



Evaluación hidráulica de la red de agua potable de San Martín Sabinillo, Oaxaca

Hydraulic evaluation of the drinking water network of San Martín Sabinillo, Oaxaca

Oscar Jesús Llaguno Guilberto* , Juan Maldonado Silvestre , Raúl Medina Mendoza , José Manuel Rodríguez Varela , Norma Ramírez Salinas , Jomaelah Morales Rayo , Edgar Eduardo López López

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnahuac no. 8532, C. P. 62550, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos.

Historial

Manuscrito recibido: 7 de diciembre de 2023

Manuscrito aceptado: 12 de septiembre de 2024

Manuscrito publicado: diciembre 2024

*Autor para correspondencia

Oscar Jesús Llaguno Guilberto

e-mail: oscar_llaguno@tlaloc.imta.mx

ORCID: 0000-0002-9239-8081

Resumen

La localidad de San Martín Sabinillo, municipio de San Miguel Tlacotepec, Oaxaca se encuentra en la Sierra Mixteca, la población es de la etnia mixteca. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua realizó un análisis de la red de agua potable existente, con el fin de mejorar el servicio de la población. Mediante un modelo hidráulico, evaluado en el programa EPANET, se realizaron las propuestas de mejora al servicio, donde se propone ampliar una hora más la operación de captación, incluyendo 14 válvulas reductoras de presión y 16 de aislamiento con sus respectivas cajas; además del reemplazo de la tubería de succión de pozo principal dando un monto de \$746,638 pesos 00/100 M.N. con IVA.

Palabras clave: Agua potable, calibración, modelo hidráulico, EPANET, demanda.

Introducción

De acuerdo con el Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2020), la localidad de San Martín Sabinillo, municipio de San Miguel Tlacotepec, Oaxaca, está conformada por una población de aproximadamente 380 habitantes con el 54% de mujeres y 46% hombres, de la etnia mixteco que hablan tanto su dialecto como el español. Se tienen 104 viviendas de las cuales 47 cuentan con letrina y 49 con excusado, sin embargo, los habitantes manifestaron no tener red de drenaje, por lo que de este último dato se intuye que son fosas sépticas equipadas con excusado.

La comunidad se encuentra localizada sobre una fisiografía ondulada de cerros y cañadas, con la mayoría

Abstract

The town of San Martín Sabinillo, municipality of San Miguel Tlacotepec, Oaxaca is located in the Mixteca mountain, the population is of the Mixteca ethnic group. The Mexican Institute of Water Technology carried out an analysis of the existing drinking water network in order to efficiently/improve the service of the population, through a hydraulic model evaluated in the EPANET program, service improvement proposals were made for 14 pressure reducing valves and 16 isolation valves with their respective boxes; in addition to the replacement of the main well suction pipe giving an amount of \$746,638 pesos with IVA.

Keywords: Water supply, calibration, hydraulic model, EPANET, demand.

de las casas en las laderas de los cerros, contando con un pequeño espacio como solar o traspatio de poca superficie ocupada con plantas de ornato y algunos árboles frutales y otras especies nativas. Los terrenos donde se asientan las viviendas son rocosos, prácticamente sin suelo superficial. Únicamente algunas casas se ubican en zonas más planas, entre ellas la Agencia Municipal, auditorio, iglesia y la librería comunitaria (IMTA, 2022).

El presente estudio tiene como objetivos proponer una mejor eficiencia a la red de agua potable de la comunidad para que tenga un mayor periodo de vida útil y que los costos de mantenimiento sean programables. El trabajo se realiza con base a la metodología propuesta en el CONAGUA (2015a) donde se plantean las siguientes

etapas para elaborar un modelo hidráulico: 1). Alcances del proyecto, 2). Recopilación de información, 3). Topología de la red, 4). Esqueletización de la red, 5). Asignación de la demanda, 6). Fugas en la red, 7). Calibración

Materiales y métodos

Recopilación de información

Captaciones

Se realizó un recorrido por las 5 captaciones de abastecimiento a la comunidad. La primera captación es un **“Pozo Artesiano”** con bomba sumergible con una altura de 12 m y un volumen de 84.82 m³. De acuerdo con el equipo ultrasónico, la bomba impulsa 7.8 l/s. En esta captación, se tiene un registro de prendido/apagado de la bomba de 8 a 11 am y un horario similar por la tarde (2 a 5 pm). La captación 2, se denomina **“Yosorino”**, el cual recibe el caudal de un manantial que se conduce a un cárcamo y posteriormente se impulsa con un equipo de bombeo, que funciona con energía a través de paneles solares y de acuerdo al equipo ultrasónico impulsa un caudal de 0.57 l/s, las dimensiones del cárcamo son de 5.50 x 5.50 x 2.50 m, resultando un volumen de 75.62 m³ (**Figura 1**), con una operación de 4 a 8 horas dependiendo de la demanda de los habitantes.

La tercera captación se tiene en el lugar conocido como **“Barranca pesada”** que es otro manantial, que concentra el agua en un cárcamo de 5.40 x 5.40 x 2.80 con una capacidad de 81.65 m³. La cuarta captación se denomina **“Tanque Martina”** que se abastece de dos escurrimientos subterráneos, cuenta con un cárcamo de dimensiones de 3.40 x 3.40 x 2.15 m, teniendo una capacidad de 24.85 m³, este almacenamiento se utiliza en algunas casas que se encuentran con la carga hidráulica suficiente, para que, por gravedad, pueden disponer del agua (**Figura 1**).

La última captación, es denominada **“Tierra Blanca”**, el cual cuenta con un reservorio de 15 m³ y reparte a una zona baja de la comunidad, la cual tiene dos tomas para recoger agua de la red y de esta captación.

Tanques

Se disponen de 3 tanques de almacenamiento para abastecer a las diferentes zonas de la localidad, estos son: 1). Principal, 2). Cisterna Rotoplas, y 3). Tanque Lulis (**Figura 2**).

El tanque principal, como su nombre lo indica es el almacenamiento esencial de la comunidad, ubicado en la parte alta recibe las aguas de la captación 1, 2 y 3.

Además que distribuye el agua a los tanques **“Cisterna Rotoplas”** y **“Lulis”**. Las dimensiones del tanque son de 4.50 x 4.50 x 3 m con una capacidad de 60 m³. La **“Cisterna Rotoplas”** es un tanque prefabricado de polietileno de alta densidad, con una capacidad de 10 m³, el cual solo tiene una línea de entrada y salida (2 pulgadas) y



Figura 1. a) Captación 1 (pozo principal), b) captación 2 (Yosorino), c) captación 3 (barranca pesada) y d) captación 4 (tanque Martina).



Figura 2. a) Tanque principal, b) Tanque cisterna Rotoplas, c) Tanque Lulis.

distribuye aproximadamente a 25 viviendas (**Figura 2**).

El tercer depósito se denomina “Lulis”, es de mampostería de sección cuadrada de 5.50 x 5.50 x 2.50 m, es decir un volumen de 75.62 m³ (**Figura 2**)

Topología de la red

El cabildo de la población proporcionó dos planos de la red de agua potable del año 2015, el primer plano contiene la información del centro de la población, carece de una geoposición de los datos, aunque tienen las cotas de arrastre de la red y del terreno natural, materiales y diámetros; información que se integrará a un Sistema de Información Geográfica (SIG). El segundo plano contiene la información de la zona este de la comunidad, donde contiene la información mencionada en el anterior plano y también no se encuentra georreferenciado.

Esta información se procesó, se almacenó y se plasmó en un SIG, donde se realizaron *Shape files* de puntos y líneas con el fin de generar el modelo hidráulico. Se tiene 198 nodos con información de: ID, coordenadas X, Y y elevación. Se tienen 99 tramos de tubería, con información de donde se conecta con el nodo del inicio y el final, diámetro, en total se tiene una longitud de 4,158.8 m de un diámetro de 2 pulgadas y de material de PVC.

La línea de conducción resultó de una longitud total de 1,690.9 m de línea principal de un diámetro de 2.5 pulgadas y un material de polietileno de alta densidad.

Se agregaron las captaciones 1, 2 y 3 que se encuentran conectadas a la red y los 3 tanques (**Figura 3**).

Esqueletización de la red

Horarios de prendido y apagado de la bomba

De acuerdo a la información recopilada en los recorridos, se asignó la información de los horarios de prendido y apagado de los equipos de bombeo.

Volumen de los tanques

Con información recopilada se realizó la curva altura-volumen con el fin de representar los 3 tanques.

Curva de variación de la demanda

La Conagua y el IMTA analizaron demandas para diferentes ciudades del país (**Figura 4**) y para pequeñas comunidades, menores a 20,000 habitantes (CONAGUA, 2015b). Esta información se agregó al modelo para poder simularse por un periodo de 24 horas continuas.

Demanda de la población.

Para asignarle la demanda de la población, se calcula el gasto medio de la población que no es más que la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de la población en un día de consumo promedio (CONAGUA, 2015a).

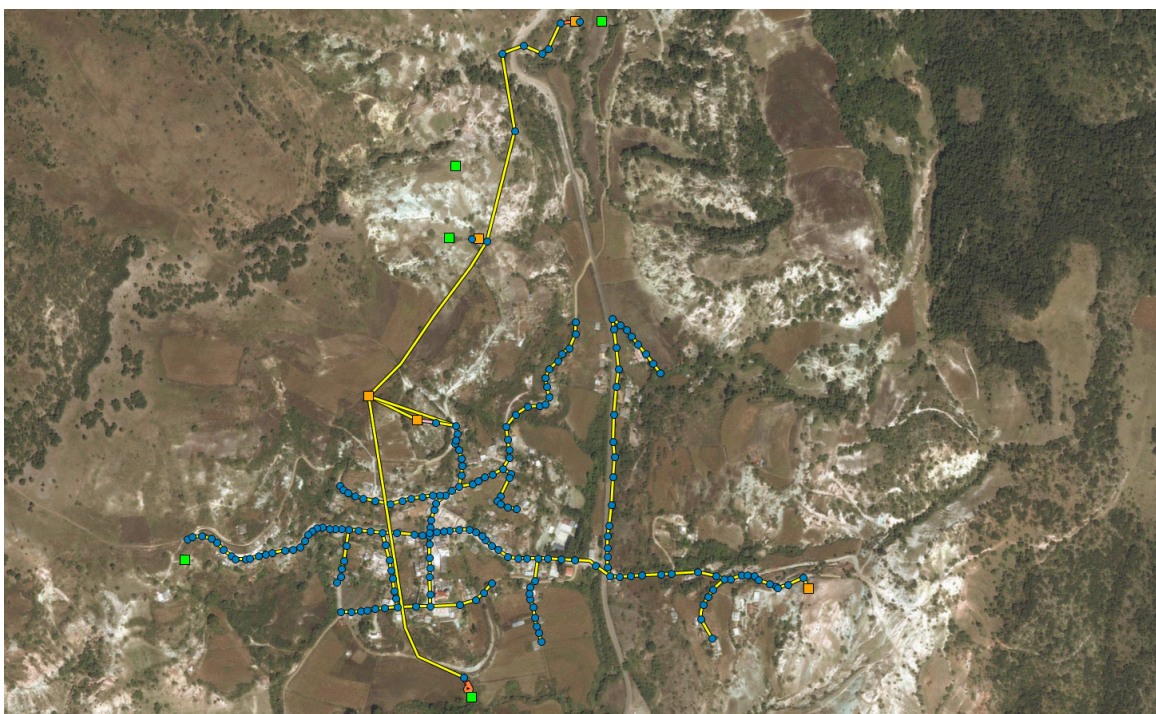


Figura 3. Información en un SIG de la red hidráulica de la comunidad de San Martín Sabinillo.

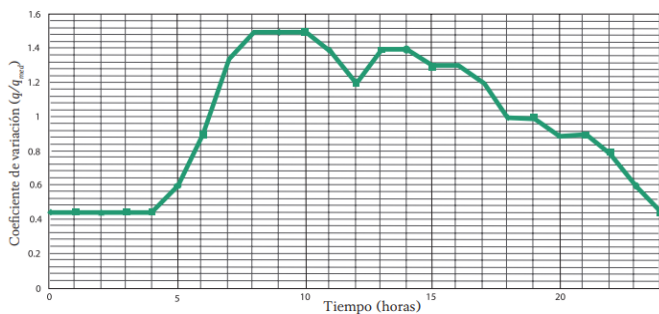


Figura 4. Curva de variación de la demanda para comunidades pequeñas (CONAGUA, 2015b).

$$Q_{med} = \frac{P \cdot D}{86400} \tag{1}$$

Donde:

- Q_{med} = Gasto medio diario, en l/s,
- P = Número de habitantes, hab.,
- D = Dotación, en l/hab/día,
- 86,400 = segundos/día (s/d)

De los datos de la comunidad se tiene un número de habitantes de 411 personas, con una dotación de 150 l/hab/día, entonces sustituyendo se tiene 0.71 l/s. Considerando que se tienen aproximadamente 130 viviendas conectadas a la red, el gasto medio se reparte entre el total de las mismas, resulta un valor de 0.00548 l/s

Modelo hidráulico

EPANET es un software libre, desarrollado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), que realiza simulaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión (EPANET, 2023). Está diseñado para el uso con sistemas de distribución de agua potable, aunque en general puede ser utilizado para el análisis de cualquier fluido no compresible con flujo a presión.

Para el proyecto se construyó el modelo de EPANET, incluyendo los nodos con las cotas de superficie, los tanques con sus dimensiones, bombas con sus curvas características, operación del equipo de bombeo, condiciones de las tuberías y aportaciones de los manantiales a los tanques.

A las tuberías de conducción del agua potable se les agregó una rugosidad de manning de 0.01 y diámetro de 62.5 mm (líneas de conducción), para las tuberías de abastecimiento de agua potable se les determinó una rugosidad de manning desde 0.009 hasta 0.011 y un diámetro de 50.8 mm (línea de distribución).

Resultados y discusión

Simulación inicial

Se realizó una primera simulación de la red considerando los datos del funcionamiento de la red, y los resultados son los siguientes:

Se puede mencionar que el sistema no se encuentra equilibrado de las 2 a las 4 pm, esto se debe principalmente al manejo del tanque principal, porque se vacía a partir de las 2 am y el “Tanque Lulis” entra en funcionamiento hasta que empieza el bombeo de las 8 hasta 11 am, pero empieza la mayor demanda a partir de las 11 am y el volumen del tanque disminuye y se vacía, de las 2 a las 4 pm presenta un flujo mínimo (Figura 5).

Por lo anterior y para evitar problemas de equilibrio en el modelo se hacen las siguientes propuestas:

- En el equipo de bombeo del pozo principal se cambia el horario de bombeo, agregándose una hora más, es decir un horario de 8 a 12 am.

Segunda simulación

Generando la modificación en el control de horario de apertura y cierre del equipo de bombeo a 4 horas se tiene el siguiente resultado:

El tanque principal se vacía poco después de las 2 am y recupera hidráulica carga a partir de las 8 am y con dejarlo hasta las 12 am llega a tener una altura del tanque cercana a 1.6 m (Figura 6), para después utilizarse en los tiempos de mayor demanda del día y no teniendo

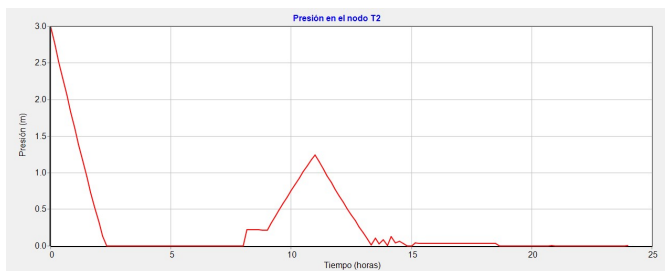


Figura 5. Presión en el nodo T2.

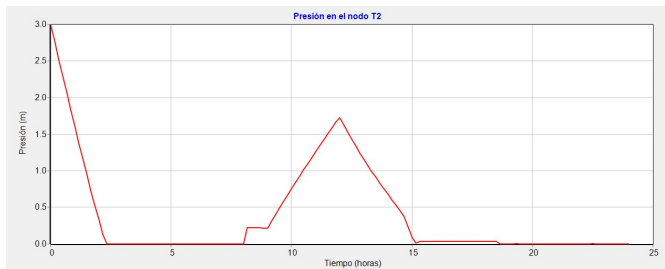


Figura 6. Presión del tanque T2 en la segunda simulación.

problemas de vaciado. Aunque cabe mencionar que el volumen del tanque es vaciado de forma similar con la primera simulación.

Con esta segunda simulación se comprobó que en todo momento se tiene agua en la red de distribución; el detalle que se logró establecer fue, el generarse presiones altas. Lo anterior debido a que el manual de redes de distribución de agua potable recomienda establecer una presión mínima de 10 mca y máxima de 50 mca, por lo que los nodos en color amarillo y rojo presentan esa situación que pone en sobrepresión la red y pueda generar un envejecimiento prematuro de la misma (**Figura 7**).

Calibración del modelo hidráulico

Para la calibración del modelo hidráulico se realizó un levantamiento de presiones en campo, conectando un manómetro en las llaves de nariz que se encuentran fuera de las viviendas, la **Figura 8** muestra las zonas y datos de las presiones medidas. Esta información se agregó al programa EPANET para conocer las diferencias o similitudes de las presiones en esos puntos (**Tabla 1**).

De acuerdo al de Manual de Agua Potable y Alcantarillado de la CONAGUA se considera que una red se encuentra calibrada cuando se tiene un error menor al 20 por ciento, por lo que 12.95% de la red de San Martín Sabinillo cumple con esas condiciones. Por lo tanto, se puede mencionar que el modelo se encuentra calibrado.

Propuesta para mejora de la red de distribución de agua potable

Las propuestas para la mejora de la red de distribución son:

- Tener en la bomba principal de alimentación de agua potable de la comunidad un horario de 4 horas (8 am a 12 am)
- Proponer válvulas reductoras de presión y válvulas de aislamiento, se ubicaron 8 puntos para la colocación de las mismas (**Figura 9**).

De acuerdo al modelo hidráulico, estas zonas son preferentes de establecer la ubicación de las válvulas, quedado como se presenta en **Tabla 2**.

Conclusiones

La tubería de la red de agua potable se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento, ya que no se detectaron caídas de presión al tiempo de medir las presiones en campo, por lo que es importante realizar la acción de instalación de válvulas de presiones y aislamiento, para evitar la sobrepresión de las uniones entre las tuberías, previniendo fugas visibles y no visibles. Es necesario planear mantenimiento preventivo periódico en los equipos de bombeo a fin que no se llegue al tiempo de vida límite. El reemplazo de la tubería

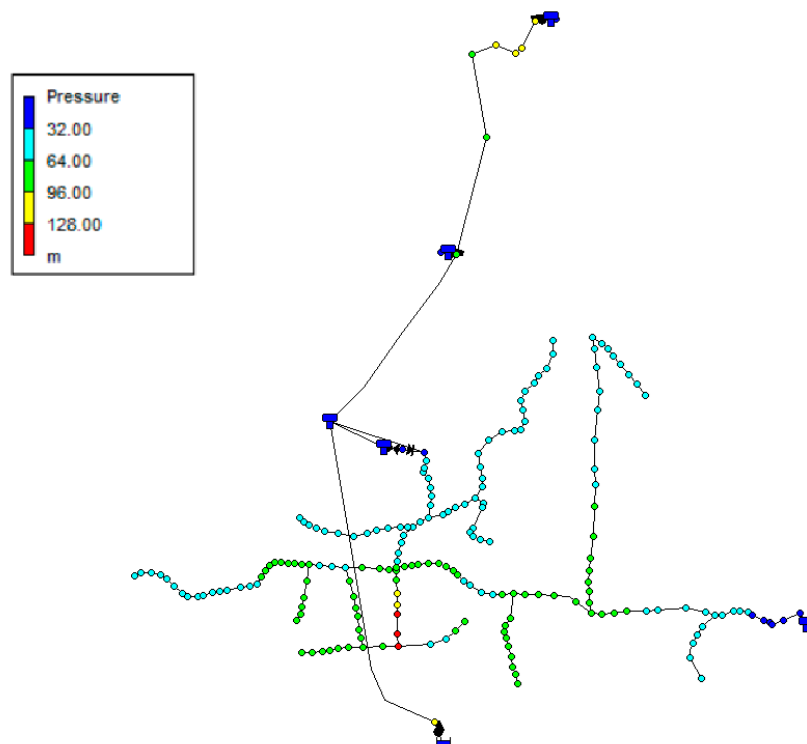


Figura 7. Presiones de la red de distribución de agua potable de San Martín Sabinillo.

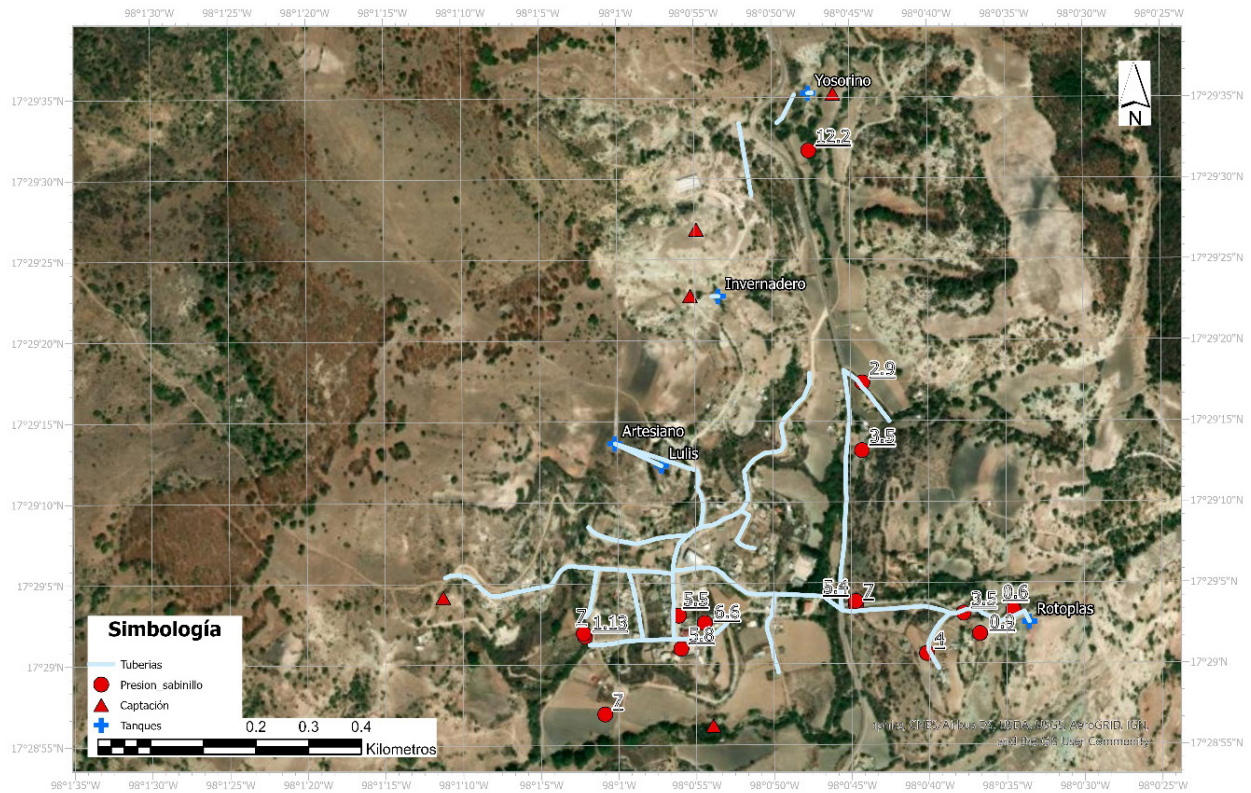


Figura 8. Presiones en kg/cm² en diferentes puntos de la red de San Martín Sabinillo.



Figura 9. Ubicación de las válvulas en San Martín Sabinillo.

Tabla 1. Estadísticas de la calibración para presión

Localización	Núm. de observaciones	Promedio de los valores observados	Promedio de los valores simulados	Promedio del error absoluto	Error geométrico
		%	%	%	%
J8	1	6	15.66	9.657	9.657
J4	1	9	26.42	17.422	17.422
J1	1	35	33.83	1.174	1.174
205	1	40	35.17	4.835	4.835
J19	1	70	72.91	2.911	2.911
J131	1	35	62	27.004	27.004
J123	1	29	53.32	24.321	24.321
J58	1	58	70.91	12.912	12.912
J48	1	66	74.14	8.143	8.143
J65	1	55	52.95	2.046	2.046
J167	1	72	66.93	5.07	5.07
J143	1	74	73.12	0.878	0.878
Total	12	45.75	53.11	9.698	12.95

de columna de agua del pozo principal es una acción prioritaria que debe llevarse a cabo a corto plazo, para aumentar el gasto que llegaría al tanque principal y con esto es probable que la propuesta de 4 horas se reduzca a un menor tiempo de bombeo. Para la instalación de las válvulas se requiere de \$671,424 pesos 00/100 M.N. con IVA y de ese costo el 10% se contempla para realizar un proyecto ejecutivo para la construcción de las válvulas. Para el reemplazamiento de la tubería de columna de agua del pozo principal, se establece un costo de \$76,214 pesos 00/100 M.N.

Agradecimientos

Al Instituto Mexicano de Tecnología por el apoyo y asesoría a las comunidades indígenas de la mixteca de Oaxaca.

Referencias

INEGI. (2020). “Censo de Población y Vivienda”. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos> [Recupera do el 27 de marzo de 2023]

Tabla 2. Número de válvulas reductoras de presión (RP) y aislamiento (Ais).

Puntos	Coord X	Coord Y	Val. RP	Val. Ais
1	604359.66	1933476.89	1	2
2	604419.78	1933472.25	1	2
3	604531.88	1933538.52	2	2
4	604826.80	1933397.08	2	2
5	604697.88	1933428.62	3	2
6	604504.26	1933466.52	1	2
v2	604557.00	1933555.26	2	2
v3	604504.57	1933472.95	2	2
		Total	14	16

CONAGUA (2015a). “Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución”, Comisión Nacional del Agua, p. 13-38. ISBN: 978-607-626-014-2

CONAGUA (2015b). “Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento”, Comisión Nacional del Agua, p. 21. ISBN: 978-607-626-036-4

IMTA (2022) “Informe de la visita técnica realizada a la comunidad de san martín sabinillo, municipio de San Miguel Tlacotepec, Oaxaca”, Coordinación de de Calidad y Ecología del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos

EPANET (2023) “EPANET Application for Modeling Drinking Water Distribution Systems” retomado el 06 de junio del 2023 de <https://www.epa.gov/water-research/epanet>.