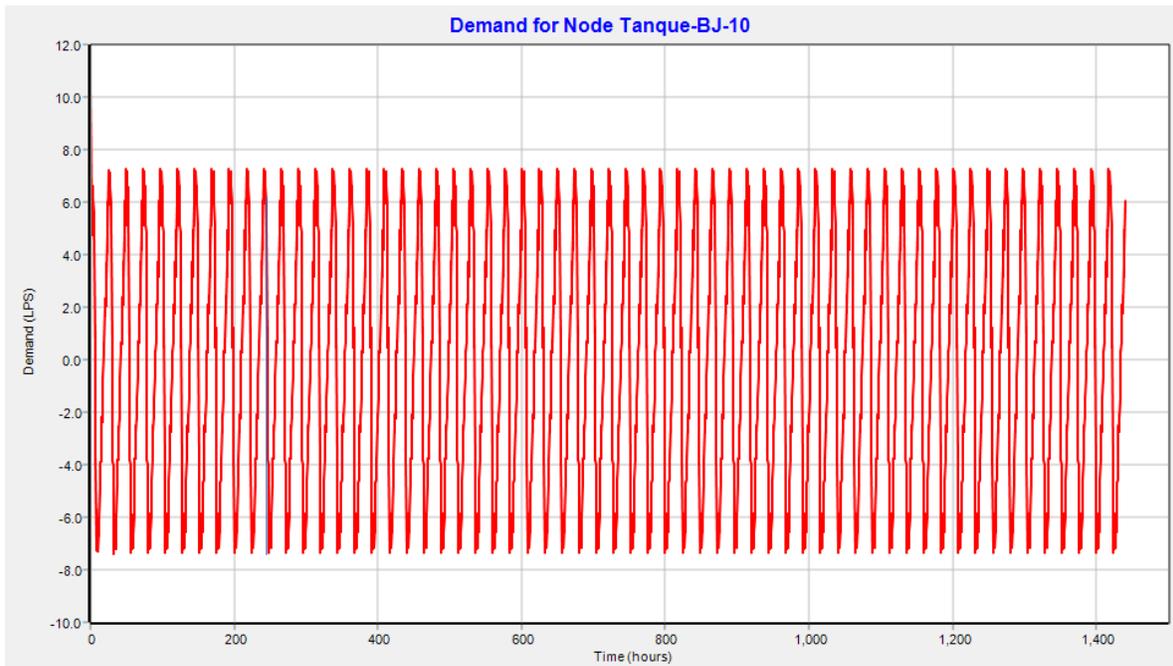
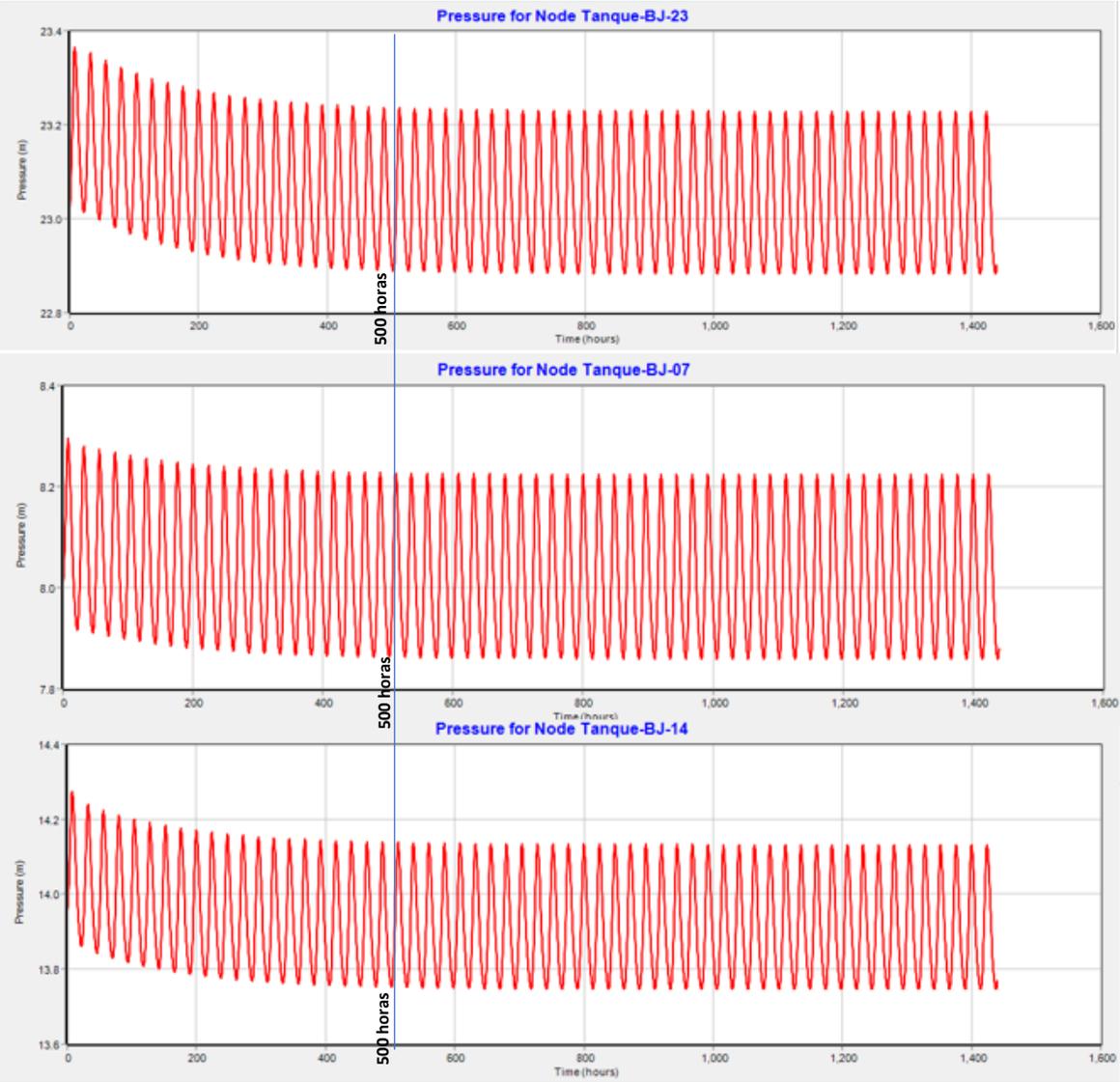


Imagen 19 Comportamiento de la demanda en el tanque.

Comportamiento de la presión en el sector analizándolo con curvas teóricas.

En la siguiente imagen 20 se muestran varias gráficas del comportamiento de la presión durante todo el período de análisis en distintos tanques, solo se muestran seis gráficas ya que fueron seleccionadas debido a que en dichos tanques se observó que tardan un poco más en estabilizarse, el objetivo es mostrar el tiempo en que toda la red se encuentra estable.



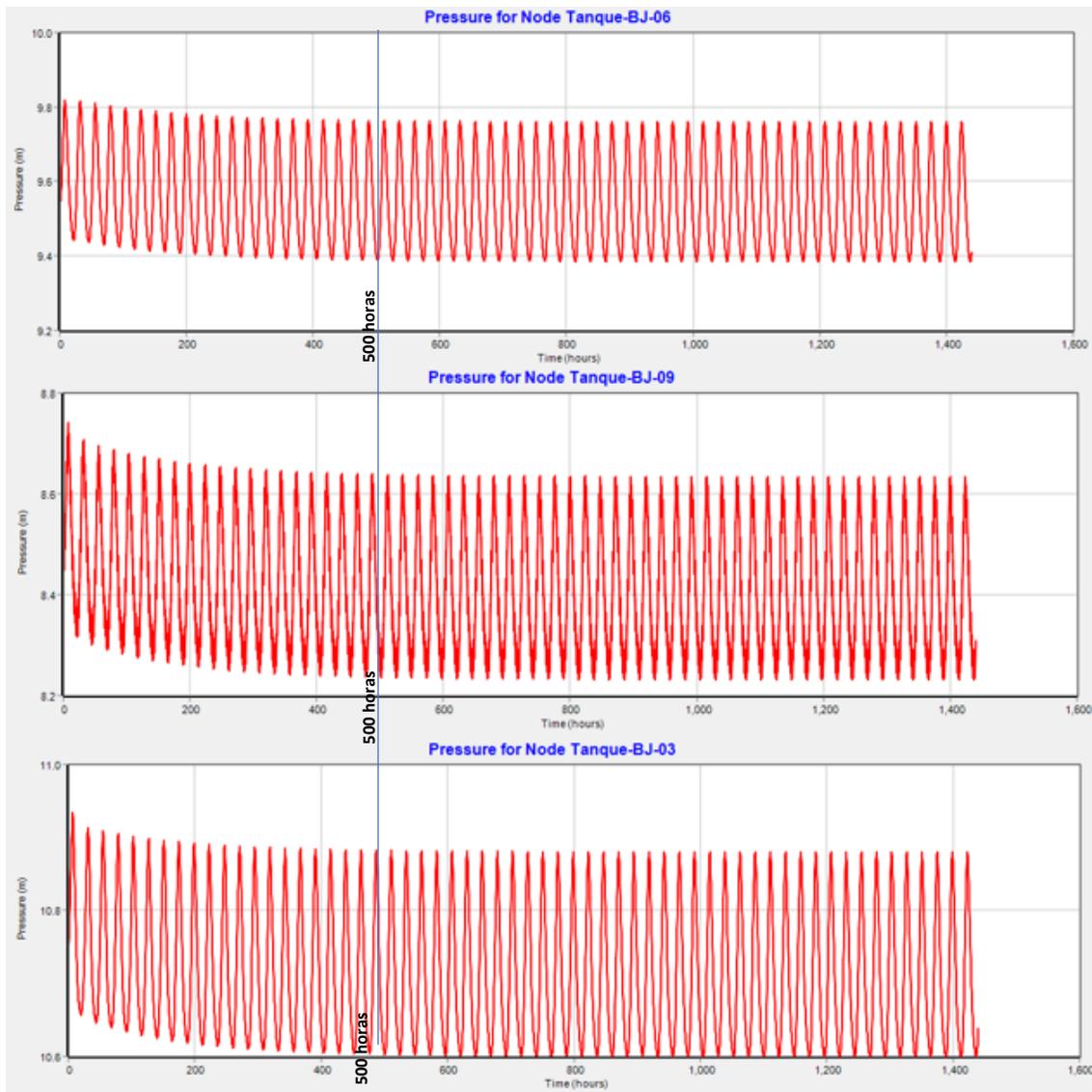


Imagen 20 Diferentes gráficas de la presión en diferentes tanques.

Así bien, por las gráficas anteriores podemos decir que a partir de las 500 horas el sistema está estable.

La siguiente imagen 21 muestra todo el sector de análisis, específicamente en un tiempo posterior a las 500 horas (día 22) ya que después de ese tiempo el sector se comporta cíclicamente estable, así que, mostrar cualquier otro tiempo a partir de las 500 horas es lo mismo; ahora bien, la hora del día mostrada las 5:00 horas, es la hora donde ocurre la demanda mínima de acuerdo con el patrón de demanda 1 que se muestra párrafos arriba en la imagen.

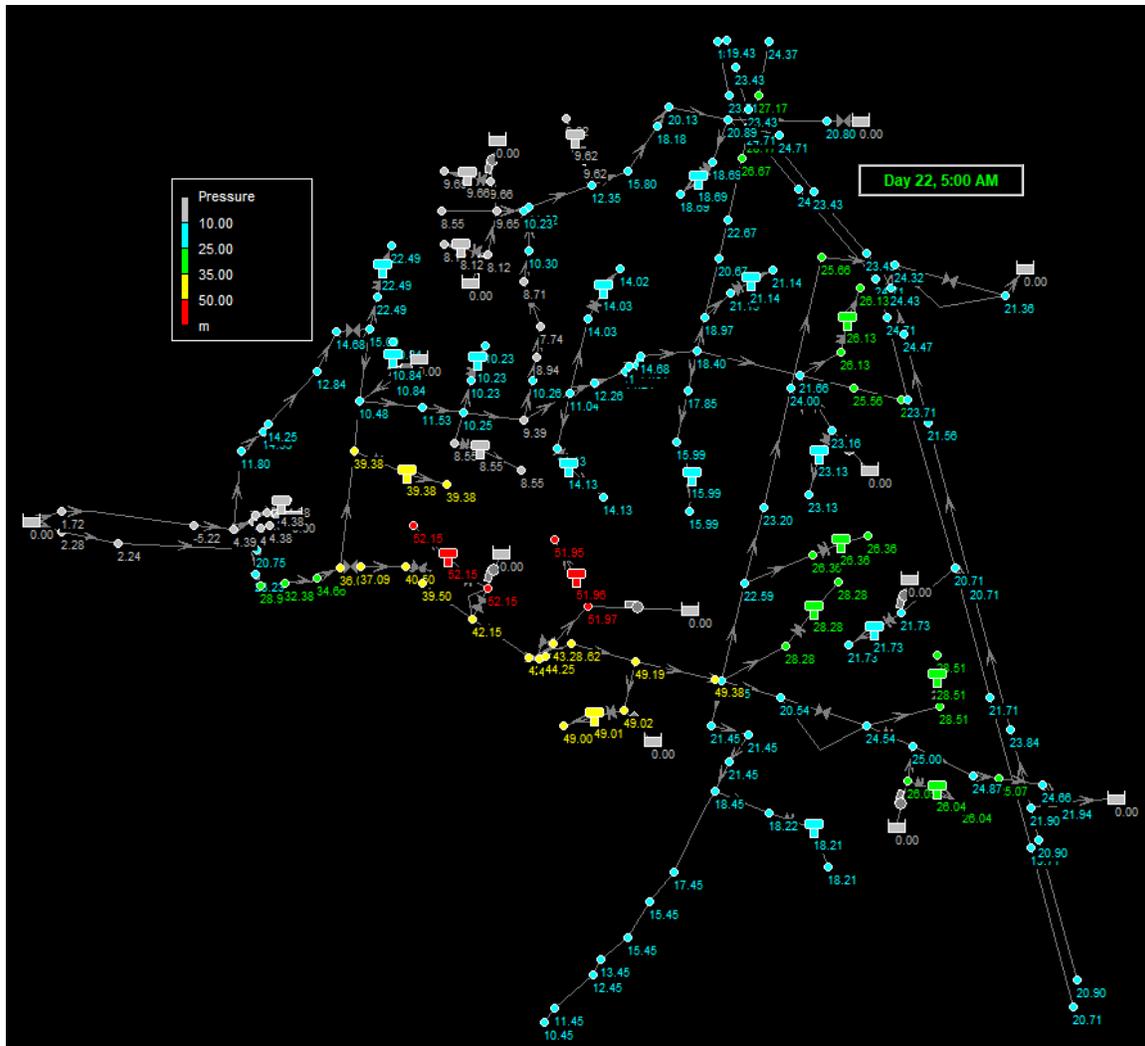


Imagen 21 Presiones cuando la red es estable a las 5:00hrs. Hora de menor demanda.

En la imagen 22 para apreciar la presión en los nodos, se muestran resultados en el mismo día que en la imagen 21 (día 22), es decir cuando el sector está estable, pero en este caso, los resultados son a las 12:00 horas de ese día, ya que de acuerdo con el patrón 1 en ese horario se tiene la demanda máxima.

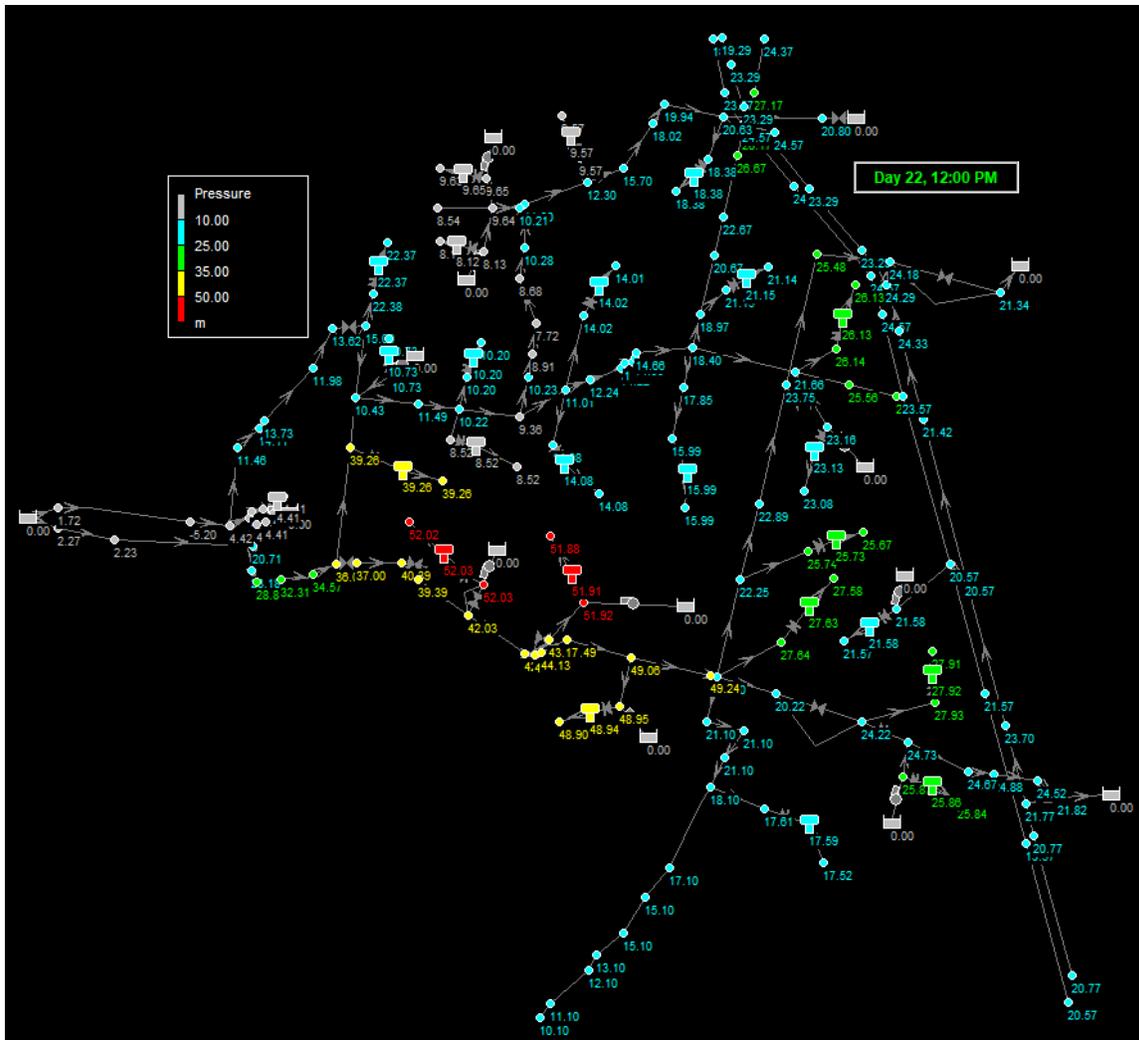


Imagen 22 Presiones cuando la red es estable a las 12:00 horas. Hora de mayor demanda

Obsérvese que en ambas imágenes 21 y 22 el comportamiento con relación a la presión del sector, éste opera en general en un intervalo de presión de 10 a 35 m.c.a, en la zona sur del sector existe una línea que tiene presiones de 35 a 45 m.c.a y los puntos rojos son presiones ligeramente arriba de la presión máxima de un sector a 50 m.c.a.

4. Comparación del funcionamiento de la red al utilizar curvas teóricas contra curvas de datos reales.

Durante todo el mes de agosto de 2020 el Sistema de Aguas de la Ciudad de México monitoreó la operación de varios pozos, se registraron las medidas de gasto

y presión a cada 15 minutos. De todos ellos, únicamente se trabajó con las medidas de los pozos, ubicados en Rosendo Arnaiz, Jardín Bombo, La Huerta y Miraflores (ver la imagen 22 para su ubicación en el sector) ya que desafortunadamente no fue posible acceder a los registros de los pozos restantes, sin embargo, de contar con ellos, el procedimiento de análisis sería el mismo.

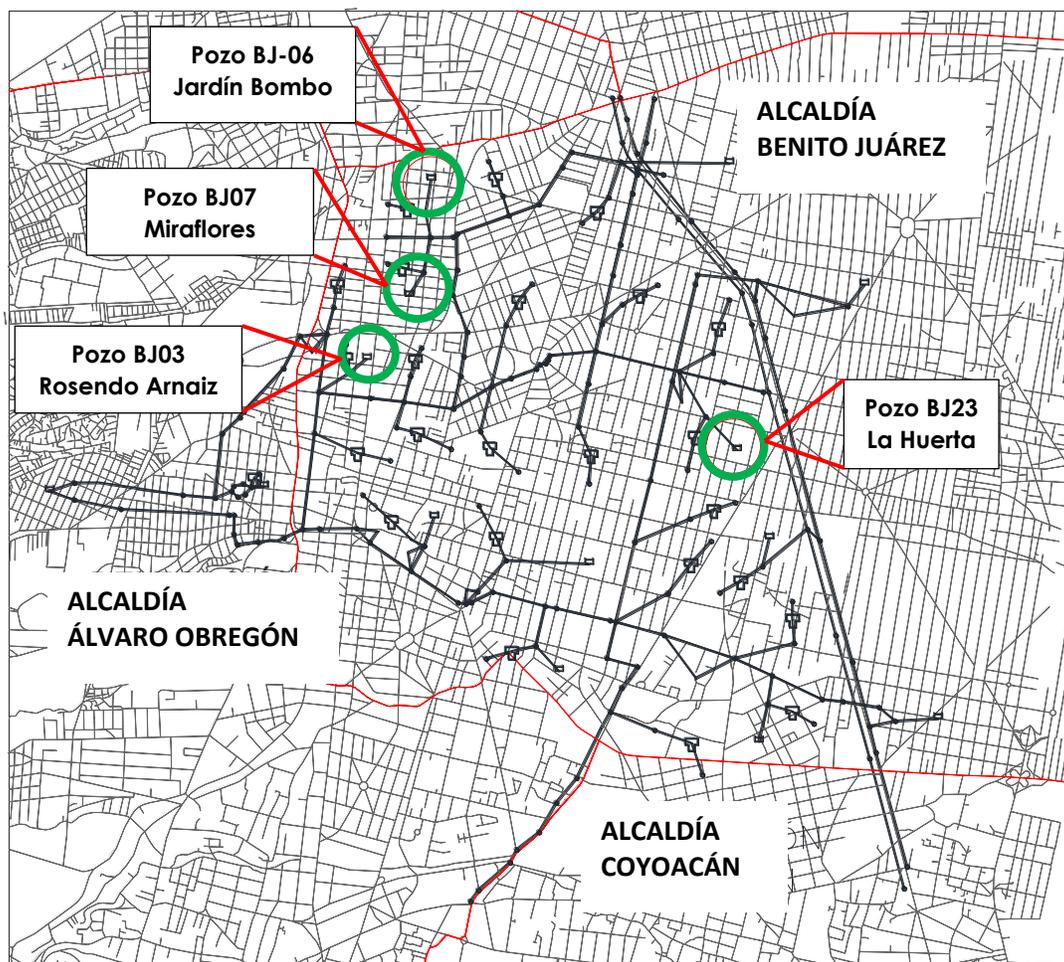
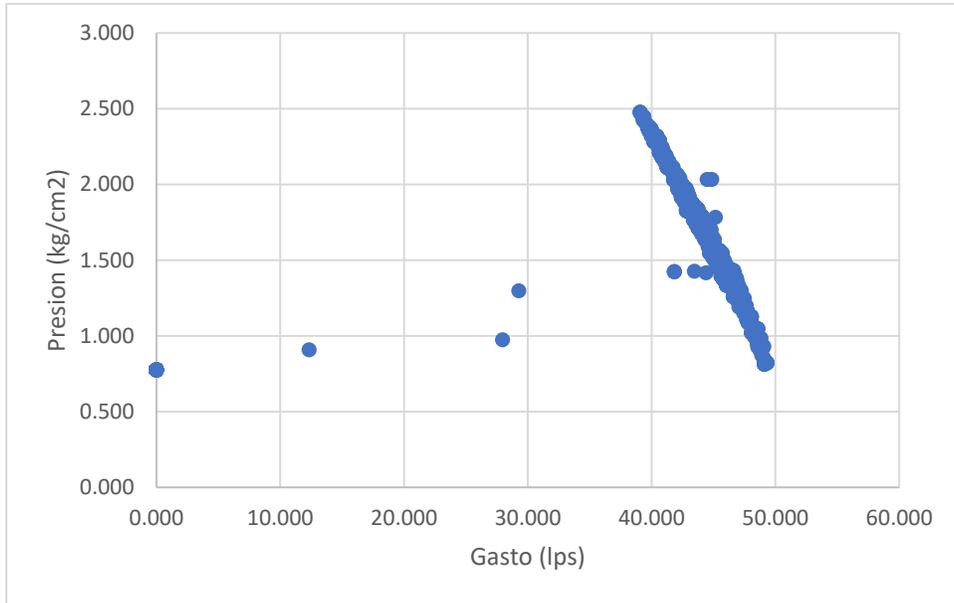


Imagen 23 Ubicación de Pozos con datos proporcionados.

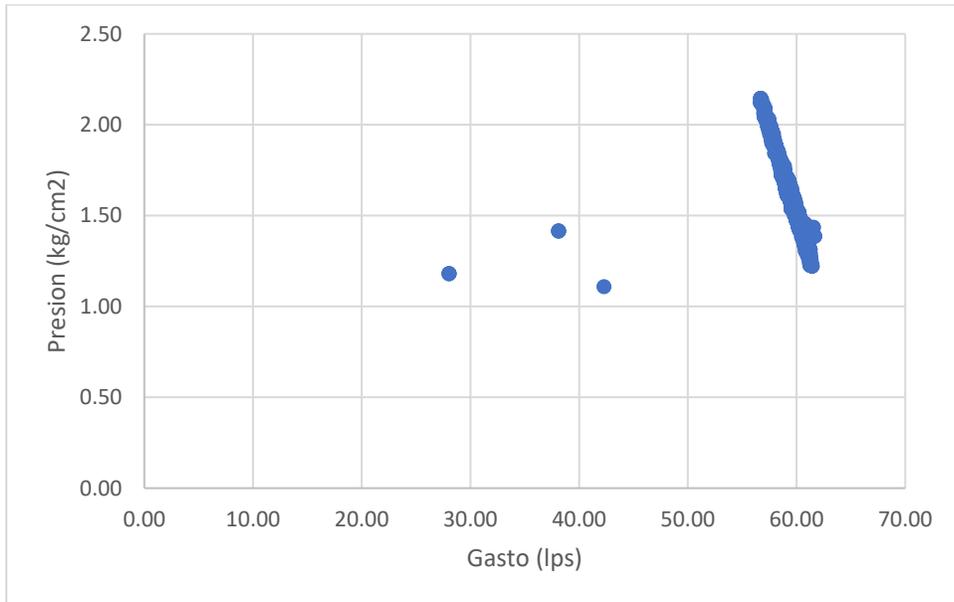
En la siguiente tabla se resume las características principales de los pozos obtenidas del archivo de EPANET. La profundidad de cada pozo se obtuvo de la diferencia de la plantilla del tanque y el nodo inmediato de la bomba.

ID Pozo	Ubicación (Colonia)	Elevación (msnm)	Profundidad (m)	Curva Teórica
BJ03	Rosendo Arnaiz	2115.7	150	C-BJ-03
BJ06	Jardín Bombo	2102.6	150	C-BJ-06
BJ23	La Huerta	2100	140	C-BJ-23



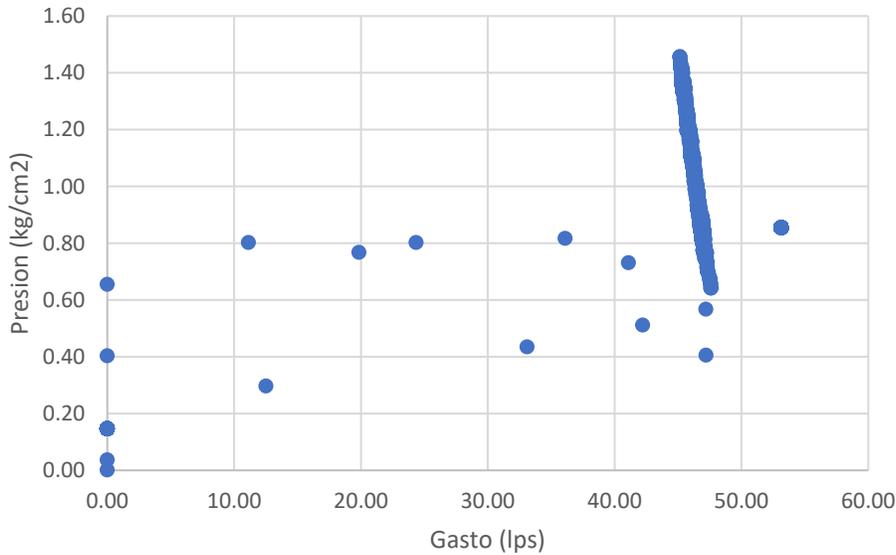
Gráfica 2 Datos medidos del pozo BJ06 en Jardín Bombo

Pozo BJ23 en La Huerta



Gráfica 3 Datos medidos Pozo BJ23 en La Huerta

Pozo BJ07 en Miraflores



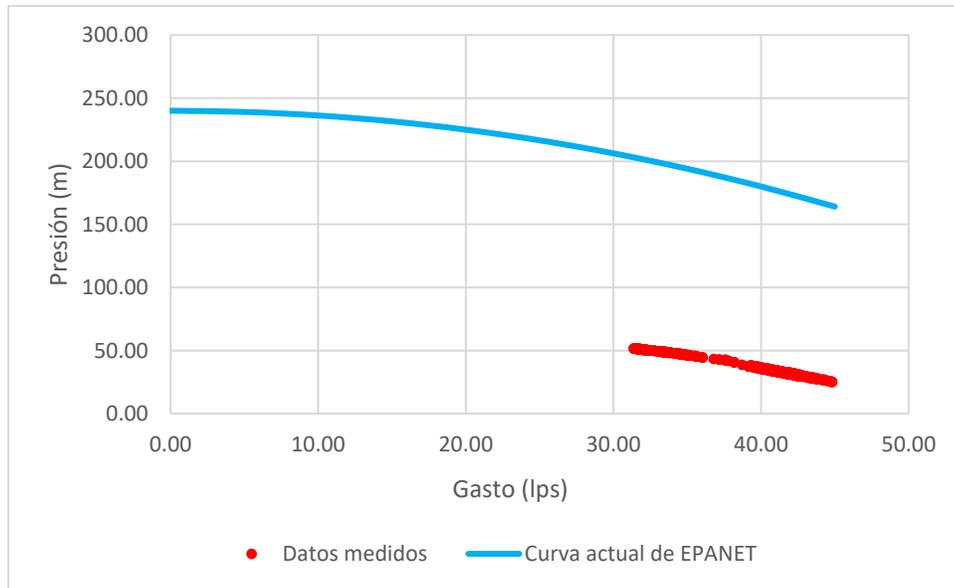
Gráfica 4 Datos medidos Pozo BJ07 en Miraflores

b. Depurar los datos que no representaran el funcionamiento de la bomba

No es posible trabajar con aquellos puntos que se observaron dispersos en las gráficas anteriores 1, 2, 3 y 4; representan quizá un error de medición, no se sabe a ciencia cierta qué es lo que pasó con esa medición, por lo que se toma la decisión de trabajar solo con aquellos puntos que se observan más semejantes a la forma de la curva de una bomba.

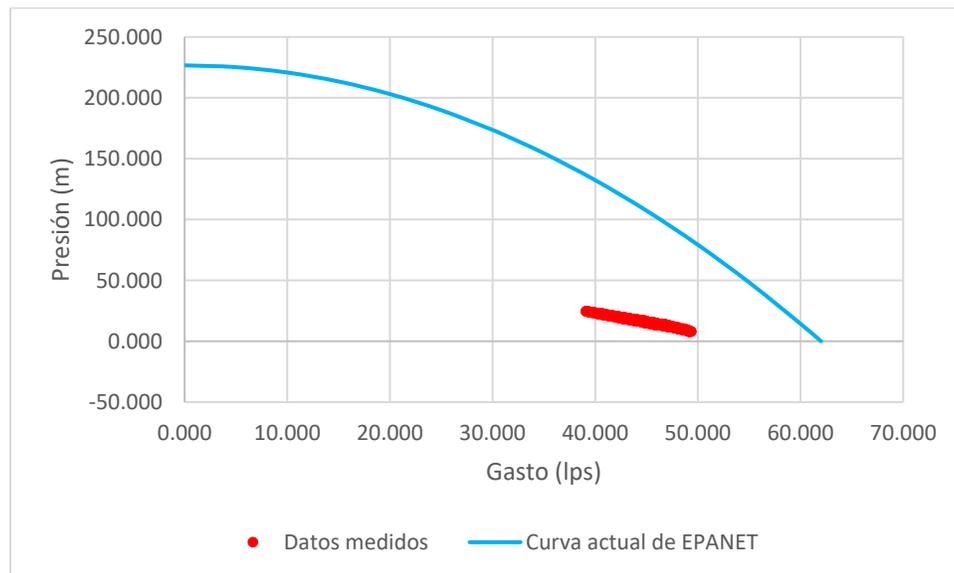
En las siguientes imágenes, se grafican los puntos depurados gasto (lps) y la presión convertida en metros (m) y se incluye la curva de la bomba actual en EPANET con la finalidad de ver el comportamiento de ambos datos para cada pozo y determinar la forma de análisis.

Pozo BJ03 en Rosendo Arnaiz



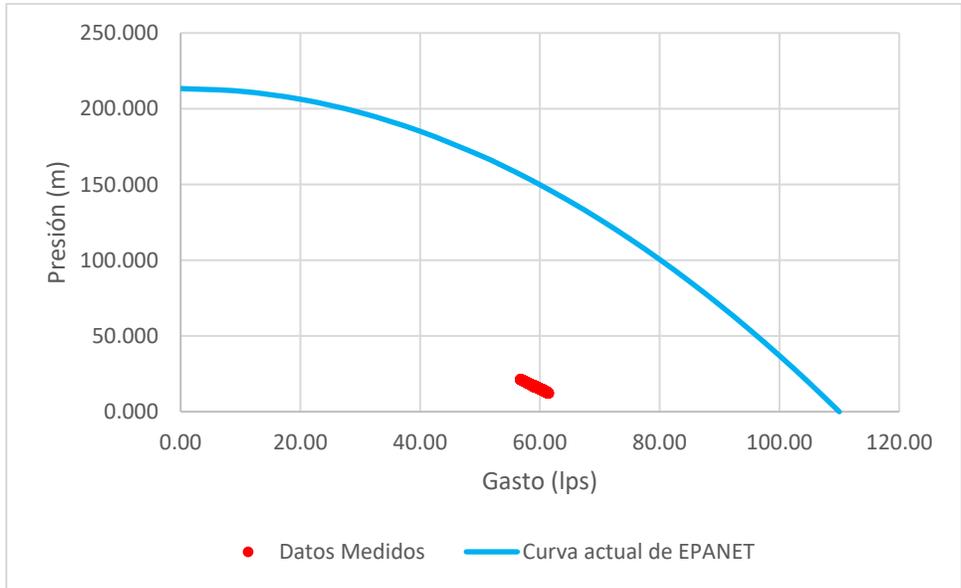
Gráfica 5 Comparativa datos medidos y curva actual. Pozo BJ03 en Rosendo Arnaiz

Pozo BJ06 en Jardín Bombo



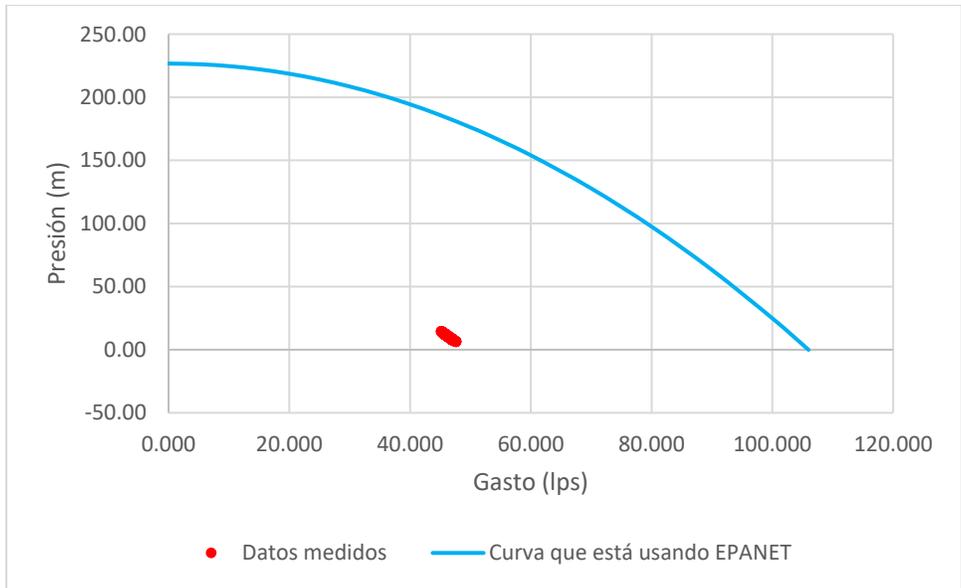
Gráfica 6 Comparativa datos medidos y curva actual. Pozo BJ06 Jardín Bombo.

Pozo BJ23 en La Huerta



Gráfica 7 Comparativa datos medidos y curva actual. Pozo BJ23 en La Huerta

Pozo BJ07 en Miraflores



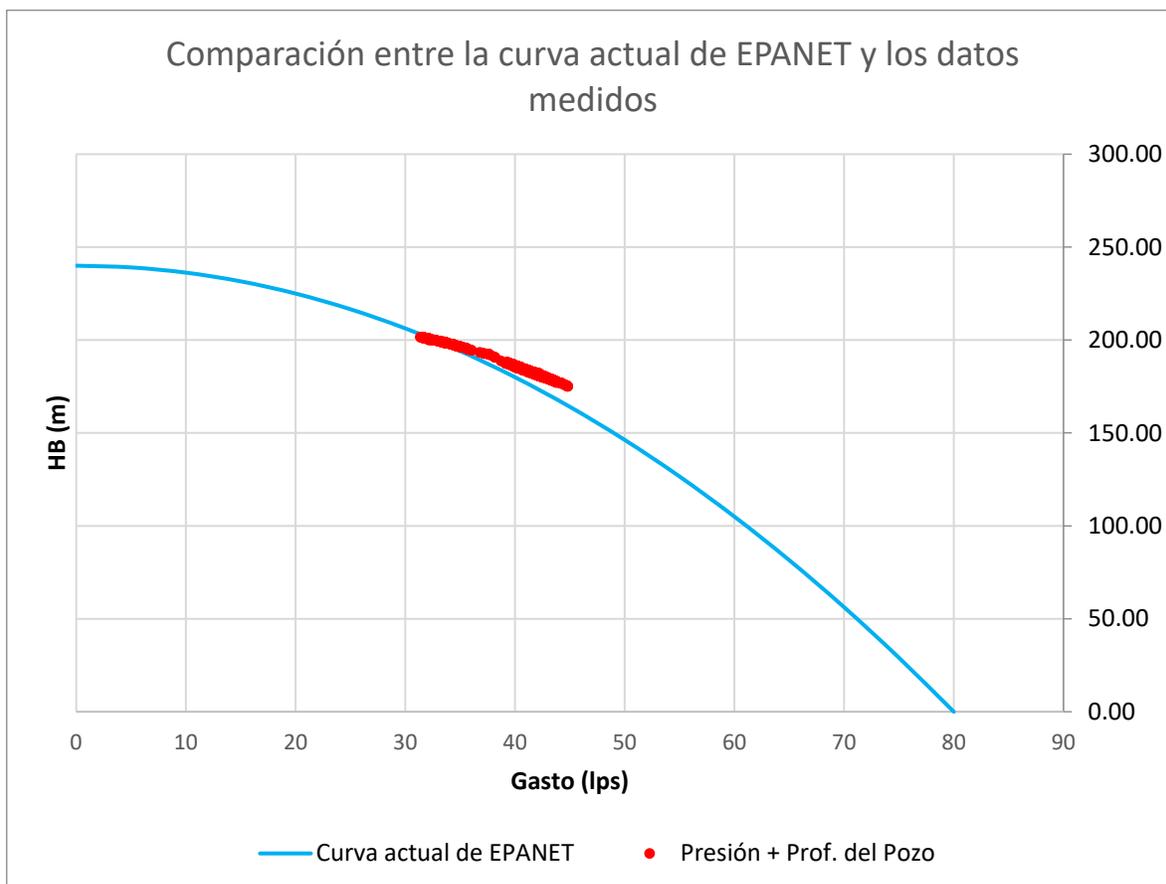
Gráfica 8 Comparativa datos medidos y curva actual. Pozo BJ06 Miraflores

Las gráficas 5, 6, 7 y 8 nos dicen que a los datos medidos es necesario sumarle la profundidad del pozo para obtener la carga de bombeo, y poder ahora sí hacer una comparativa de la curva teórica actual de EPANET

- c. **Comparativa de la curva actual de EPANET y la carga de bombeo obtenida de los datos medidos más la profundidad del pozo.**

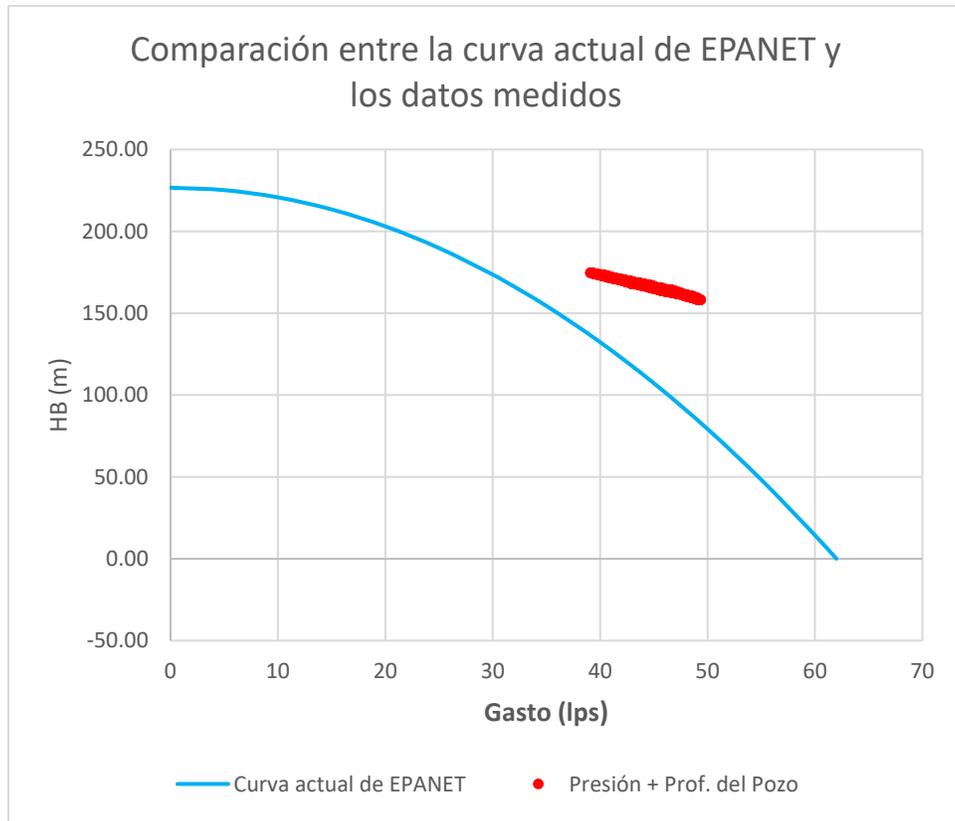
Se sumó la profundidad correspondiente de cada pozo (tabla 5) más la presión(m) medida, obteniendo así la carga de bombeo (HB) y se grafica esta carga de bombeo, para estar en posibilidades de compararla con la curva actual de la bomba usada en EPANET.

Pozo BJ03 en Rosendo Arnaiz



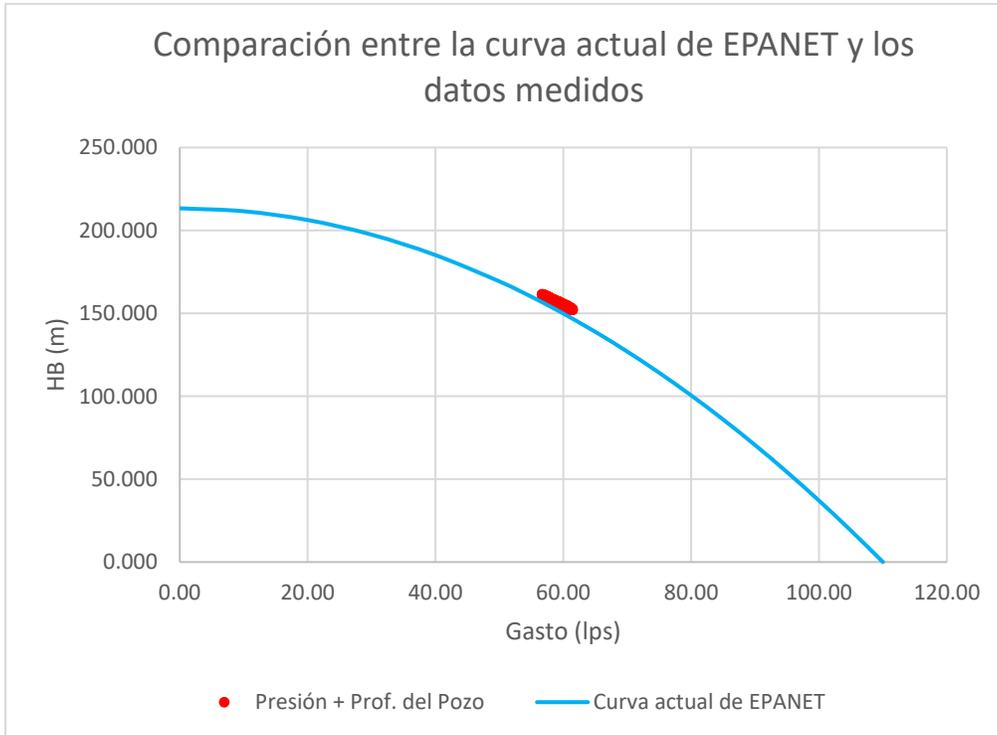
Gráfica 9 Comparación entre la curva actual de EPANET y los datos medidos. Pozo BJ03 Rosendo Arnaiz.

Pozo BJ06 en Jardín Bombo



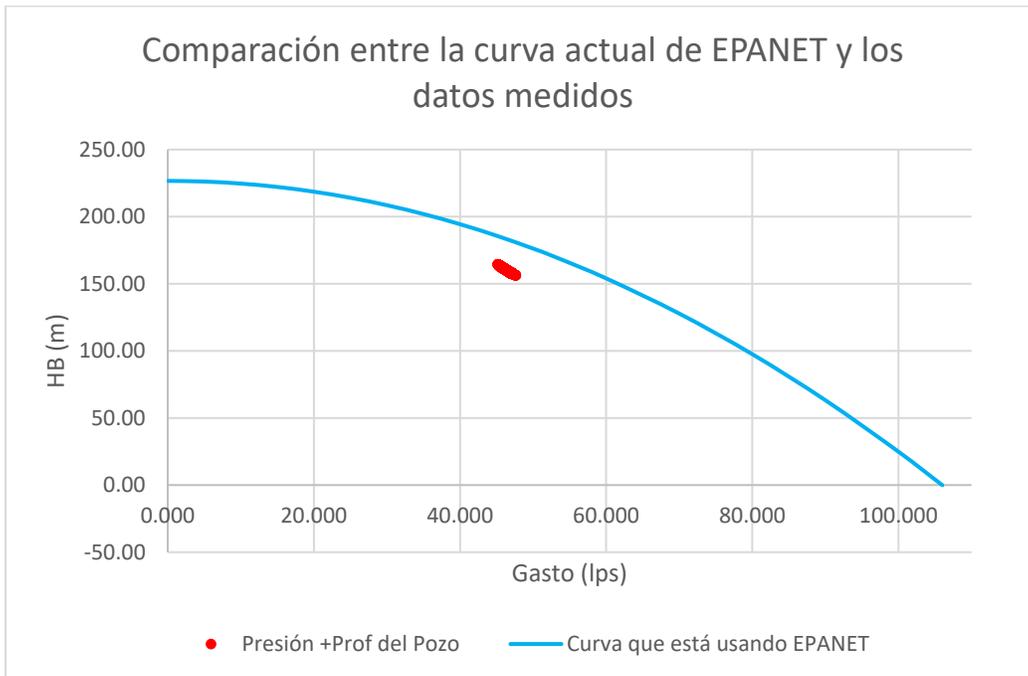
Gráfica 10 Comparación entre la curva actual de EPANET y los datos medidos. Pozo BJO6 Jardín Bombo.

Pozo BJ23 en La Huerta



Gráfica 11 Comparación entre la curva actual de EPANET y los datos medidos. Pozo BJ23 La Huerta

Pozo BJ07 en Miraflores



Gráfica 12 Comparación entre la curva actual de EPANET y los Datos medidos. Pozo BJ07 Miraflores

El objeto de comparar la carga de bombeo (obtenida de la suma de la presión medida más la profundidad del pozo) con la curva teórica de EPANET, es observar cómo se comportan ambas curvas; en algunos casos su comportamiento es bastante distinto entre sí, como es el caso de los pozos BJ 06 Jardín Bombo y el pozo BJ 07 Miraflores (gráfica 10 y 12) que aun cuando se considera la profundidad del pozo, los datos medidos se van alejando de la curva teórica de EPANET; no es el caso de los pozos BJ03 Rosendo Arnaiz y el pozo BJ23 La Huerta, los cuales al graficar su conjunto de datos su comportamiento se aprecia similar a la curva teórica de EPANET.

A través de la comparativa anterior se estaba en posibilidades de determinar cómo realizar el proceso de obtención de la curva nueva que sustituiría a la curva teórica y además nos apegamos al proceso que EPANET usa para generarla.

Proceso de obtención de la curva nueva para Epanet

A partir de todo el conjunto de datos proporcionados sobre el comportamiento de las bombas, posterior a una observación y depuración de los datos medidos, y de comparar en un modo gráfico el comportamiento del conjunto de datos medidos y la curva de EPANET actual, se determinó, que era necesario obtener los siguientes elementos para lograr hacer una curva con un solo punto de referencia para ingresar a EPANET, pero al mismo tiempo tener la seguridad de que la curva que genere EPANET sea la que represente los datos medidos:

- I. **El polinomio determinado** en EXCEL, mediante la línea de tendencia polinómica de todo el conjunto de puntos a los cuales se les sumó la altura del pozo.
- II. **El punto (gasto-carga) de referencia**, que permitiera determinar los dos puntos faltantes que se necesitan para crear una curva, estos dos puntos se obtuvieron con el procedimiento que usa EPANET.
- III. **La curva de la bomba**, generada mediante los tres puntos determinados en el inciso II la cual tenía que estar dentro de la tendencia de los datos medidos.

El objetivo del inciso I fue crear un polinomio con una línea de tendencia polinómica en EXCEL, de tal manera que nos proporcionara la carga de bombeo con cualquier gasto, siguiendo la tendencia dentro de los datos medidos.

El objetivo del inciso número II, fue determinar aquel punto de referencia (gasto-carga) que necesita EPANET para crear la nueva curva de la bomba con un solo punto. Con el punto de referencia se añadieron dos puntos más a la curva, tal como lo hace EPANET, un punto a caudal nulo, cuya altura supone que es un 133 % de la carga del punto de referencia y otro punto a altura cero, donde su caudal es el doble del caudal del punto de referencia. De este modo la curva es tratada finalmente como una curva de tres puntos y se puede trazar.

Finalmente, en el inciso III el objetivo es trazar la curva, con los 3 puntos determinados en el inciso II, buscando que obligadamente esté dentro de los datos medidos.

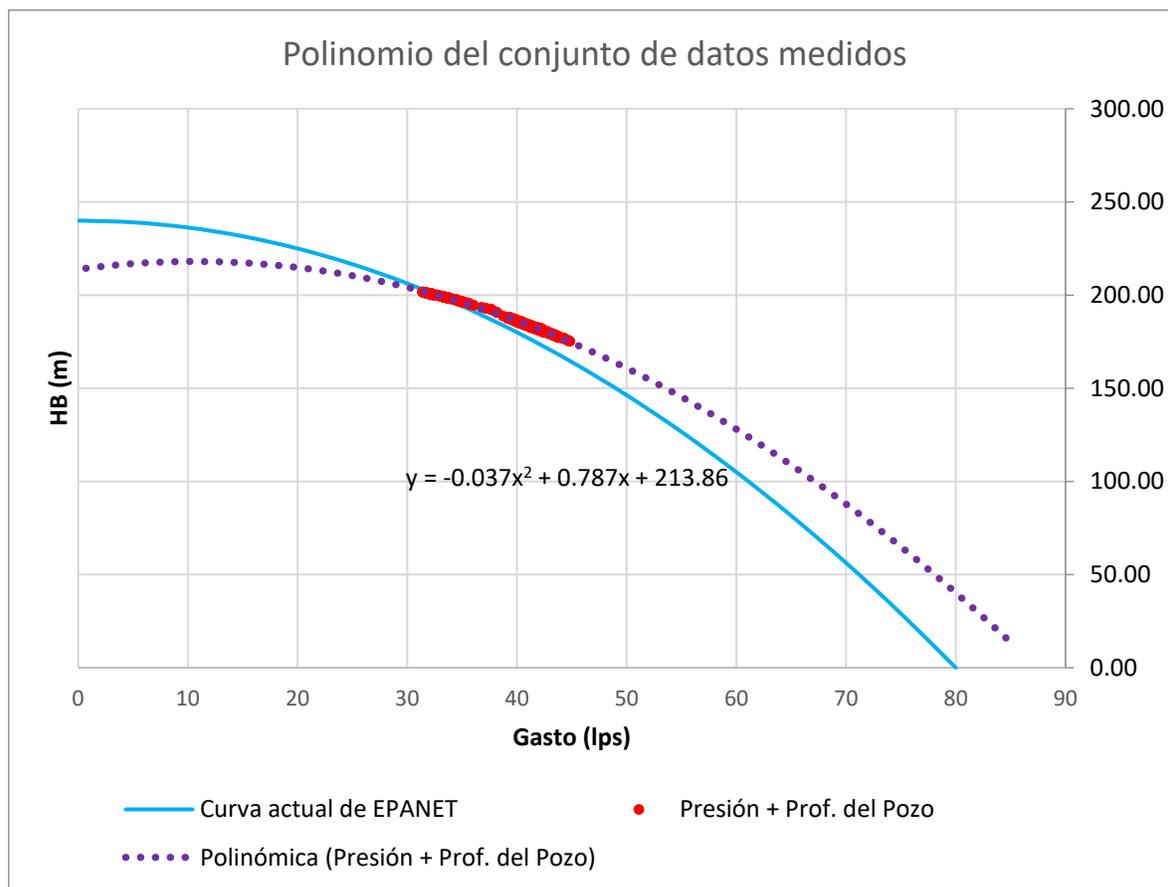
Ahora bien, para poder hacer que la curva nueva de la bomba pasara por el conjunto de datos medidos que incluye la profundidad del pozo, fue necesario hacer varias pruebas con diferentes puntos de referencia a determinado caudal, es por ello, que fue necesario el inciso I.

Para una mejor comprensión de la obtención de los elementos en los incisos I, II y III se presentan las gráficas del análisis para cada pozo, así como una breve explicación de lo que se hizo.

I. Polinomio determinado en EXCEL.

En las siguientes gráficas de los pozos de estudio se trazó una curva polinómica del conjunto de datos medidos con apoyo de Excel pidiéndole el polinomio. Este polinomio fue fundamental para determinar la carga con cualquier gasto que se indique, la condición es que ésta carga corresponda a la tendencia que sigue esta curva dentro de los datos medidos.

Pozo BJ03 en Rosendo Arnaiz



Gráfica 13 Curva polinómica y polinomio del conjunto de datos. Pozo (BJ-03) Ricardo Arnaiz

Tendencia del conjunto de datos medidos		
a0	a1	a2
213.86	0.787	-0.037

Tabla 6 Polinomio obtenido del conjunto de datos. Pozo (BJ-03) Ricardo Arnaiz

de la siguiente fórmula 1:

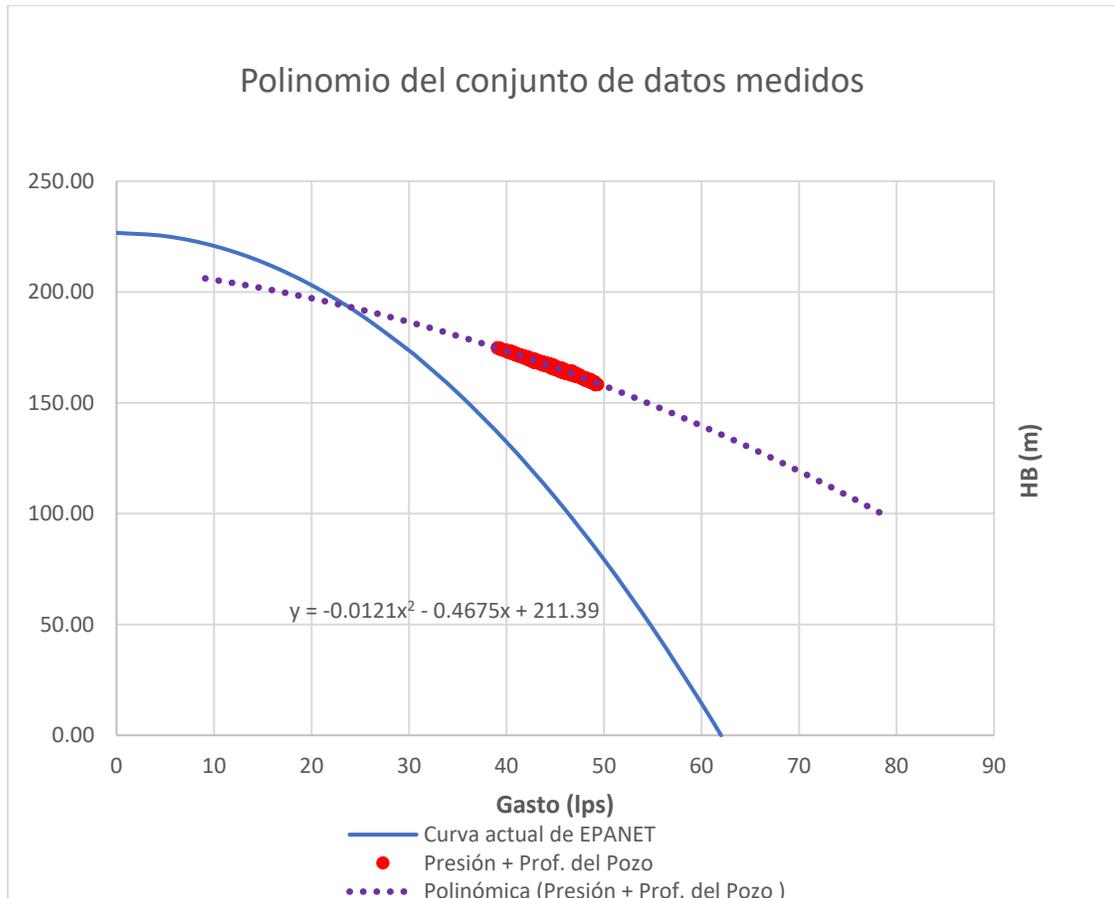
$$H_B = a_0 + a_1q + a_2q^2$$

y con le polinomio de EXCEL, obtenemos la carga para un gasto propuesto de **46 lps**

$$H_B = 213.86 + 0.787 * (46) - 0.037 * (46)^2$$

$$H_B = 171.77 \text{ m}$$

Pozo BJ06 en Jardín Bombo



Gráfica 14 Curva polinómica y polinomio del conjunto de datos. Pozo BJ06 en Jardín Bombo

Tendencia del conjunto de datos medidos		
a0	a1	a2
211.39	-0.4675	-0.0121

Tabla 7 Polinomio obtenido del conjunto de datos. Pozo BJ-06 Jardín Bombo.

de la siguiente fórmula 1:

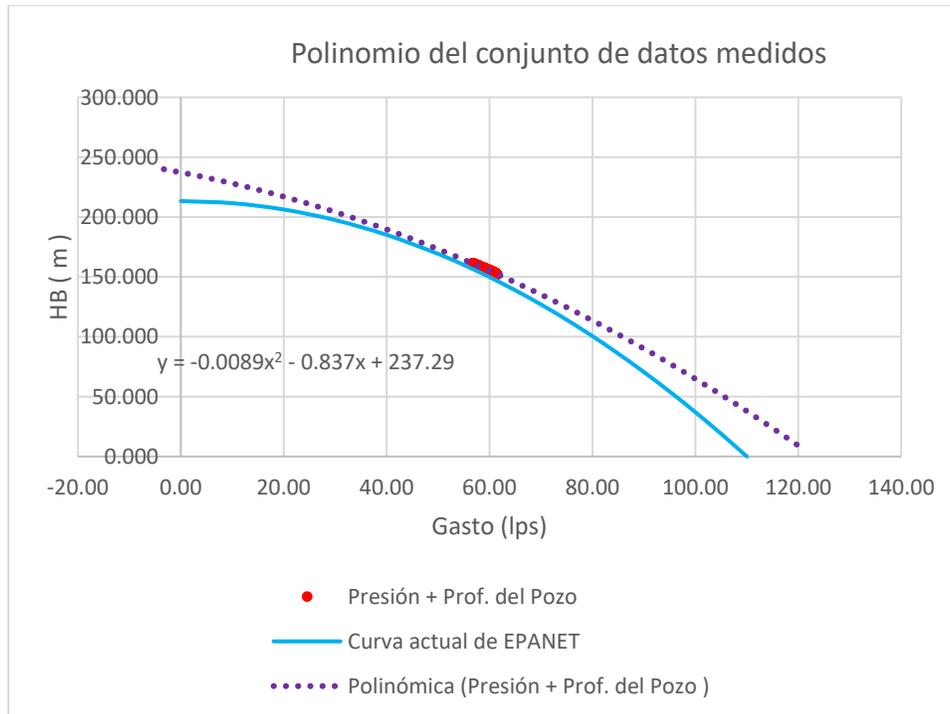
$$H_B = a_0 + a_1q + a_2q^2$$

y con le polinomio de EXCEL, obtenemos la carga para un gasto propuesto de **53 lps**

$$H_B = 211.39 - 0.4675 * (53) - 0.0121 * (53)^2$$

$$H_B = 152.624 \text{ m}$$

Pozo BJ23 en La Huerta



Gráfica 15 Curva polinómica y polinomio del conjunto de datos. Pozo BJ23 en La Huerta.

Tendencia del conjunto de datos medidos		
a0	a1	a2
237.29	-0.837	-0.0089

Tabla 8 Polinomio obtenido del conjunto de datos. Pozo BJ-23 La Huerta

de la siguiente fórmula 1:

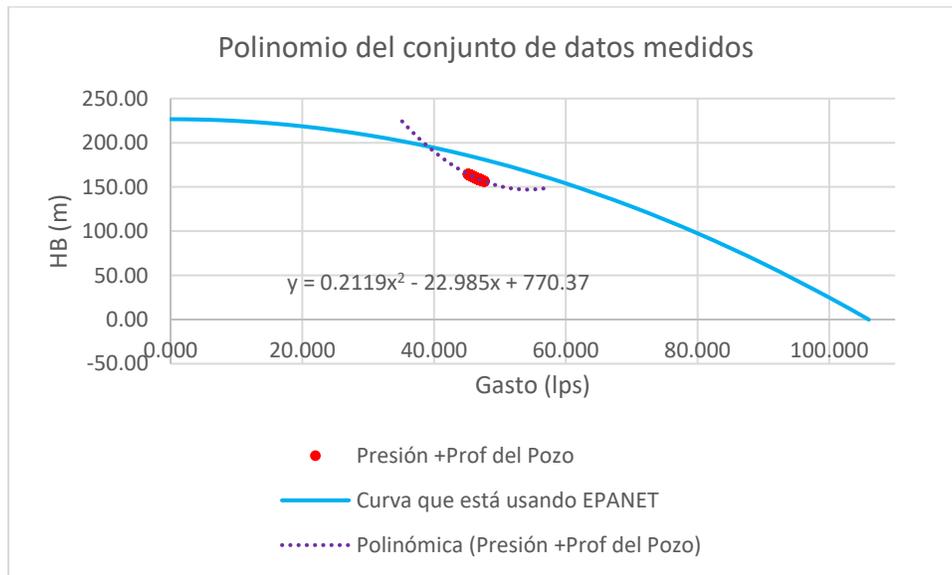
$$H_B = a_0 + a_1q + a_2q^2$$

y con le polinomio de EXCEL, obtenemos la carga para un gasto propuesto de **56 lps**

$$H_B = 237.29 - 0.837 * (56) - 0.0089 * (56)^2$$

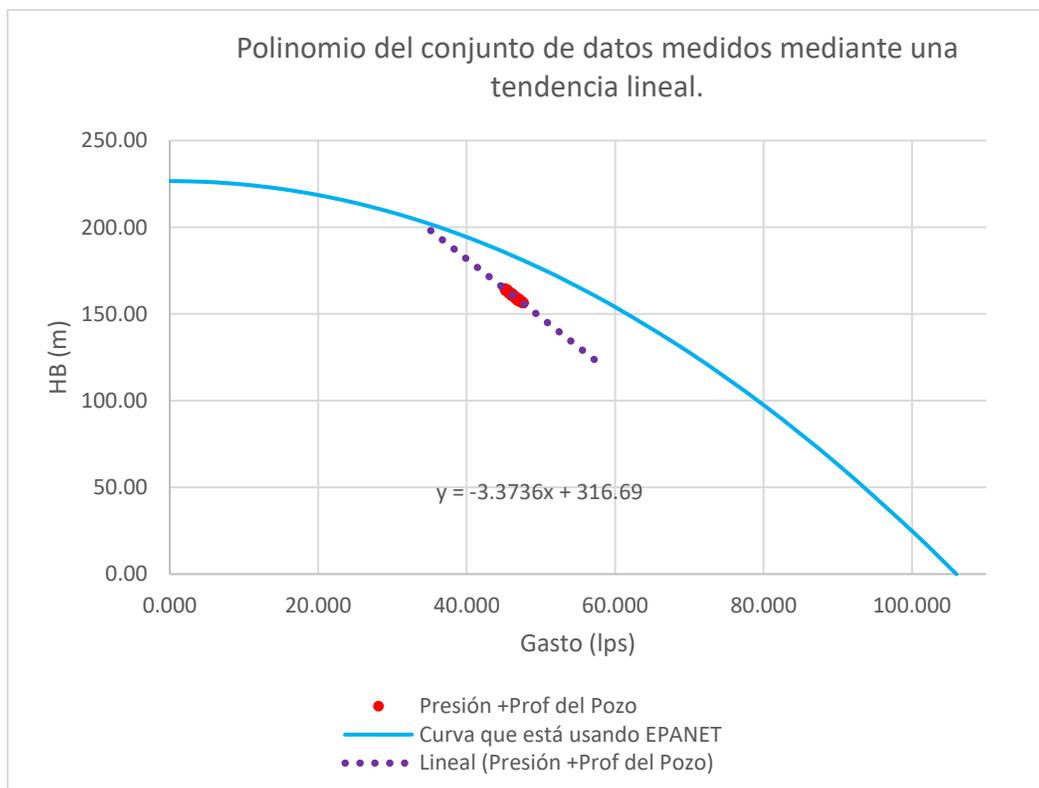
$$H_B = 162.5076 \text{ m}$$

Pozo BJ07 en Miraflores



Gráfica 16 Curva Polinómica y polinomio del conjunto de datos. Pozo BJ 07 Miraflores.

En este pozo al trazar la línea de tendencia polinómica se observa una curva con forma diferente a la de operación de una bomba, por el contrario, esta curva polinómica se invierte, motivo por el cual, se propone conseguir el polinomio de tendencia mediante una recta, igualmente con apoyo de Excel de la siguiente forma:



Gráfica 17 Polinomio de tendencia lineal del conjunto de datos. Pozo BJ 07 Miraflores.

Tendencia del conjunto de datos medidos	
a0	a1
316.69	-3.3736

Tabla 9 Polinomio lineal obtenido del conjunto de datos. Pozo BJ-07 Miraflores.

siguiendo el mismo proceso para todos los pozos, de la siguiente fórmula 1:

$$H_B = a_0 + a_1q + a_2q^2$$

y con el polinomio de EXCEL, obtenemos la carga para un gasto propuesto de **40 lps**.

$$H_B = 316.69 - 3.3736 * (40)$$

$$H_B = 181.746 \text{ m}$$

II. El punto de referencia (gasto-carga).

Con el gasto que se propone en el punto I se obtienen los dos puntos faltantes para crear la curva mediante el proceso que usa EPANET (explicado en párrafos anteriores y de manera breve a continuación), y así tener los 3 puntos mínimos para trazar una curva. Es decir:

El 1er punto, se propone un gasto y se calcula la carga para este gasto. En este caso con el polinomio anterior se determinó su carga correspondiente, este es el punto de referencia.

El 2º punto de la curva será un punto a caudal nulo (cero) y su carga será el 133% de la carga del punto de referencia

Y el 3er punto será a la altura cero y el caudal será el doble del punto de referencia.

A continuación, en las tablas 10, 11, 12 y 13 se muestran los tres puntos para formar la curva de cada pozo de estudio.

Pozo BJ03 en Rosendo Arnaiz

Puntos para la nueva curva de EPANET		
Q (lps)	HB (m)	
0	229.03	2o punto
46	171.77	1er punto
92	0.00	3er punto

Tabla 10 puntos para la nueva curva de EPANET. Pozo BJ03 en Rosendo Arnaiz

Pozo BJ06 en Jardín Bombo

Puntos para la nueva curva de EPANET		
Q (lps)	HB (m)	
0	203.50	2o punto
53	152.62	1er punto
106	0.00	3er punto

Tabla 11 puntos para la nueva curva de EPANET. Pozo BJ06 en Jardín Bombo

Pozo BJ23 en La Huerta

Puntos para la nueva curva de EPANET		
Q (lps)	HB (m)	
0	216.68	2o punto
56	162.51	1er punto
112	0.00	3er punto

Tabla 12 Puntos para la nueva curva de EPANET. Pozo BJ23 en La Huerta

Pozo BJ07 en Miraflores

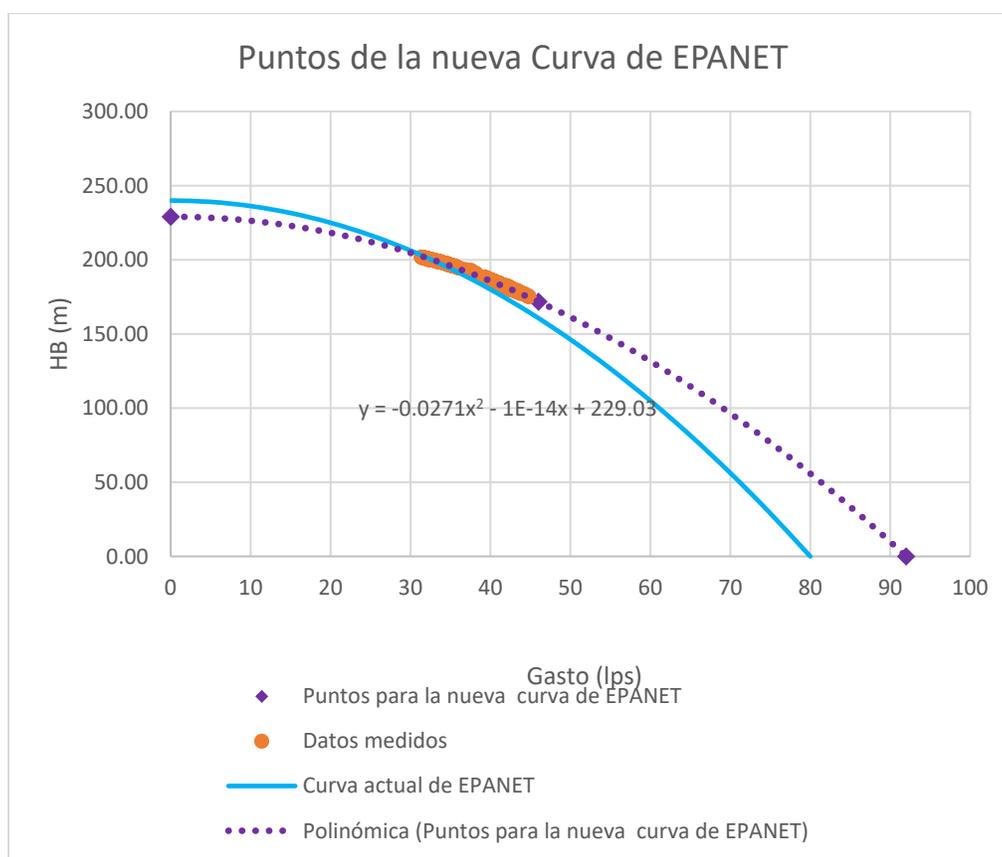
Puntos para la nueva curva de EPANET		
Q (lps)	HB (m)	
0	242.33	2o punto
40	181.75	1er punto
80	0.00	3er punto

Tabla 13 Puntos para la nueva curva en EPANET. Pozo BJ07 en Miraflores.

III. La curva de la bomba

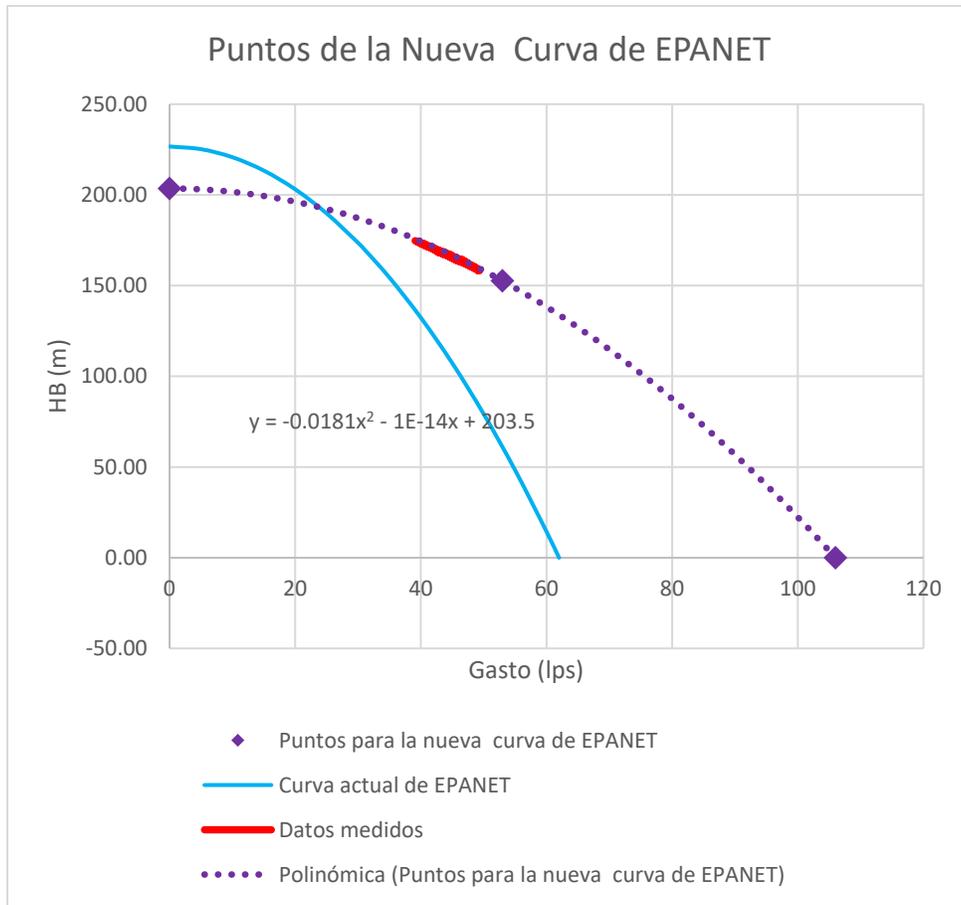
La curva de la bomba para este trabajo fue aquella que se obtuvo con los tres puntos, y que se fue ajustando mediante la propuesta de varios puntos de referencia hasta encontrar aquel que de tal manera la curva incluyera el conjunto de los datos medidos. Es decir, se fue modificando el gasto-carga hasta encontrar esa semejanza. Para mejor comprensión se muestran las siguientes gráficas de cada pozo:

Pozo BJ03 en Rosendo Arnaiz



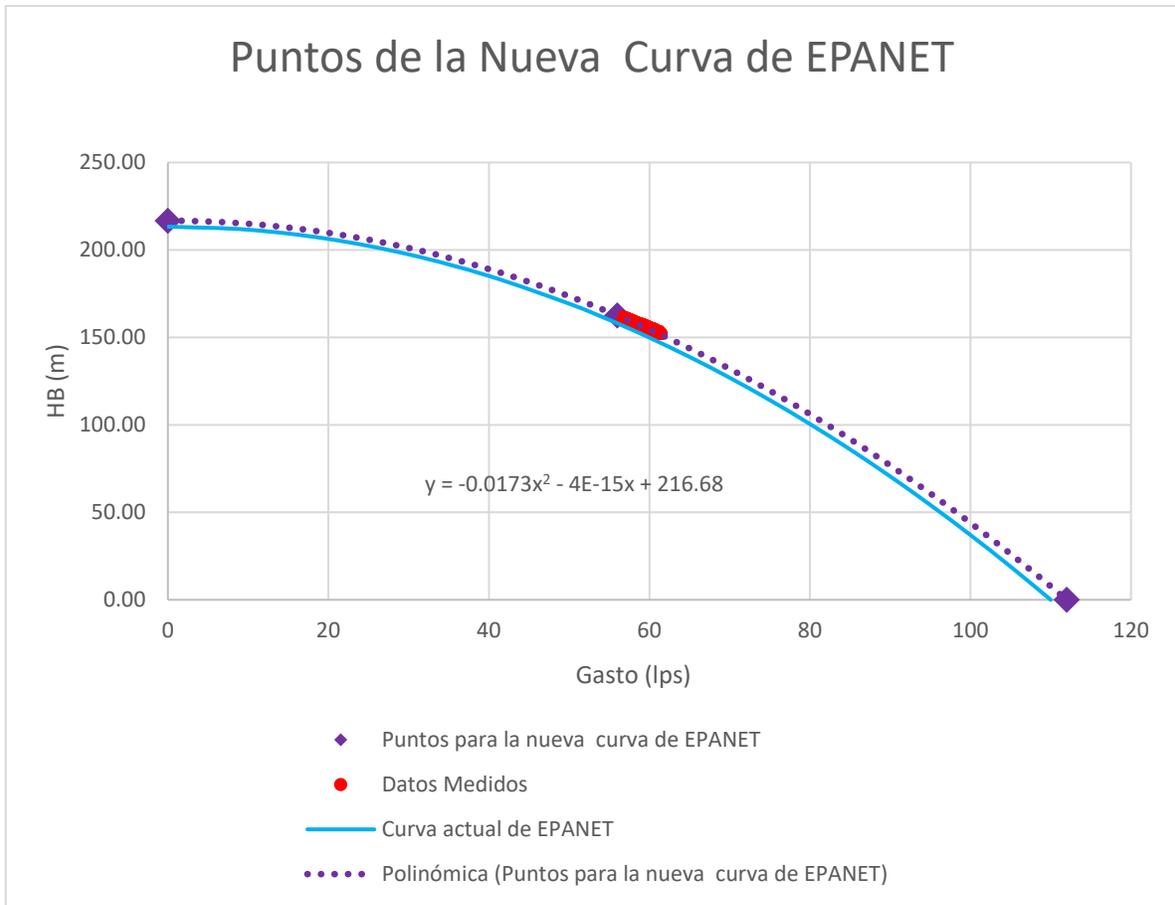
Gráfica 18 Curva nueva para EPANET. Pozo BJ03 en Rosendo Arnaiz

Pozo BJ06 en Jardín Bombo



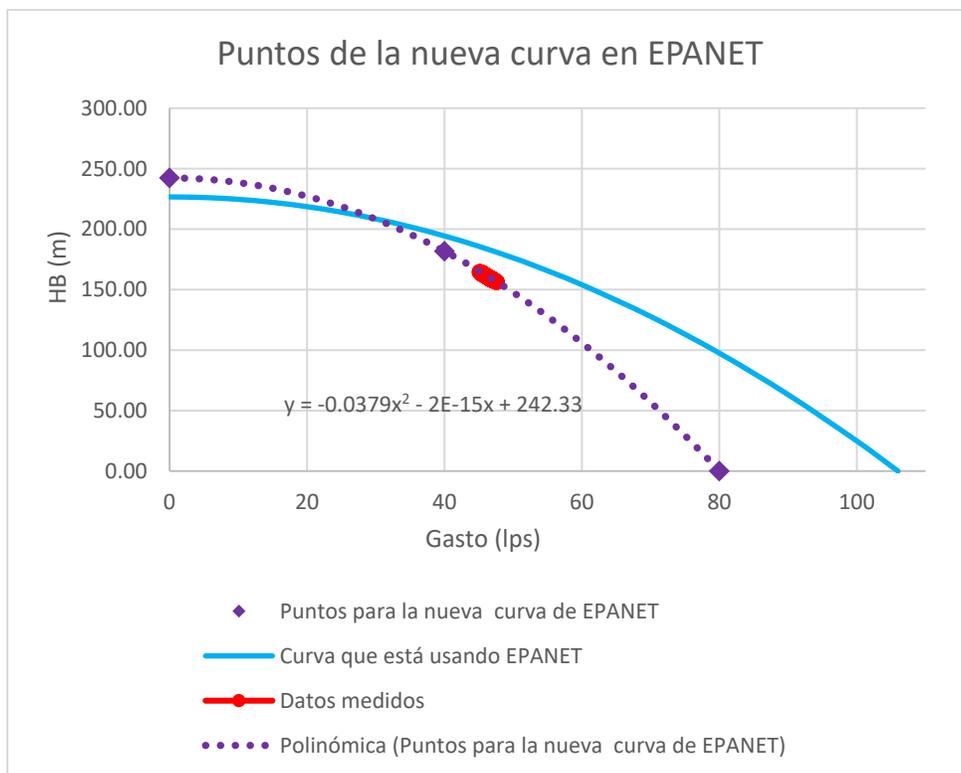
Gráfica 19 Curva nueva para EPANET. Pozo BJ06 en Jardín Bombo.

Pozo BJ23 en La Huerta



Gráfica 20 Curva nueva para EPANET. Pozo BJ23 en La Huerta

Pozo BJ07 en Miraflores



Gráfica 21 Curva nueva para EPANET. Pozo BJ07 en Miraflores.

El polinomio mostrado se generó con EXCEL, pero se pudo constatar que es el mismo que EPANET crea al momento de ingresar el punto de referencia (gasto-carga) al programa. Con este último ajuste que hacemos, obligamos a EPANET a trabajar con los datos que nosotros le indicamos.

Al mismo tiempo observamos el comportamiento de ambas curvas, la generada con los puntos medidos y la curva teórica de la bomba, lo que nos confirma en los casos de los pozos BJ03 Rosendo Arnaiz, BJ06 Jardín Bombo y BJ07 Miraflores que es bastante distinta y que por lo tanto al analizar el comportamiento de la red, los resultados podrían variar, no es el caso del Pozo BJ23 en La Huerta que el comportamiento de ambas curvas es muy similar, con lo que si existe variación podría ser imperceptible.

Comportamiento de la presión en el sector, analizándolo con las curvas nuevas obtenidas de las mediciones.

Se revisó el comportamiento de la presión y demanda en todos los tanques, por dos razones: la primera para observar el tiempo en que el sector es estable y segundo para poder mostrar la presión con curvas teóricas y la presión con curvas de los datos medidos en los nodos cercanos a los pozos que se modificaron, observando lo siguiente:

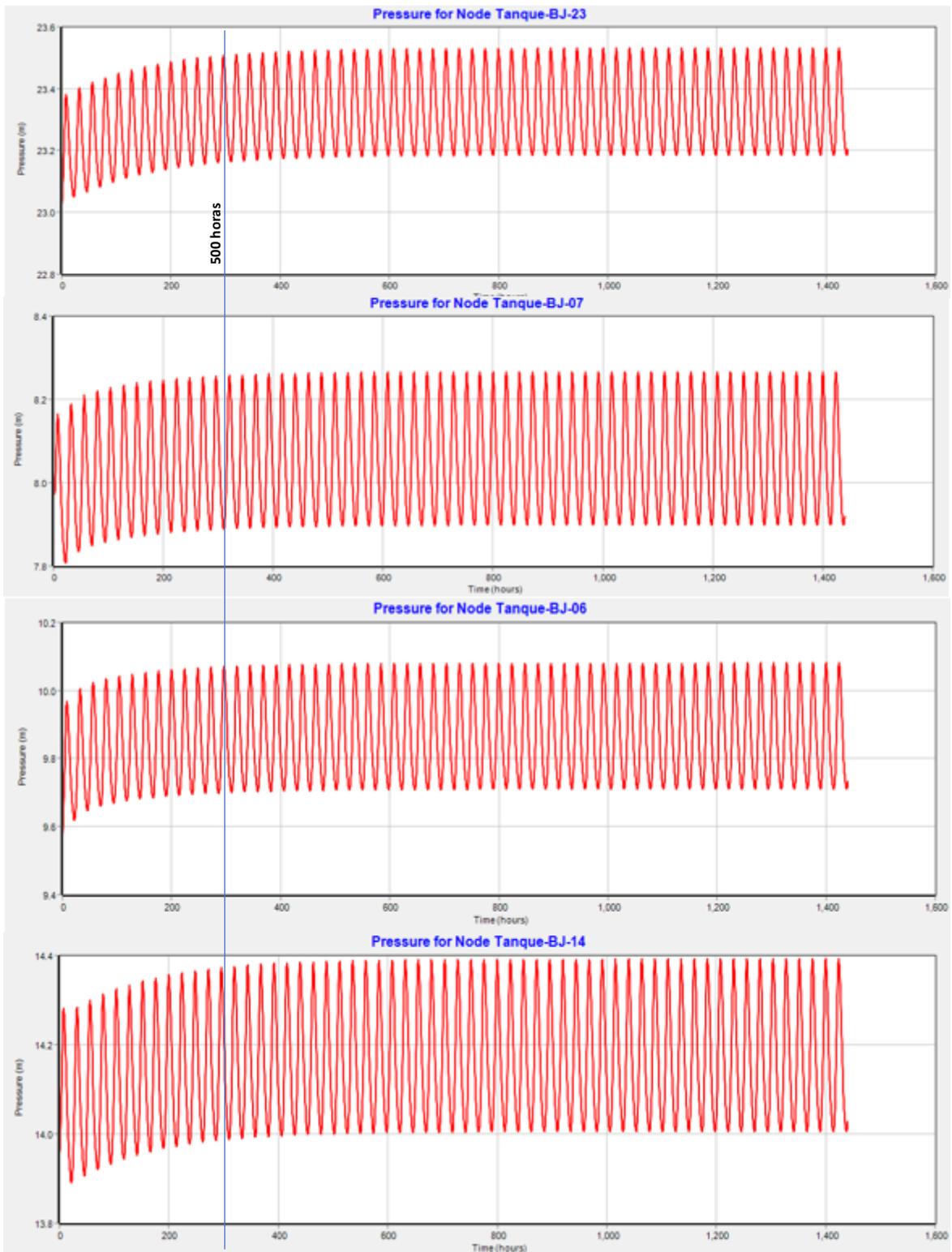
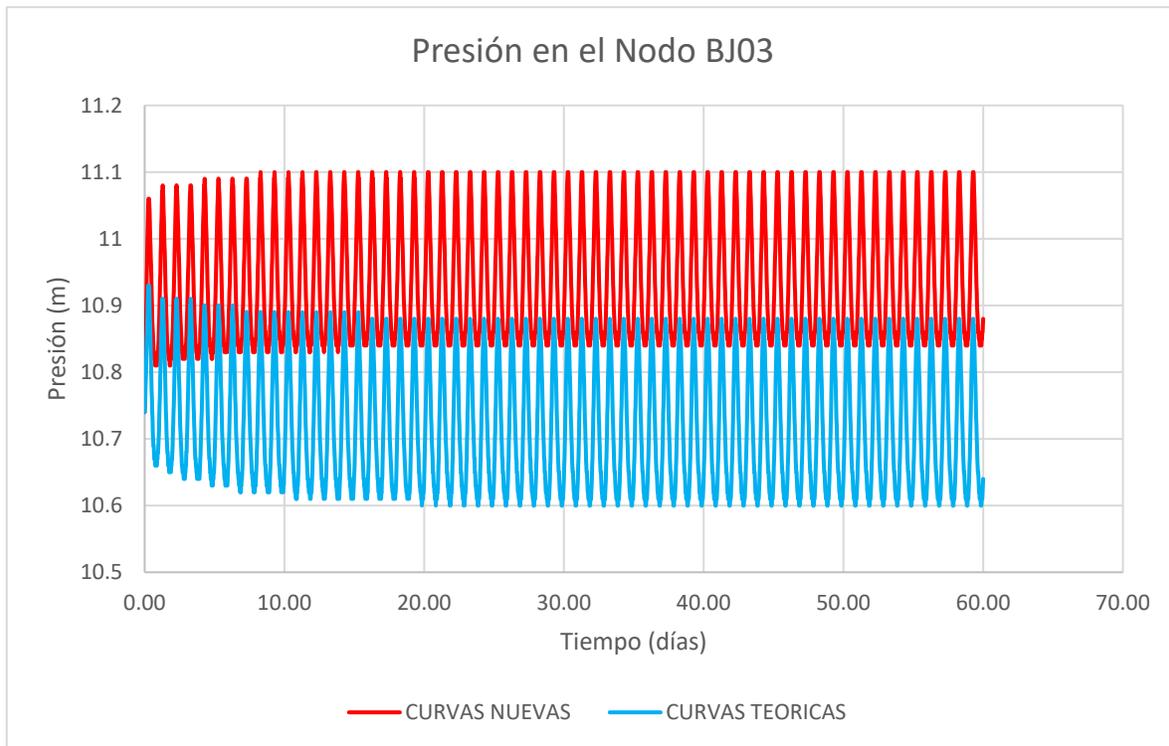


Imagen 24 Presiones en los tanques en los que más tarda en estabilizarse la red.

En el conjunto de gráficas de la imagen 24 se aprecia que el sector de análisis con las curvas nuevas es estable a partir de las 500 horas.

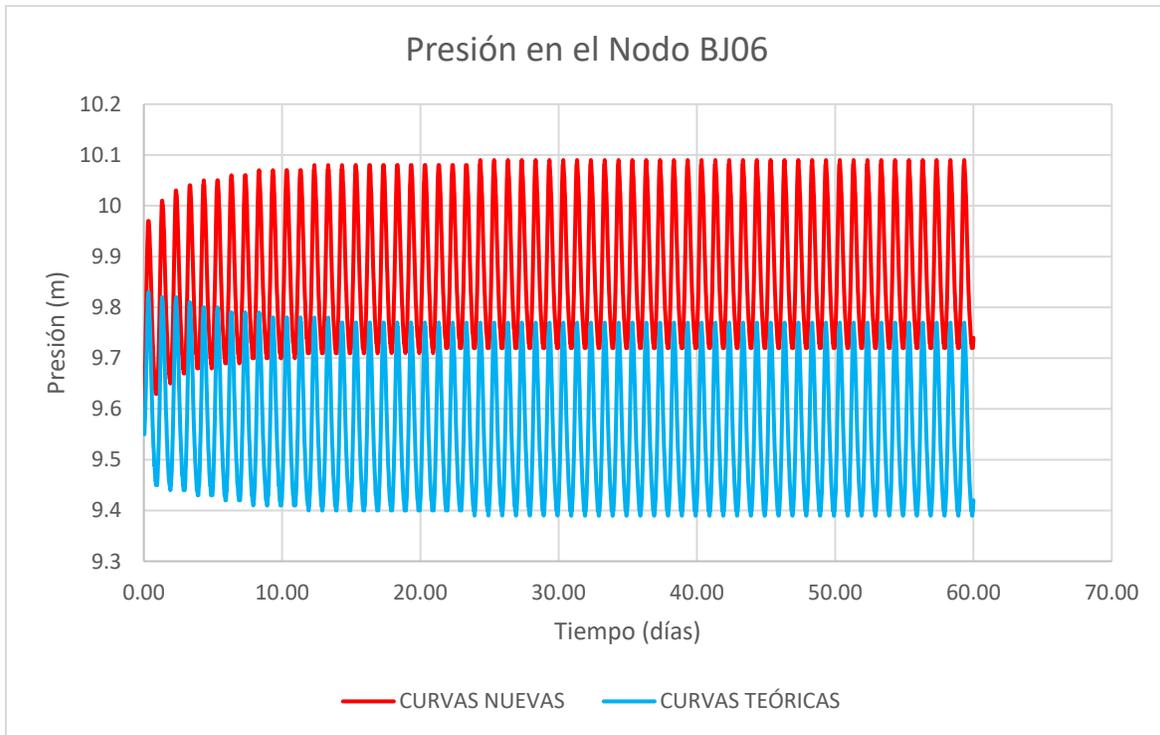
Las siguientes gráficas comparan la presión (analizando primero con curvas teóricas y en un segundo análisis con curvas nuevas obtenidas de las mediciones) que se presenta en el nodo cercano a los pozos de interés de éste trabajo.

Nodo BJ03 cercano al pozo BJ03 en Rosendo Arnaiz



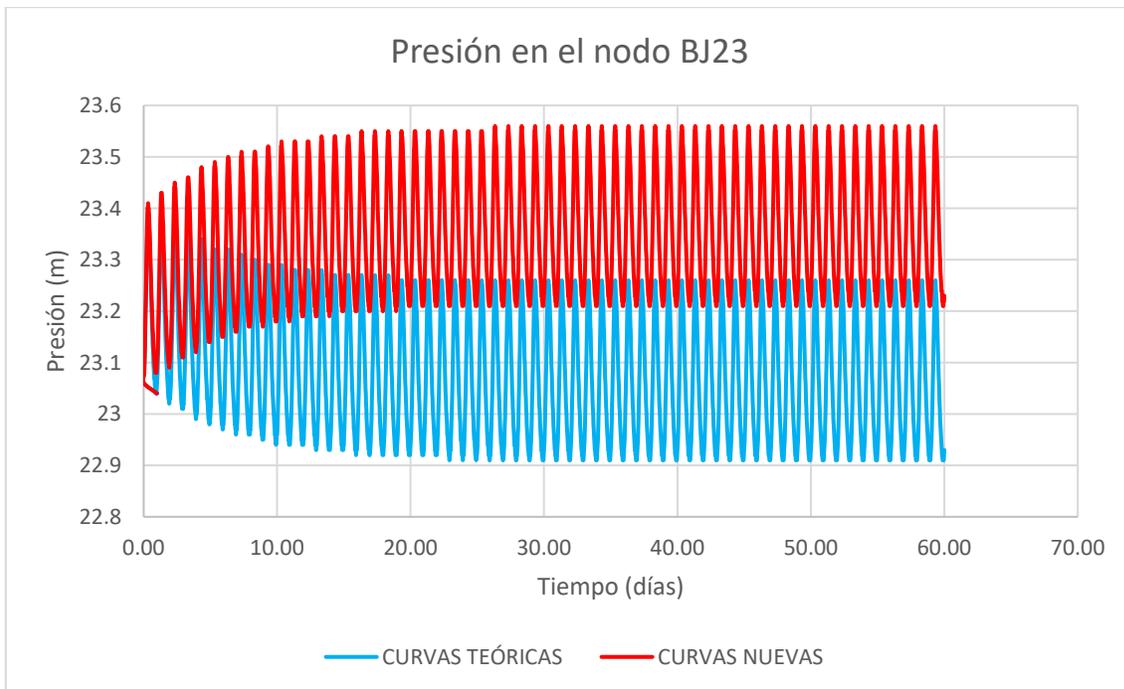
Gráfica 22 Presión en el nodo más cercano al pozo BJ03 Rosendo Arnaiz.

Nodo BJ06 cercano al pozo BJ06 en Jardín Bombo



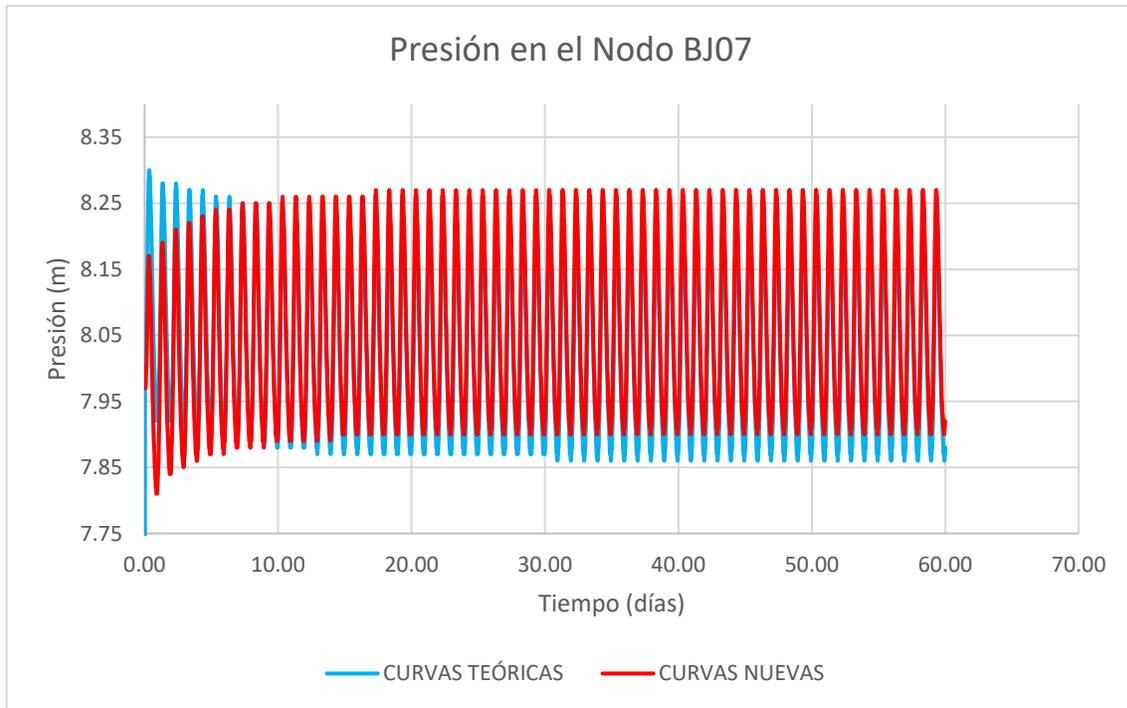
Gráfica 23 Presión en el nodo más cercano al pozo BJ06 Jardín Bombo.

Nodo BJ23 cercano al pozo BJ23 en La Huerta



Gráfica 24 Presión en el nodo más cercano al pozo BJ23 en La Huerta

Nodo BJ07 cercano al pozo BJ07 en Miraflores



Gráfica 25 Presión en el nodo más cercano al pozo BJ07 en Miraflores

Al comparar los nodos mas cercanos a los pozos donde se modificaron las curvas, se observa que existe ligeramente un incremento en la presión, tal como lo muestran las gráficas anteriores (grafica 22 a la 25).

5. Comentarios y conclusiones

El sistema de distribución de agua potable de la CDMX al ser tan complejo es imperativo que se estudie, analice y represente su funcionamiento de una forma real, es decir que cada elemento que lo conforme contenga las características de funcionamiento real y sobre todo actualizado, para este propósito se está haciendo el esfuerzo para realizar las mediciones de los pozos, y se pretende continuar con estas mediciones para todos los pozos del sistema; de esta manera y aunado al plan de sectorización que se lleva a cabo, se busca hacer más eficiente toda la red de la CDMX.

Para llevar a cabo este trabajo fue necesario entender como maneja EPANET las curvas de las bombas; estudiar los factores y elementos que constituyen el sector e interpretarlos; contar con los datos obtenidos de mediciones de las bombas de los pozos, depurarlos y procesarlos para tener certeza y veracidad de estar manejando datos medidos reales del comportamiento de una curva de bombeo.

En el caso de los factores que constituyen el sector, específicamente la profundidad de los pozos, se considera un dato importantísimo para el análisis de

este trabajo, desafortunadamente, no se pudo constatar la veracidad de la profundidad de los pozos.

En este trabajo se estudió un sector, y de ese sector sólo se cambiaron las curvas de 4 pozos quizá los resultados no impactan a primera vista, sin embargo, sí se presenta una diferencia de presiones en los nodos más cercanos a los pozos donde se modificaron las curvas, en este caso se observó que la presión se incrementa ligeramente, tal como se muestra en las gráficas 22 a 25. Los pozos son importantes en la red ya que representan el 70 % del volumen abastecido, si al comparar los resultados de presión existe un incremento la pregunta es “¿cómo sería si reemplazamos las curvas de las bombas por curvas de datos medidos en todos los pozos de todos los sectores de la red?” Sin duda, los resultados del comportamiento del sector serían diferentes. Con esto comprobamos que lo ideal es continuar con las mediciones de todas las bombas de los pozos, hacer el mismo proceso de observación, depuración, desarrollo y análisis de estos datos, y continuar con simulaciones de la red ahora con estas curvas siempre buscando el funcionamiento del sistema de una manera eficiente.

En conclusión, el objetivo de este trabajo era visibilizar la importancia de trabajar, analizar o estudiar un sector de la red de distribución, con datos de mediciones reales y actuales del funcionamiento de las bombas de los pozos que abastecen al sector, y demostrar que al ser una red antigua los elementos que la componen modifican sus variables con el tiempo y que es relevante seguir considerando este hecho en los análisis que se hacen para la sectorización y tomar en cuenta para su futura operación. Lo anterior coadyuvará en la toma de diferentes tipos de decisiones en el futuro.

6. Bibliografía

“EPANET 2 Manual del Usuario Versión 2.00.12”

Elaborado por:

- Lewis A. Rossman
- Water Supply and Water Resources Division
- National Risk Management Research Laboratory
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY Cincinnati, OH 45268

Versión española publicada en 30/10/2002 y revisada en 30/05/2017

Traducción al español:

- Fernando Martínez Alzamora
fmartine@hma.upv.es
Grupo REDHISP. Inst. Ingeniería del Agua y M.A.
Universidad Politécnica de Valencia (España)
www.redhisp.upv.es

Liga :

https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_es_p_v20012_ext.pdf

Libro 12 “Diseño de redes de distribución de Agua Potable”

del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.

Elaborado por:

- D.R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña C.P.
14210, Tlalpan, México, D.F.
- Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo C.P. 04340, Coyoacán, México,
D.F., Tel. (55) 5174-4000

Liga: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro12.pdf>

“El Agua. Recurso natural de gran trascendencia para la vida”

Primera edición, 2017

Autora: Andrea Mireille Gutiérrez Vázquez

Infografías: Juan Carlos Fleicer

Fotografía: Grupo Milenio, Cuartoscuro, Thinkstock

Diseño editorial: Lisete Barrueta

Corrección de estilo: Lidya Arana Lagos

Edición: Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX)

Liga:

<http://data.sacmex.cdmx.gob.mx/aplicaciones/libreria/biblioteca/libros/2018/aguaCDMX.pdf>