



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Proyecto de mejora de la eficiencia física  
y del servicio de agua potable en la  
CDMX. Adecuaciones en red primaria y  
red secundaria**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Juan José Sierra Jardines

**DIRECTOR DE TESIS**

M.I. Carlos Gonzalo Franco Domínguez



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024**

# Índice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.</b>   | <b>3</b>  |
| <b>I. PROBLEMÁTICA DE AGUA POTABLE EN LA CDMX</b>  | <b>4</b>  |
| EL ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN LA HISTORIA  | 4         |
| ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN LA ACTUALIDAD   | 7         |
| <b>II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA CDMX</b>  | <b>11</b> |
| <b>FUENTES EXTERNAS</b>  | <b>11</b> |
| SISTEMA LERMA  | 11        |
| SISTEMA CHICONAUTLA  | 12        |
| SISTEMA CUTZAMALA  | 13        |
| SISTEMA BARRIENTOS   | 15        |
| SISTEMA LA CALDERA   | 16        |
| <b>FUENTES INTERNAS</b>  | <b>18</b> |
| <b>III. ADECUACIONES EN LA RED SECUNDARIA. SECTORIZACIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE PARA MEJORAR EL ABASTECIMIENTO EN LA CDMX</b> | <b>20</b> |
| ANTECEDENTES DE LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN LA CDMX   | 20        |
| PROYECTO DE SECTORIZACIÓN  | 23        |
| <b>IV. ADECUACIONES EN LA RED PRIMARIA Y NUEVAS ZONAS OPERATIVAS EN LA CDMX</b>  | <b>32</b> |
| ZONA OPERATIVA: SAN ANTONIO, MOLINOS Y CERRO DE LA ESTRELLA.   | 34        |
| ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO   | 35        |
| ZONA OPERATIVA MOLINOS   | 37        |
| ZONA OPERATIVA CERRO DE LA ESTRELLA  | 38        |
| INFORME ANÁLISIS HIDRÁULICO  | 40        |
| MODELO MATEMÁTICO EPANET   | 40        |
| FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO   | 41        |
| REVISIÓN HIDRÁULICA CON FUGAS DEL 40% Y 25%.   | 43        |
| FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO ZONA OPERATIVA MOLINOS Y CERRO DE LA ESTRELLA  | 46        |
| REVISIÓN HIDRÁULICA CON FUGAS DEL 40% Y 25%.   | 48        |
| <b>DELIMITACIÓN DE ZONAS OPERATIVAS CON VÁLVULAS SOBRE LA RED PRIMARIA.</b>  | <b>52</b> |
| ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO   | 54        |
| ZONA OPERATIVA MOLINOS   | 55        |
| ZONA OPERATIVA CERRO DE LA ESTRELLA  | 62        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CONTROL DE PRESIÓN EN RED PRIMARIA, MEDIANTE EL USO DE ACTUADORES HIDRÁULICOS.</b> | <b>65</b> |
| ACTUADOR HIDRÁULICO   | 67        |
| SITIOS DE CONTROL CONA OPERATIVA SAN ANTONIO  | 70        |
| SITIOS DE CONTROL ZONA OPERATIVA MOLINOS  | 74        |
| SITIOS DE CONTROL ZONA OPERATIVA CERRO DE LA ESTRELLA                                 | 80        |
| <b>OBRAS REQUERIDAS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS ACTUADORES HIDRAULICOS</b>             | <b>83</b> |
| CAJAS DE VÁLVULAS SOBRE LA RED PRIMARIA   | 84        |
| CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN  | 84        |
| VÁLVULAS DE MARIPOSA  | 85        |
| FONTANERÍA DENTRO DE LAS CAJAS DE VÁLVULAS EN RED PRIMARIA                            | 86        |
| PRESUPUESTOS DE LAS OBRAS REQUERIDAS  | 87        |
| <br>  |           |
| <b>V. <u>CONCLUSIONES</u></b>   | <b>90</b> |

---

## INTRODUCCIÓN.

En los últimos años el servicio de abastecimiento de agua potable en la Ciudad de México ha ido en decadencia debido al aumento de la demanda del recurso hídrico y a la disminución de su disponibilidad, lo cual ha ocasionado que la distribución del mismo no pueda brindarse de manera continua ni con la presión adecuada. La operación deficiente de la red de agua potable y castigo de válvulas en algunas zonas de la ciudad derivan en que el suministro se realice por horarios, comúnmente conocido como tandeo. El tandeo consiste en suministrar el agua tan sólo por unas horas en determinados días de la semana, de manera que los usuarios afectados deben estar pendientes de su red de distribución y almacenar la mayor cantidad de agua posible. Las alcaldías que se han visto mayormente afectadas son Iztapalapa, Xochimilco, Tláhuac, Milpa Alta y Tlalpan.

Con el suministro horario el acceso al agua se convierte en una situación de vulnerabilidad económica y salubridad, ya que para afrontarlo los usuarios deben recurrir a la compra de pipas e instalación de cisternas, tinacos y equipos de bombeo, en los cuales si no existe una circulación constante que oxigene el agua, pueden convertirse en depósitos de agua estancada.

La decisión de importar agua desde cuencas vecinas al Valle de México fue resultado del hundimiento de la ciudad ocasionado por la explotación de pozos, los daños de las líneas de distribución y el acelerado crecimiento poblacional que se comenzó a presentar en la metrópoli a mediados del siglo XX. Con el crecimiento de la población fue evidente que el agua disponible dentro de la cuenca del Valle de México no sería suficiente para satisfacer la creciente demanda, de modo que era necesario considerar otras fuentes de abastecimiento, reto que incrementa junto con el desarrollo de la urbe.

A la fecha, el nivel de sobreexplotación del acuífero representa más del doble de su recarga natural. Las consecuencias se viven día a día en la Ciudad de México que presenta daños estructurales en edificios emblemáticos ocasionados por los hundimientos diferenciales que repercuten en la conservación del patrimonio arquitectónico, artístico y cultural; debido al hundimiento anual promedio de 12 cm por la extracción de agua. Una de las zonas que presenta mayores repercusiones es el centro histórico de la Ciudad de México, donde se encuentra el caso más significativo, la Catedral de la Ciudad de México, la cual ha tenido que atravesar distintos proyectos de rehabilitación y re-estructuración. Crear una distribución eficiente del agua proveniente de otras fuentes es fundamental para disminuir la explotación de pozos y aminorar los hundimientos en la ciudad.

## I. PROBLEMÁTICA DE AGUA POTABLE EN LA CDMX

El abastecimiento de la Ciudad de México en la historia

A partir de mediados del siglo XX, la Ciudad de México, ha crecido aceleradamente en su población urbana, producto tanto de su crecimiento natural, como de la migración de habitantes del medio rural, en busca de oportunidades de trabajo y de desarrollo, a la vez que, para contar con los servicios básicos, de los que se carece en sus comunidades de origen.

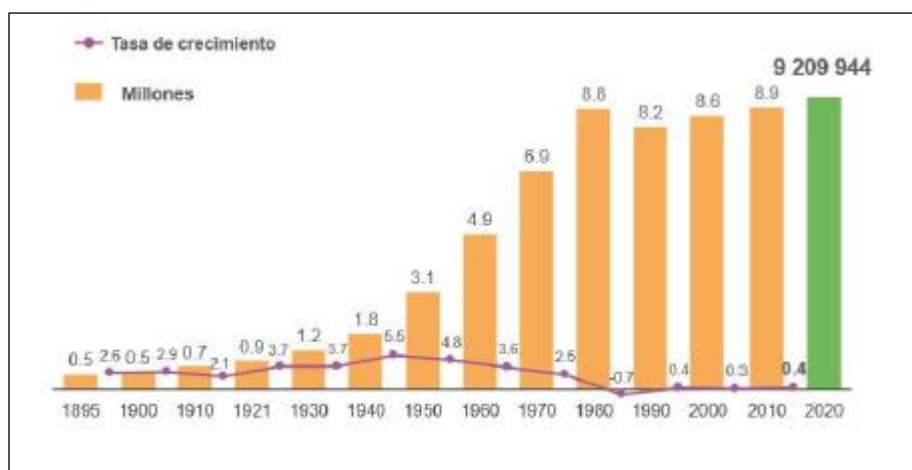


FIGURA 1 CRECIMIENTO HISTÓRICO DE LA POBLACIÓN EN LA CDMX

Desde siempre la Capital de la República Mexicana ha sido una urbe con grandes atractivos en términos absolutos y en términos relativos, para vivir y para venir a vivir en ella. Podrían sintetizarse las razones de esta migración social, en la expresión de que aquí en la ciudad se encuentran mayores oportunidades de desarrollo y mejores servicios. Y así ha sido por décadas, la población se desbordó, los asentamientos humanos se metieron a fondos lacustres, a zonas bajas sujetas a inundación y a las barrancas, se subieron a los cerros, rebasaron los límites de la Ciudad de México hacia áreas rurales, se conurbaron los asentamientos con numerosas localidades y este proceso no se detiene; los límites racionales se rebasaron desde hace mucho tiempo.

En este proceso le ha correspondido desde siempre un esfuerzo a la ingeniería, para la construcción de la infraestructura a partir de la cual se dota a la población de los servicios que requiere para su actividad cotidiana.

La Ciudad de México, tiene una superficie de 1,485 km<sup>2</sup>, de los cuales la mitad está urbanizada. Se divide políticamente en 16 alcaldías y tiene una población cercana a los 9.2 millones de habitantes; ha crecido principalmente hacia el norte, el oriente y el poniente, junto con 60 municipios vecinos de los Estados de México e Hidalgo, forman el conglomerado urbano denominado Área Metropolitana del Valle de México, el cual en forma conjunta integra una población de más de 22 millones de habitantes.

Uno de los principales aspectos de los que depende la vida y el desarrollo de toda urbe en el mundo, es el del abastecimiento de agua potable. La Ciudad de México ha debido solucionar retos particulares como lo representan la conformación misma de la Cuenca del Valle de México, donde se asienta; una cuenca hidrográfica, en el pasado orohidrográficamente cerrada. Y, por otra parte, el enorme crecimiento de la población y de la mancha urbana, que han incrementado consistentemente la demanda del líquido.

Para el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, se ha recurrido a través del tiempo a diferentes fuentes y desde su fundación, en 1325, se inicia la obra hidráulica para tal fin. En la época Azteca, se aprovecharon los manantiales de Chapultepec, desde donde se conducía el agua a través de un acueducto de doble canal a cielo abierto, construido por Nezahualcóyotl en el siglo XV. En la época de la Colonia Española, de 1520 a 1810, se continuaron aprovechando los manantiales de Chapultepec y también se suministraba agua proveniente de Santa Fe, cuyos caudales se conducían a través de acueductos abiertos. Cuando éstos resultaron insuficientes, a mediados del siglo XIX se recurrió al aprovechamiento del agua surgida de pozos artesianos, casi todos ubicados en casas particulares y por distintos rumbos de la Ciudad. Al final de ese siglo y principio del siglo XX, se procedió a la perforación de pozos en el sur de la Ciudad, en Xochimilco, con el primer sistema de extracción de agua por bombeo, caudal que se conducía a presión mediante un acueducto cerrado para distribuirse por una nueva red de tuberías que se terminó en 1913, a las fuentes, mercados, jardines y edificios de la Ciudad.

Durante la primera mitad del siglo XX continuó la perforación de pozos profundos en el Valle de México, llegando a la sobreexplotación del acuífero subterráneo por el incremento en la demanda de agua, debido al aumento continuo de la población. En 1940 se hicieron mediciones que indicaron hundimientos de 2.50 m en el centro de la Ciudad en esas cuatro primeras décadas del siglo, los que se incrementaron a 4.50 m en 10 años, por lo que se emitió un decreto de veda de perforación de nuevos pozos dentro del territorio de la Ciudad de México.

Ante esa situación, se recurrió a fuentes externas, inicialmente a la Cuenca Alta del Río Lerma, a 60 km de la Ciudad de México. En 1942 se iniciaron las obras de captación de los manantiales que afloraban en las márgenes sur y oriente de las Lagunas de Lerma y asimismo una primera batería de pozos, cuyos caudales se conducen por gravedad a la Cuenca del Valle de México; aprovechando el desnivel de 273 m que existe entre la altitud del Valle de Toluca y el desfogue en el Valle de México, se utilizaron cuatro caídas de agua para la generación de energía eléctrica. En la década de los años 50 se construyó una segunda batería de pozos en aquella parte alta de la Cuenca del Río Lerma, con lo que se incrementó el caudal hasta los 16 m<sup>3</sup>/s, el cual se ha ido reduciendo gradualmente al aumentar la demanda en su zona de origen, por el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial.

En la segunda mitad del siglo XX, la Comisión de Aguas del Valle de México, creada en 1972, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, concluyó la elaboración y estableció el Plan de Abastecimiento de Agua al Área Metropolitana de la Ciudad de México, para el período 1973-2020, considerando una primera etapa con el Programa de Acción Inmediata 1973-1980, dependiendo fundamentalmente de fuentes internas -acuífero del subsuelo del Valle de México- y la segunda etapa con el Programa de Acción Mediata, a su vez dividido en dos fases, 1981-2000 y 2001-2020.

El Programa de Acción Inmediata (PAI) consistió en la perforación de líneas de pozos profundos para aprovechar el acuífero del subsuelo, en zonas del Valle de México en donde existía menor sobreexplotación relativa, distinguiéndose principalmente el Sistema de Pozos Sur, a lo largo de las estribaciones de la Serranía del Chichinautzin (San Jerónimo-Cuemanco-Canal Nacional), integrado por 35 pozos y tres acueductos; las líneas de pozos en la zona oriente, cercanas a las estribaciones de la Sierra Nevada, conocida como Línea Nezahualcóyotl, consta de una batería de 18 pozos ubicados en la margen derecha del Canal de Chalco, que mediante un acueducto de 24.5 km conduce agua hasta el tanque La Caldera; diversas líneas en la zona norte, en el Valle de Cuautitlán, el Ramal Teoloyucan que incluye 31 pozos localizados en la margen izquierda del Interceptor del Poniente y el Ramal Atlamica, constituido por una batería de 14 pozos localizados en la margen izquierda del Río Cuautitlán, que por medio de un acueducto de 12.7 km se incorpora al Ramal Teoloyucan; y el sistema Tizayuca-Pachuca, con 33 pozos localizados a lo largo de la carretera México-Pachuca, se conduce al centro de distribución Barrientos; lográndose con ello no sólo satisfacer en un plazo corto, demandas pendientes, sino abastecer asimismo nuevas áreas de crecimiento urbano.

Todas estas obras se plantearon originalmente para una operación transitoria, hasta en tanto se contase con nuevos caudales provenientes de fuentes externas; en la práctica estos aprovechamientos han seguido realizándose para satisfacer las nuevas demandas originadas por la desmedida e irracional expansión de las áreas urbanas.

La segunda etapa también se cumplió satisfactoriamente en sus primeras fases, mediante el aprovechamiento de las aguas superficiales de la parte alta del Río Cutzamala, que es uno de los principales afluentes del Río Balsas, cuya cuenca es la más caudalosa de la vertiente Pacífico de la República Mexicana. Se utilizan en lo fundamental las presas de almacenamiento y conductos construidos y operados desde mediados del siglo XX por la Comisión Federal de Electricidad para fines de generación hidroeléctrica (Presas Tuxpan y El Bosque, en el estado de Michoacán; Ixtapan del Oro, Villa Victoria, Valle de Bravo, Chilesdo y Colorines, en el Estado de México); aprovechando así la capacidad reguladora de esas obras hidráulicas y construyendo por etapas, líneas de conducción y plantas de bombeo, así como una gran planta potabilizadora en Los Berros, para abastecer de agua de calidad a la Ciudad de México.

Las obras del Sistema Cutzamala se han realizado en tres fases: la primera se inició en 1976 y se concluyó con la puesta en operación de las obras a partir de la Presa Villa Victoria en 1982, con una aportación de 4 m<sup>3</sup>/s; la segunda con la conclusión de las obras correspondientes a la Presa Valle de Bravo, en 1985, con un caudal de 6 m<sup>3</sup>/s. La tercera etapa se efectuó en dos periodos, el primero se concluyó en 1992, aportando un caudal de 1 m<sup>3</sup>/s proveniente de la Presa Chilesdo y el segundo, en enero de 1995, de la Presa Colorines, con un caudal de 8 m<sup>3</sup>/s, el cual fue la última aportación de fuentes externas a la Ciudad. Terminada la tercera etapa, el gasto de diseño original del Sistema Cutzamala asciende a 19 m<sup>3</sup>/s.

El proyecto de Temascaltepec, última fase de abastecimiento del Sistema Cutzamala propuesto para afrontar la creciente demanda de agua, ha quedado suspendido al presentarse aspectos aún no resueltos de carácter social y político en aquella región.

#### Abastecimiento de la Ciudad de México en la actualidad

Para atender los requerimientos de agua potable de los habitantes de la Ciudad de México (9.2 millones), se suministra un caudal medio de 30.895 m<sup>3</sup>/s; el 98% de la población cuenta con el servicio a través de tomas domiciliarias y el 2%



restante es abastecido gratuitamente por medio de carros tanque. De ese caudal suministrado, 13.57 m<sup>3</sup>/s (44%) provienen del acuífero subterráneo de la Ciudad de México y 16.61 m<sup>3</sup>/s (54%) de fuentes externas. En tanto que el caudal restante se obtiene de fuentes superficiales: 0.715 m<sup>3</sup>/s (2%) del Río Magdalena y manantiales ubicados en la región poniente y sur de la Ciudad.

Utilizando los datos de gasto medio suministrado y de la población actual de la Ciudad de México, se calcula la dotación teórica disponible, a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Dotación CDMX} = \frac{(Q_m)(86,400)}{\text{Población}}$$
$$\text{Dotación CDMX} = \frac{(30,895 \text{ l/s})(86,400)}{9,209,944 \text{ hab}} = 289.83 \text{ l/hab/día}$$

La dotación obtenida es de 289.83 l/hab/día, esto significa que existe suficiente agua potable para todos los habitantes de la Ciudad de México, situación que no se cumple, ya que el suministro actual es deficiente en gran parte de la ciudad. En otras palabras, se emplean los recursos necesarios para producir y conducir la cantidad suficiente de agua para satisfacer las necesidades de consumo, pero la realidad es que no toda el agua llega a su destino final, los usuarios. Lo anterior, se traduce en que actualmente la Ciudad de México cuenta con un sistema de agua potable poco eficiente.

Ante esa situación, el Gobierno de la Ciudad de México ha trabajado en una estrategia para el abastecimiento de agua basada en dos aspectos fundamentales: el mejor aprovechamiento del recurso a nivel usuario y el mantenimiento de la infraestructura con el objetivo de recuperar su eficiencia. Una red de agua potable eficiente permite reducir fugas y desperdicios. Asimismo, emprendió la construcción de nuevas obras que mejoran la captación y distribución de los volúmenes de agua.

Dentro de los ejes de acción del gobierno actual el objetivo principal se concentra en la mejora de la eficiencia hidráulica de la red de la ciudad y mejorar la calidad del agua. Uno de sus programas principales consiste en la recuperación de caudales que se pierden en la red por presencia de fugas, mediante el proceso de sectorización de la red hidráulica. Tener la red dividida en sectores monitoreados permite conocer el suministro y el consumo real de agua potable con lo que se puede identificar y reparar fugas en un periodo de tiempo menor, así como realizar un manejo adecuado de presiones en la red y la sustitución de líneas en caso de ser necesario. Ejemplos de este programa se tienen en las alcaldías Benito Juárez

y Álvaro Obregón en las cuales se estima la recuperación de un caudal de 0.25 m<sup>3</sup>/s y 0.15 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

La recuperación de caudales significa una oportunidad para disminuir la demanda de los pozos y atenuar los hundimientos deteniendo la operación de los pozos con mayores repercusiones.

Sobre la misma línea de conducción orientada a la eficiencia de la operación de la red urbana se han propuesto acciones sobre la red primaria de la Ciudad México, las cuales consisten en la creación de nuevas zonas operativas en función de las fuentes de abastecimiento, población e infraestructura disponible.

La condición actual de disminución de la disponibilidad del agua en la Ciudad de México es fruto también de la sobreexplotación del manto acuífero cuya consecuencia es el abatimiento de pozos. Cuando un pozo se abate el nivel dinámico del agua disminuye, por lo que es necesario profundizar los pozos a un nivel donde la calidad del agua no siempre es óptima y llega a ocasionar la consolidación del suelo donde se ubican. La consolidación del suelo, particularmente de arcillas en el caso de la Ciudad de México, ocasiona hundimientos diferenciales que dañan la infraestructura y provoca pérdidas económicas. Crear una distribución eficiente del agua proveniente de otras fuentes es fundamental para disminuir la explotación de pozos y aminorar los hundimientos en la ciudad.

Uno de los elementos de la infraestructura de agua potable directamente afectado por los hundimientos ocasionados por la sobreexplotación de pozos son las líneas de agua potable dentro de la red secundaria, ya que estos movimientos del suelo llegan a ocasionar fisuras a lo largo de las líneas y a la pérdida de hermeticidad en elementos de sujeción y conexión tales como codos y válvulas produciendo fugas en la red. Las fugas, o pérdidas físicas, representan entre el 40% y 60% según estudios recientes, del suministro que no llega a la población usuaria. Reducir el porcentaje de fugas es un área de oportunidad para la recuperación de caudales para su aprovechamiento total por la población sin demandar nuevas fuentes de abastecimiento.

El agua de pozos ha sufrido una degradación en cuanto a su calidad ya que en un principio necesitaba únicamente pasar por procesos de cloración para llevarla a nivel potable y actualmente tiene que tratarse mediante plantas potabilizadoras cuyos procesos no son siempre eficientes. Reportes de Calidad del Agua recientes indican que, en los últimos años, parámetros como color y turbiedad han ido en aumento, además de determinar la presencia de microplásticos, bacterias

coliformes y presencia de metales pesados. Otros elementos presentes en el agua como hierro, nitrógeno amoniacal, manganeso, magnesio y sodio han superado sus límites máximos permisibles.

El crecimiento urbano de la Ciudad de México, frecuentemente alentado con propósitos especulativos que concentran las plusvalías que se generan con la obra pública, determina no sólo necesidades de construcción de nueva infraestructura de servicios públicos municipales, sino que también hace insuficientes los nuevos abastecimientos para lograr una distribución equilibrada de los recursos. Esta magna infraestructura ha resultado siempre insuficiente en relación con las demandas y lo que es más grave, los nuevos asentamientos influyen en una más larga espera de quienes hoy carecen de este servicio.

Debiera condicionarse el otorgamiento de las licencias de construcción para nuevos desarrollos, a la garantía de la solución satisfactoria a la ejecución de infraestructura para la dotación de servicios; de no hacerlo se continuará engañando a quienes de buena fe adquieren predios y casas sin servicios, dejando la atención de esos problemas a cargo de las autoridades.



**FIGURA 2 FUGAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

## II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA CDMX

La ciudad de México es la ciudad más habitada de la república mexicana, lo cual se refleja en una demanda alta de agua potable para satisfacer las necesidades de su población. Para solventar el reto que constituye lo anterior, la ciudad de México cuenta con dos tipos de fuentes de abastecimiento: fuentes internas, que se componen principalmente de pozos y manantiales; y fuentes externas, también conocidas como agua en bloque, que consisten en importar agua de cuencas aledañas al Valle de México.

Las fuentes internas se encuentran distribuidas por toda la ciudad y se concentran principalmente a las alcaldías sureñas como son Coyoacán, Tlalpan, Milpa alta y Xochimilco. Como parte del agua en bloque, la ciudad cuenta con cinco sistemas que provienen principalmente del estado de México y en cuya operación se recibe el apoyo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y se encargan del abastecimiento de agua potable del norte, oriente y poniente de la ciudad.

### Fuentes externas

Dentro de las principales fuentes externas se encuentran los sistemas de agua en bloque Lerma, Chiconautla, Cutzamala, Barrientos y La Caldera.

#### Sistema Lerma

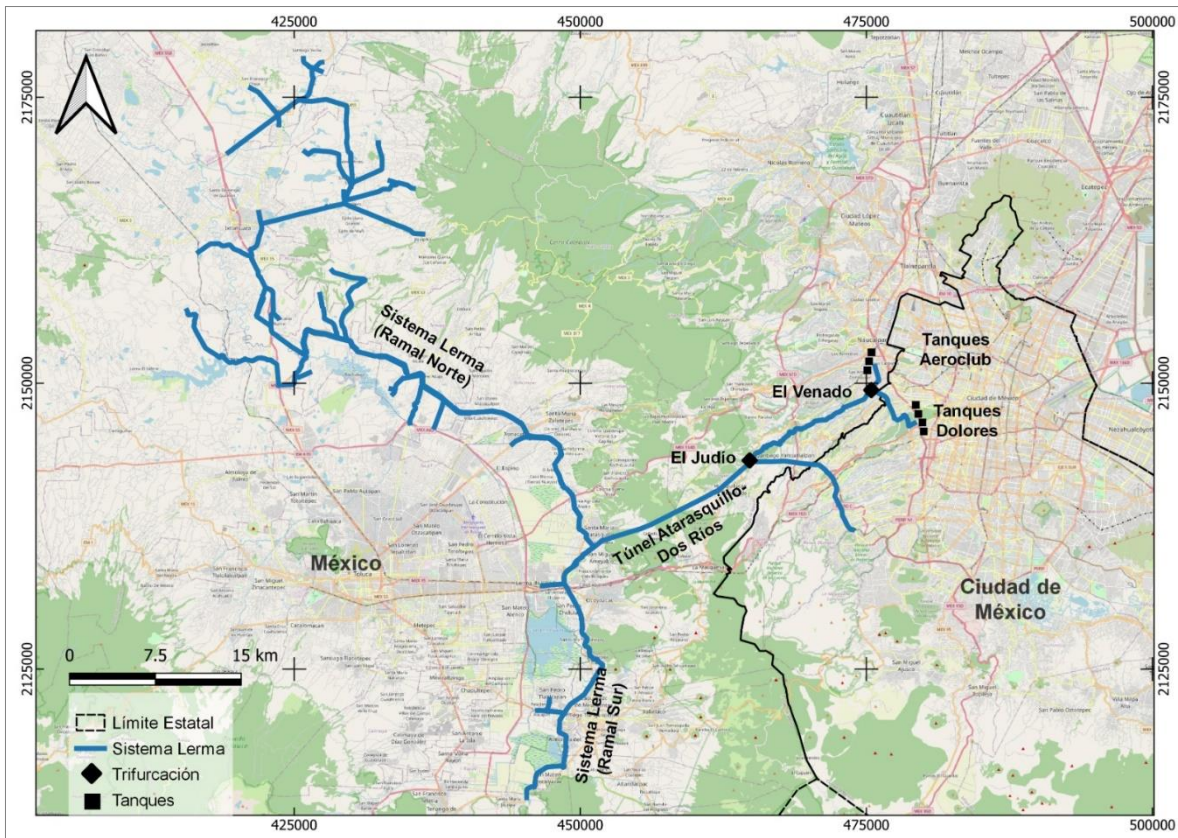
El Sistema Lerma, ubicado en el Estado de México, es uno de los principales sistemas de agua en bloque para la Ciudad de México. Su zonificación consiste de cuatro oficinas regionales: Villa Carmela, Almoloya del río, Ixtlahuaca y Alzate. Dentro de las instalaciones que conforman el sistema se encuentran dos plantas de rebombeo, una planta potabilizadora y tres plantas cloradoras.

Previo a la entrada del agua hacia la Ciudad de México a través del túnel Atarasquillo, el sistema recibe una aportación de otro proyecto importante de agua en bloque: el Sistema Cutzamala. Esta aportación de 3.95 m<sup>3</sup>/s (datos de medición de 2023) se lleva a cabo en el punto Cruz de la Misión, a partir de donde el acueducto se prolonga hacia una trifurcación denominada “El Venado” que tiene un caudal promedio aproximado de 9.19 m<sup>3</sup>/s diarios (según datos de medición del año 2023), donde el sistema se bifurca en dos ramales: Acueducto Lerma Rama Sur y Acueducto Lerma Rama Norte.

El Acueducto Lerma Rama Norte abastece dos de los sistemas principales de la ciudad para la zona norte y centro de la ciudad: los tanques Dolores (en la segunda sección de Chapultepec) y los tanques Aeroclub (en Ingenieros Militares).

Mientras que el Acueducto Lerma Rama Sur recorre la zona poniente de la ciudad y abastece el tanque principal “El Judío”.

En total el sistema Lerma aporta 5.19 m<sup>3</sup>/s de agua en bloque a la Ciudad de México, según datos de medición de enero a marzo del 2023.



**FIGURA 3 CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DEL SISTEMA LERMA**

#### Sistema Chiconautla

La captación de este sistema proviene del Cerro de Chiconautla, del acuífero Cuautitlán-Pachuca, ubicado en el Estado de México. Consiste de una batería de 41 pozos perforados que van a lo largo de tres ramales ubicados en los municipios de Acolman, Tecámac y Ecatepec de Morelos.

El Sistema Chiconautla abastece a la población de los municipios mexiquenses Tecámac y Ecatepec de Morelos además de a la zona nororiente de la ciudad de México, que recibe el agua mediante los tanques Santa Isabel ubicados en la alcaldía Gustavo. A. Madero.

El caudal es transportado de la siguiente manera:

- Por gravedad y por bombeo (en algunos tramos) desde Venta de Carpio hasta el Cerro Gachupines.

- Por otra parte, el agua llega al Tanque de regulación en el Cerro de Santa Isabel gracias a las plantas de bombeo Chiconautla 1 y Chiconautla 2. Según los datos registrados de medición, en el año 2023 se tuvo un flujo de agua promedio de 0.773 m<sup>3</sup>/s en la entrada del tanque Santa Isabel que es tratada con la ayuda de 2 equipos de cloración.

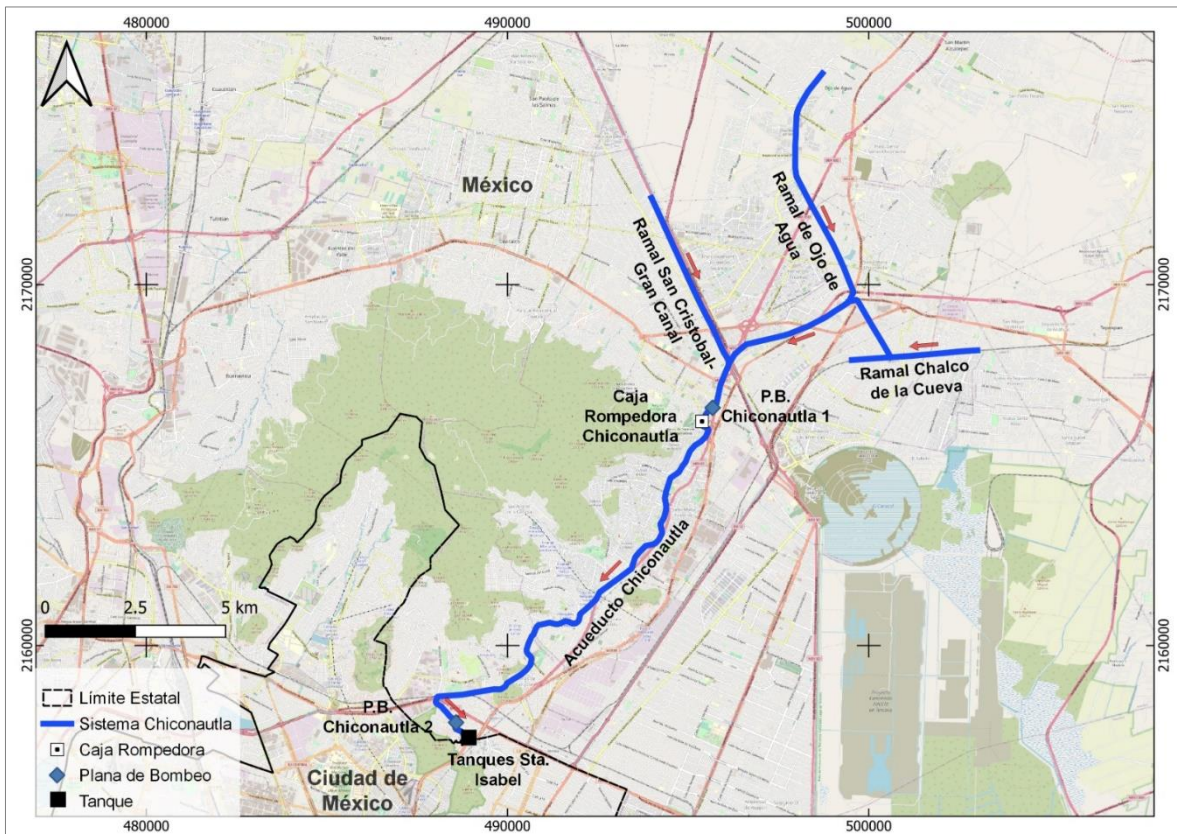


FIGURA 4 SISTEMA CHICONAUTLA.

#### Sistema Cutzamala

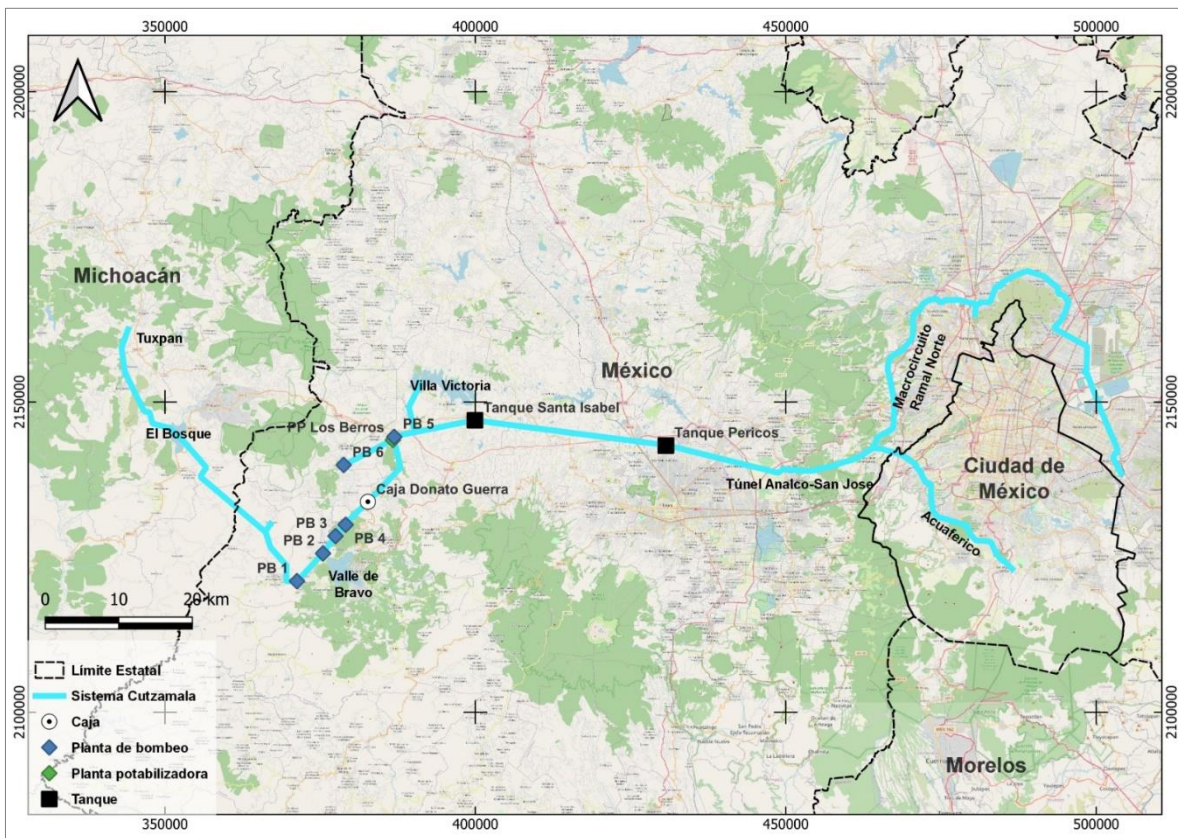
Los componentes básicos del Sistema Cutzamala son siete presas principales con capacidad útil conjunta de 790.9 hm<sup>3</sup> y seis plantas de bombeo que vencen un desnivel aproximado de 1,100 metros; 322.3 km de conducciones primarias (205.8 km de tuberías, la mayoría de ellas de concreto reforzado; 72.5 km de canales revestidos y 44 km de túneles, incluido el túnel Analco San José), y una planta potabilizadora con capacidad de diseño de 20 m<sup>3</sup>/s.

Según datos de medición del año 2023, el Sistema Cutzamala aporta a la Ciudad de México 8.38 m<sup>3</sup>/s y apoya al Sistema Lerma mediante una aportación en Cruz de la Misión. Conforme el agua sigue su curso, el acueducto llega a la Lumbreira

No. 3 ubicada en el municipio Huixquilucan de Degollado, donde se bifurca en dos ramales para abastecer la Zona Metropolitana del Valle de México:

- El ramal Norte, también conocido como Macrocircuito, que recorre todo el poniente y norte de la ciudad y abastece al Estado de México.
- El ramal Sur, también conocido Acuaferico, que recorre las alcaldías de Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan.

Además de estos ramales, existen subramales, conocidos como derivaciones, que suministran a tanques de regulación y de almacenamiento principales dentro de la ciudad, estos son: 1ª Derivación Providencia, 2ª Derivación Primavera, 3ª Derivación Hipocampo y 4ª Derivación Topilejo. Asimismo, el Sistema Cutzamala tiene influencia en los tanques principales El Cartero, los tanques Santa Lucía, y El Judío.



**FIGURA 5 UBICACIÓN DEL SISTEMA CUTZAMALA.**

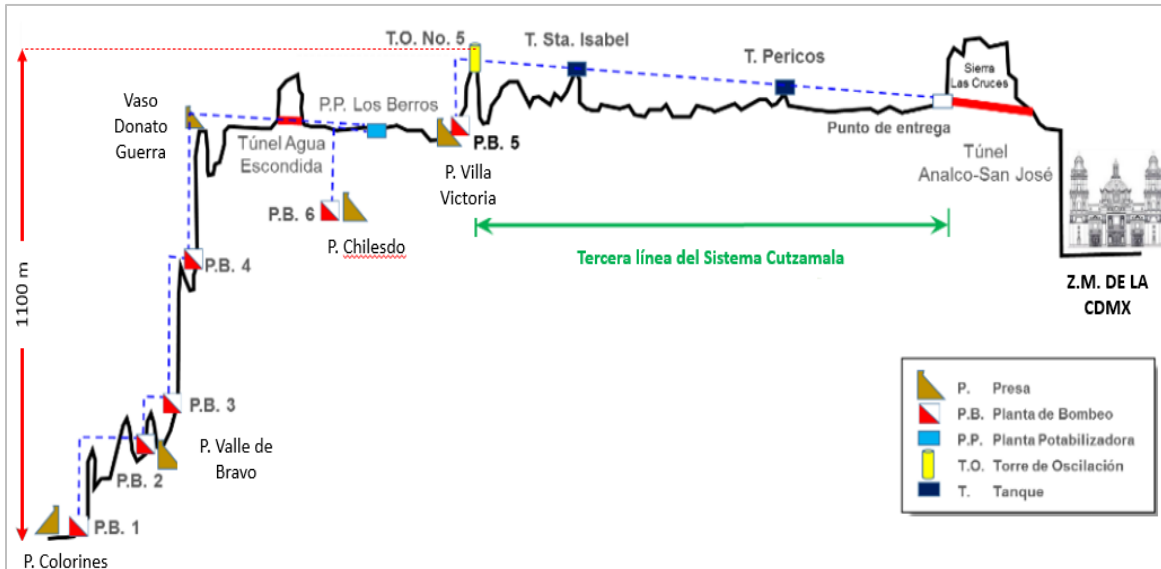


FIGURA 6 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA CUTZAMALA.

### Sistema Barrientos

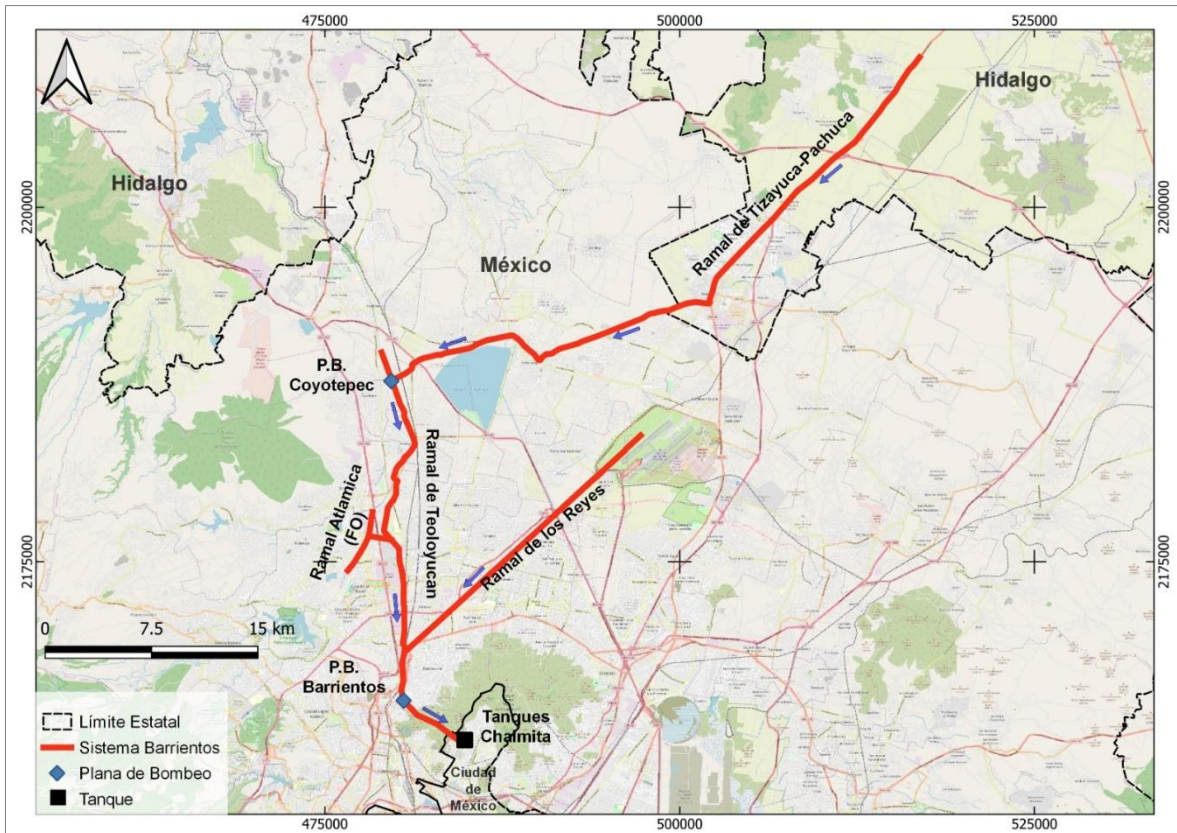
El Sistema Barrientos abastece al Norte del Valle de México, el cual incluye los municipios de Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tlalnepantla de Baz y Tultitlán en el Estado de México y la Ciudad de México. Pertenece al Plan de Acción Inmediata (PAI). El caudal promedio registrado es de 1.74 m<sup>3</sup>/s, según datos de medición del año 2023.

El agua del Sistema Barrientos, operado por la CONAGUA, proviene de dos ramales de 48": el Ramal Teoloyucan y el Ramal Los Reyes FF.CC. con dirección a la planta de bombeo Barrientos que a través de un túnel de 72" entra a la Ciudad de México por medio de:

- Los tanques Chalmita, con una elevación de 2,290 msnm, que cuentan con una capacidad en conjunto de 200,000 m<sup>3</sup> ubicados al norte de la alcaldía Gustavo A. Madero.

De los tanques Chalmita el agua se conduce hacia dos líneas de 72" de diámetro que abastecen a la red primaria que transporta agua a la zona baja de la alcaldía Gustavo A. Madero y Azcapotzalco





**FIGURA 7 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA BARRIENTOS.**

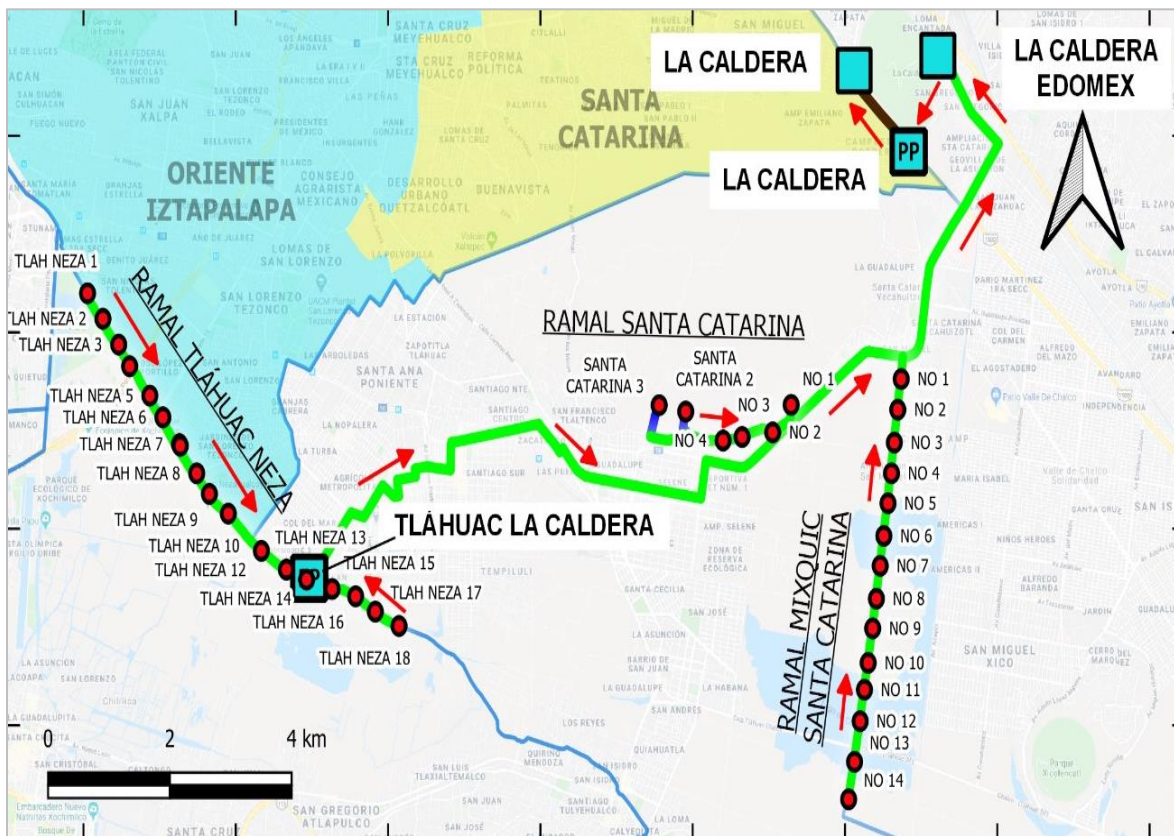
#### Sistema La Caldera

El último sistema de agua en bloque para la Zona Metropolitana del Valle de México es el Sistema La Caldera ubicado en el Estado de México. Este sistema se abastece de baterías de pozos provenientes de los ramales Mixquic y del Acueducto Tláhuac – Neza, el cual se une con el ramal Santa Catarina.

El sistema es gestionado por la CONAGUA quien reparte en promedio 0.57 m<sup>3</sup>/s de forma constante al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), de acuerdo a registros de medición del año 2023, mediante la planta potabilizadora y el tanque La Caldera.

Dicho tanque se ubica al oriente de la Ciudad de México en la Carretera México – Puebla, y a partir de él se suministra agua a distintos rebombes que abastecen a la Ciudad de México, particularmente a la alcaldía Iztapalapa.

En la **FIGURA 8**, se representan los diferentes pozos que integran los ramales que abastecen al Sistema La Caldera.



**FIGURA 8 SISTEMA LA CALDERA.**

En la **FIGURA 9**, se representan esquemáticamente todas las fuentes externas que abastecen a la Ciudad de México (CDMX), la ubicación de entrada y el caudal aproximado que aportan.

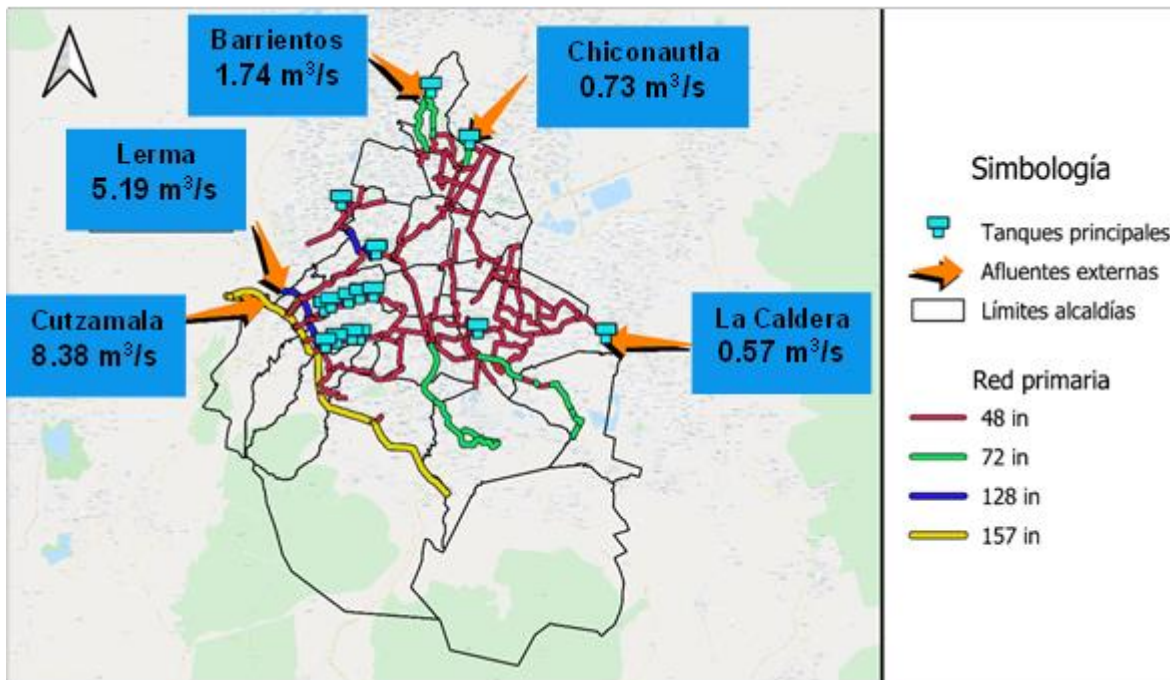


FIGURA 9 FUENTES DE ABASTECIMIENTO EXTERNAS DE LA CDMX.

### Fuentes internas

El acuífero somero de la Ciudad de México es alimentado principalmente del agua de las precipitaciones que escurre de las zonas elevadas de la Ciudad y que se infiltra en el suelo hasta llegar a las zonas bajas, donde se recargan los manantiales y los pozos.

Como fuentes internas en la Ciudad de México se tiene una batería de 543 pozos que sirven como principal fuente para abastecer a sus habitantes, de los cuales 485 pozos se encuentran monitoreados mediante equipo de telemetría; 16 manantiales concentrados en la parte poniente y las dos plantas potabilizadoras Río Magdalena.

Los manantiales son un punto de salida natural de agua subterránea que fluye hacia la superficie terrestre. La totalidad de los manantiales con los que se abastece la Ciudad de México se ubican en las zonas poniente y sur-poniente de la ciudad, concentrándose en las alcaldías Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan. La mayor parte de los manantiales se encuentran en zonas protegidas o suelos de conservación. Actualmente únicamente seis manantiales cuentan con equipo de medición remota. El caudal medido promedio proveniente de manantiales es 0.715 m³/s.

Dado que los pozos aportan la mayor cantidad de agua para el suministro, con un caudal medido promedio de  $13.57 \text{ m}^3/\text{s}$ , se requiere que se mantengan funcionando de manera adecuada por lo cual se han realizado trabajos de rehabilitación, reposición, desazolve, reequipamiento electromecánico y de automatización logrando un mejor aprovechamiento.

Ante la creciente demanda del servicio, se ha sobreexplotado el acuífero y, para la extracción de agua, se ha tenido que recurrir a la perforación cada vez más profunda de pozos lo cual ha generado hundimientos mayores. Esta situación ha generado daños a la infraestructura hidráulica provocando fugas en la red tanto por grietas en el subsuelo como por la edad de las tuberías, además que el caudal almacenado en profundidades mayores disminuye al igual que su calidad. Lo cual incrementa el costo de operación en las plantas de bombeo y potabilización.

Por otra parte, el Río Magdalena a través de sus dos Plantas Potabilizadoras, entregan agua con ruta a los tanques de almacenamiento de la alcaldía Magdalena Contreras. En la siguiente imagen se pueden observar las fuentes internas y su respectiva aportación aproximada.

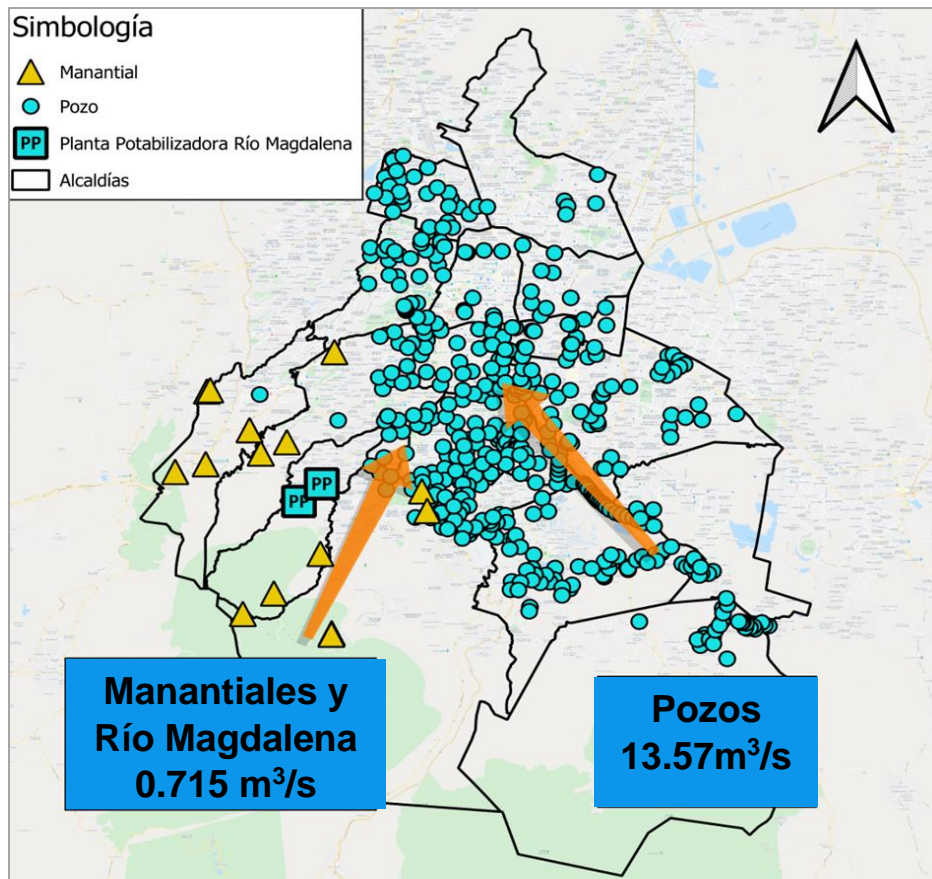


FIGURA 10 FUENTES DE ABASTECIMIENTO INTERNAS DE LA CDMX.

### **III. ADECUACIONES EN LA RED SECUNDARIA. SECTORIZACIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE PARA MEJORAR EL ABASTECIMIENTO EN LA CDMX**

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex) en el año 2019 efectuó modificaciones en su estructura, y como parte de ello creó la Dirección del Proyecto de Mejora de Eficiencia y del Servicio del Agua Potable, entre otras razones con el fin de alcanzar las siguientes metas para el año 2024:

- Que toda la población cuente con agua suficiente todos los días, aunque no sea con suministro continuo.
- Que más del 50% de la población cuente con suministro continuo las 24 horas los siete días de la semana.
- Que se reduzca el suministro a la Ciudad de México (CDMX) en 2 m<sup>3</sup>/s y se pueda detener la extracción de agua de 50 pozos, empezando con los que producen agua de mala calidad y los que más dañan a la infraestructura hidráulica, edificios y pavimentos por los hundimientos.

Las principales componentes del proyecto son el acondicionamiento de las redes secundaria y primaria, la medición de cada sector y su diagnóstico, la detección y reparación de fugas, el remplazo de tuberías y el cambio en la forma de operación.

#### **Antecedentes de la distribución de agua potable en la CDMX**

La Ciudad de México tiene una población aproximada de 9 millones 209 mil habitantes. La infraestructura hidráulica que abastece de agua potable a sus habitantes se compone de 567 kilómetros de acueductos, 1,273 kilómetros de red primaria y 11,971 kilómetros de red secundaria, también cuenta con 357 tanques de almacenamiento, 268 plantas de bombeo, 49 plantas potabilizadoras, 976 pozos y 69 manantiales. Las redes primaria y secundaria cubren un área urbana de 650 kilómetros cuadrados.

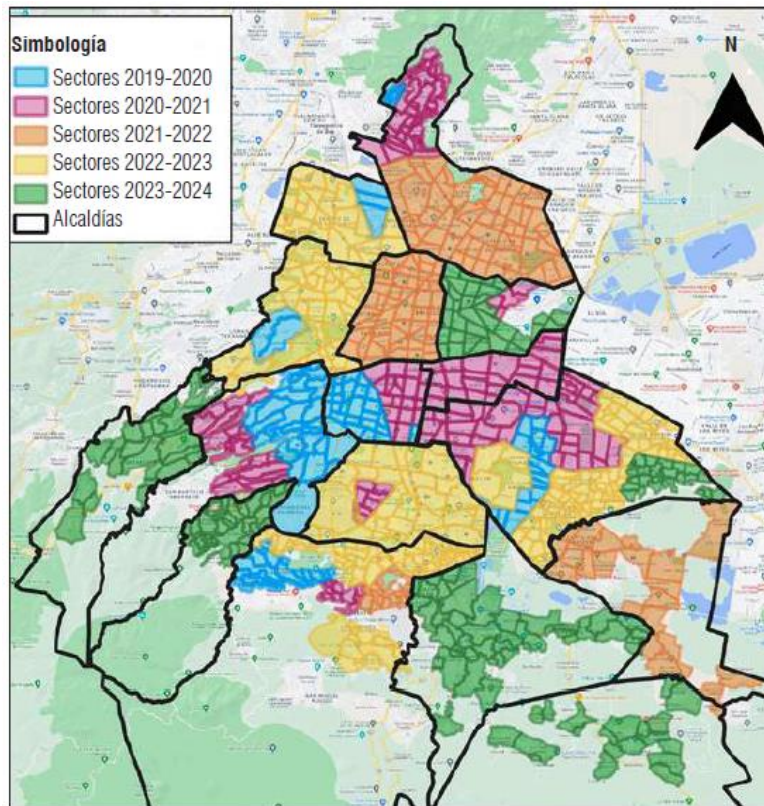
El suministro actual de agua potable, considerando consumos y pérdidas, es de 32 m<sup>3</sup>/s. El Sacmex estima que las fugas en la red son equivalentes a 40% del suministro. A finales de la década de 1990 comenzó un proyecto orientado a mejorar la distribución de agua potable y a reducir las fugas mediante la conformación de zonas controladas en gasto y presión. Bajo la premisa de que, al concluir dicho proyecto, el volumen de agua suministrada a la CDMX podría ser suficiente para satisfacer las necesidades de abastecimiento.

El proyecto de sectorización, al igual que en otras ciudades del mundo, significó una nueva propuesta de operación para la distribución de agua potable en la CDMX. Previo a la instrumentación del proyecto de sectorización en algunas zonas, el método para reducir las pérdidas por fugas era el control de las presiones en la red secundaria por medio de la operación de válvulas de seccionamiento, con lo cual además se reducía el abastecimiento a las zonas.

En la actualidad es más conveniente concluir el proyecto de sectorización, que mejore la eficiencia de la red de distribución de una ciudad, que disponer de fuentes externas más alejadas o continuar sobreexplotando los acuíferos afectando los ecosistemas y medio ambiente.

La sectorización de la red de distribución permite, entre otros beneficios, atender las fugas rápida y eficientemente, reducir el tiempo empleado en operación y traslado de personal, mejorando las eficiencias operativa, hidráulica y comercial en beneficio del usuario.

El Sacmex trabaja en la construcción de 830 sectores en los que se dividirán los cerca de 12,000 km de red secundaria de la CDMX. La programación en el tiempo se puede observar en la **FIGURA 11**; se inicia en las zonas de la ciudad donde se tiene más oportunidad de recuperar caudales.



**FIGURA 11** SECTORIZACIÓN DE LA RED SECUNDARIA EN LA CDMX.

Otra de las metas del proyecto de sectorización es la recuperación de 3 m<sup>3</sup>/s, caudal que actualmente se pierde en fugas o micromedición deficiente. Esta meta podría ser alcanzada paulatinamente en tanto avance el proyecto de sectorización.

El proyecto de sectorización es la base de sustentabilidad del Valle de México, sin su implementación se corre el riesgo de que nuevas fuentes de abastecimiento se pierdan en fugas. Adicionalmente, la sustitución de tuberías podría aumentar la presión y la aparición de fugas en zonas que no hayan sido remplazadas (migración de fugas), situación que seguirá motivando los suministros mediante tandeos.

Al sectorizar, se hará posible el aprovechamiento eficiente de las fuentes explotadas en este momento, y por lo tanto será posible establecer objetivos para la liberación de caudales para las generaciones futuras, a fin de que se tengan recursos suficientes, principio del ideal de sustentabilidad.

La sectorización es un proceso que, más allá de esfuerzos individuales, requiere trabajo en equipo. Con la colaboración de técnicos y operadores que

trabajan para mejorar el servicio a la población, el proyecto de sectorización ha alcanzado resultados significativos.

Conforme se avance en el Proyecto de Sectorización, con fundamento en la medición de gasto y volumen por sector, aunado a la micromedición, será posible fijar las zonas de baja eficiencia y las metas de rehabilitación de la red de distribución.

#### Proyecto de Sectorización

La sectorización consiste en dividir la red de distribución en sectores hidráulicos con una sola entrada y con medición, para comparar el suministro con el consumo, lograr la recuperación de agua con un manejo adecuado de presiones (a través de un control activo de presiones) y reparar fugas mediante el establecimiento de estrategias adecuadas.

Durante la ejecución del proyecto de sectorización en la Ciudad de México, se distinguen cinco etapas en el desarrollo de cada sector:

- a) El Proyecto Ejecutivo
- b) La Construcción de las Obras
- c) La Puesta en Marcha
- d) La Construcción de Obras complementarias
- e) La Operación y el mantenimiento

Uno de los principales retos de este proceso es el desarrollo de un conocimiento profundo de la red, ya que en cada sector es posible verificar el estado de la micromedición y macromedición; las mediciones de presión en la red primaria, así como sus balances para determinar la eficiencia operativa, hidráulica y comercial, entre otros aspectos. También es posible obtener actualizaciones, tanto de los datos de consumo de los usuarios, como de la recaudación de cada sector.

#### a) El Proyecto Ejecutivo

El proyecto ejecutivo requiere de un catastro confiable de la red de distribución. El catastro es un levantamiento topográfico, proceso que incluye la descripción de las instalaciones que se tiene: tuberías, materiales, ubicación de los trazos, longitudes y la manera en que cruzan de una calle a otra. Es importante considerar



que la infraestructura está bajo tierra y que su edad promedio es de 50 años, por lo que la información generalmente es escasa. Si bien el catastro existente es confiable, para efectos de la sectorización es necesario que se complementen con trabajos adicionales de campo, como el levantamiento de la infraestructura visible en las cajas de válvulas, así como excavaciones para identificar tuberías no reportadas en dicho trabajo.

Una vez conocido el armado y arreglo de la red de distribución, la información geométrica e hidráulica obtenida se integra a un modelo matemático, base fundamental del Proyecto de Sectorización. De esa forma, puede representarse matemáticamente la manera en que debe comportarse el sector una vez que ha sido delimitado.

El principio fundamental de la sectorización es la delimitación del sector, que consiste en cerrar las fronteras de una zona concreta de la ciudad, que se alimenta por una entrada que aporte el gasto suficiente para satisfacer la demanda de su población. La delimitación de los sectores será a través de válvulas de seccionamiento o tapas ciegas nuevas en los límites del sector.

Los medidores de flujo deberán dimensionarse de acuerdo con los gastos máximo, mínimo y promedio estimados para cada uno de los sectores de manera que se pueda garantizar el suministro actual y el futuro. Es importante asegurar que éstos serán capaces de medir con adecuada precisión tanto los flujos máximos como especialmente los mínimos a efectos de poder realizar un adecuado análisis del caudal mínimo nocturno del sector, siendo éste un parámetro de especial relevancia para el diagnóstico de los sectores. Se deberá garantizar mediante sifones invertidos, que el tramo de tubo donde se encuentre el medidor siempre esté lleno.

En los sitios de control se deberá instalar un by-pass, por dos motivos: el primero es por cuestiones de mantenimiento y reparación; el segundo es, en las zonas donde actualmente se tenga servicio intermitente o que se tengan presiones bajas en la red primaria, la VRP (válvula reguladora de presión) no operaría por lo que la alimentación será por el by-pass. Cuando se cambie el tipo de servicio o se aumente la presión en la red primaria entraría en función la VRP.

Cuando haya un pozo que alimenta a la red secundaria del sector, se deberá considerar una salida a la red primaria con la instalación de una VSP (válvula sostenedora de presión), que permita la salida de los caudales excedentes, en las horas de mínima demanda, aliviando así las presiones máximas.



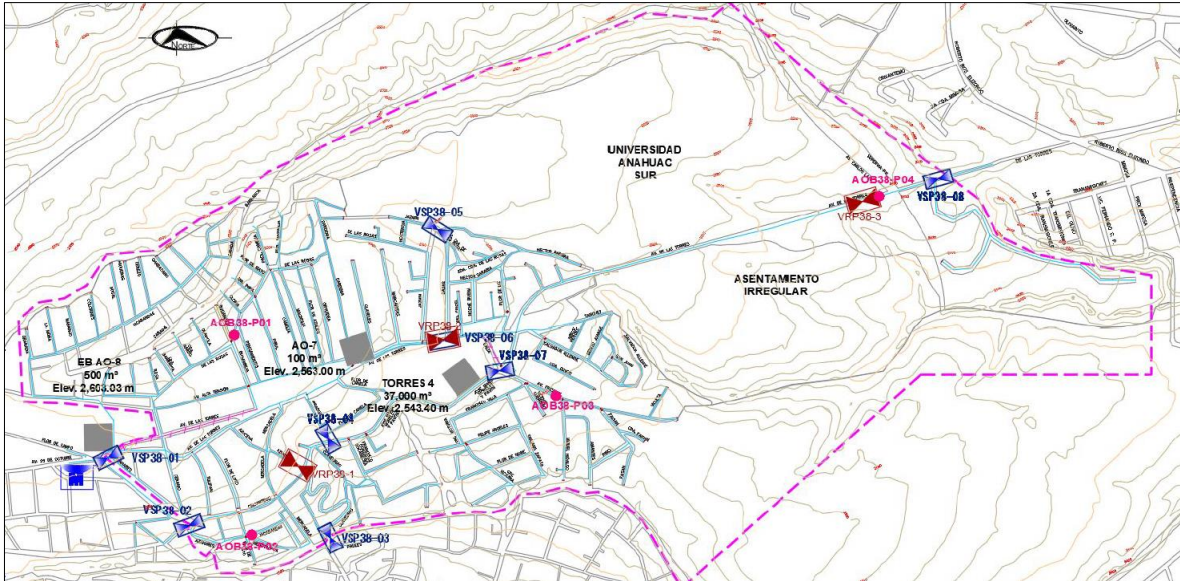
*FIGURA 12 CAJAS DE MEDICIÓN DE GASTO Y CONTROL DE PRESIÓN EN ENTRADAS A LOS SECTORES.*

b) La Construcción de las Obras

Conforme se construyen las obras establecidas en el proyecto para la delimitación de los sectores se calcula el tiempo que llevara el proceso. Incluso, resulta difícil delimitar un sector al primer intento, dada la multiplicidad de factores que intervienen: las tuberías, la presencia de válvulas abiertas y/o descompuestas, entre otros factores que impiden alcanzar el ideal de presión cero en el sector.

La experiencia en otras ciudades indica que el proceso de construcción del sector requiere de varios intentos, intercalado con la llamada puesta en marcha que es la etapa del proyecto en la que se verifica si el sector está o no aislado.

Otro producto importante, además de la construcción del sector, es el llamado plano de obra terminada, el cual no sólo indica las obras ejecutadas en el sector, también incluye la información más reciente de la infraestructura hidráulica utilizada. Dicho plano es una herramienta muy valiosa para la operación y mantenimiento del sector.



**FIGURA 13 PLANO SECTOR TERMINADO EN LA CDMX.**

c) La Puesta en Marcha

La puesta en marcha de un sector es la etapa que consume la mayor parte del tiempo del proceso, ya que implica una serie de acciones de prueba- error como:

- El aislamiento del sector.
- La medición en tomas domiciliarias (consumos) La medición de entradas (suministro)
- El balance hidráulico.

El aislamiento del sector

Para comprobar el aislamiento de los sectores de la Ciudad de México se emplea la técnica conocida como prueba de Hermeticidad, esta actividad consiste en verificar que las válvulas que conforman el límite del sector se encuentren cerradas. La prueba de hermeticidad del sector se inicia con el cierre del punto de suministro.

Antes de iniciar cualquier movimiento de válvulas se toman presiones en puntos estratégicos dentro y fuera del sector. Las presiones en estos puntos se toman y registran antes, durante y después del cierre.

La prueba será exitosa, si al momento de hacer el cierre de la fuente de abastecimiento y las válvulas límite, las colonias dentro del sector se quedan sin servicio de agua potable. En caso de no tener éxito en la prueba de hermeticidad,

se deberá realizar trabajo de investigación de campo, para identificar las posibles causas, tales como: las tuberías que cruzaban los límites del sector y que no estaban marcadas en los planos de infraestructura, la ubicación de válvulas de seccionamiento en cajas asfaltadas, etc.

#### La medición en tomas domiciliarias (consumos)

Contabilizar los flujos de agua en tomas domiciliarias y ramificaciones mediante aparatos de micromedición es una necesidad básica para los organismos operadores de agua cuyos objetivos son mantener un esquema de cobro justo, promover el ahorro del vital líquido, registrar y mostrar el volumen del líquido que consume cada usuario del servicio de agua potable, detectar fugas intradomiciliarias y contribuir a la sectorización para buscar un balance hidráulico; por ello, para el Sacmex ha sido estratégico mantener, incluso incrementar, el índice de eficiencia en la medición en el padrón de usuarios.

Con la aplicación de programas de mantenimiento e instalación de micromedidores sobre el padrón de usuarios se logró una mejora importante en la eficiencia de la micromedición, que pasó del 43% de medidores instalados funcionando correctamente en el año 2007 al 88% en 2018.

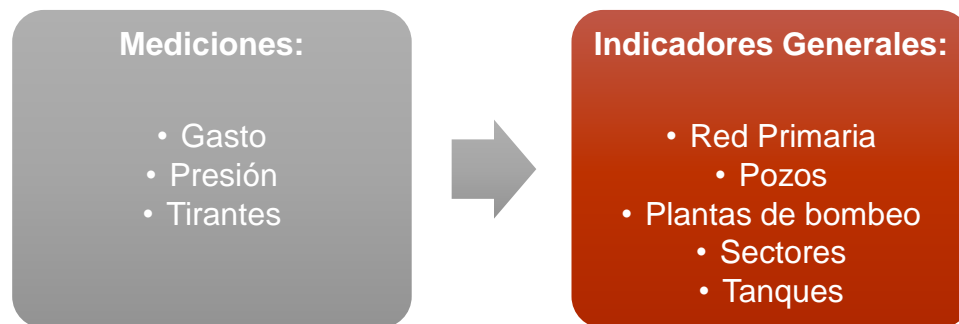
#### La medición de entradas (suministro)

En cada entrada de sector se instala una válvula reductora de presión con control electrónico, un medidor electromagnético de flujo y una Unidad de Transmisión Remota (UTR) con capacidad para transmitir señales de presión y gasto a un puesto central en tiempo real.

El gasto bombeado de los pozos es uniforme las 24 horas, y dado que están conectados a la red secundaria, es posible identificar que si en las noches el suministro es continuo se debe a la presencia de fugas. Algunos sectores presentan consumos nocturnos altos, lo cual es indicio de la existencia de fugas en tuberías que salen del sector o de la presencia de grandes usuarios no identificados en el padrón comercial. Otros sectores registran suministros menores al consumo requerido, indicio de la presencia de entradas al sector no identificadas y no medidas.

El Sacmex ha implementado una Plataforma única de la red de Agua Potable y Drenaje del Sacmex (SCADA), como centro de monitoreo y gestión de la red de la Ciudad de México. El sistema SCADA, sirve como una herramienta de automatización y control utilizada en distintos procesos que puede controlar, supervisar, recopilar datos, analizar datos y generar informes a distancia mediante

una aplicación informática. Su principal función es la de evaluar los datos con el propósito de anticipar posibles fallas, generando alarmas, que muestren la variación de los parámetros monitoreados. Gracias a ello, se ha conseguido el Sacmex, pueda monitorear y medir en tiempo real el agua que se abastece de cada una de las fuentes y la que se distribuye a las diferentes zonas de la ciudad a través de la red primaria, también permite medir las entradas de los sectores hidrométricos. Estas acciones van encaminadas a llevar a cabo balances de agua de la Ciudad de México.



Por ello el proyecto de sectorización de la red de distribución está introduciendo herramientas avanzadas de analítica, como el modelado hidráulico, y la inteligencia artificial para alcanzar una gestión adecuada de los recursos mediante la digitalización.

#### El balance hidráulico

El balance hidráulico puede definirse como la serie de pasos necesarios para determinar el porcentaje de pérdidas físicas registradas en un sector. El balance hidráulico se basa en la siguiente ecuación:

$$\text{SUMINISTRO} = \text{CONSUMO} + \text{FUGAS}$$

Los consumos son la parte del suministro de agua potable que generalmente utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema, pueden obtenerse del padrón de usuarios del área comercial al sumar los registros medidos de cada usuario del sector.

El suministro es la suma de los consumos para cada tipo de usuario más las pérdidas físicas, se obtiene, una vez instalados los medidores de gasto en las entradas de los sectores.

Al conocer estos términos puede obtenerse el gasto de fugas de cada sector y por lo tanto sus condiciones físicas. Dependiendo del porcentaje de fugas



e) La operación y el mantenimiento

El comportamiento de los sectores, podrá monitorearse en la Plataforma única de la red de Agua Potable y Drenaje del Sacmex, donde se almacenan los registros históricos de gasto y presiones, con lo que se podrá evaluar la eficiencia de los sectores.

Durante la operación del sector se deberán detectar anomalías, tales como, falta de agua en el sector, presiones insuficientes, etc., así como las causas de estas, para corregirlas, por ejemplo: válvulas caídas dentro del sector, conexiones faltantes entre la red de distribución.

Mediante los balances hidráulicos, se compara el gasto que se suministra, contra los diferentes tipos de consumos que existe dentro de un sector, con esto se podrá estimar el gasto que se pierde en fugas dentro del sistema. estableciendo así las prioridades para implementar la detección y reparación de fugas, como un paso importante en la recuperación de caudales.

El esfuerzo realizado por el Sacmex se ve reflejado en el aumento del número de brigadas destinadas a la detección y reparación de fugas, lo cual disminuye el tiempo de respuesta para su atención. Adicionalmente se han iniciado campañas de detección de fugas dentro de sectores hidrométricos en operación utilizando gas trazador, particularmente helio, que ha demostrado una eficiencia del 90%. Una muestra de los resultados obtenidos se presenta en el sector BJU-02 ubicado en la alcaldía Benito Juárez, en donde es apreciable la recuperación de caudal en la red.

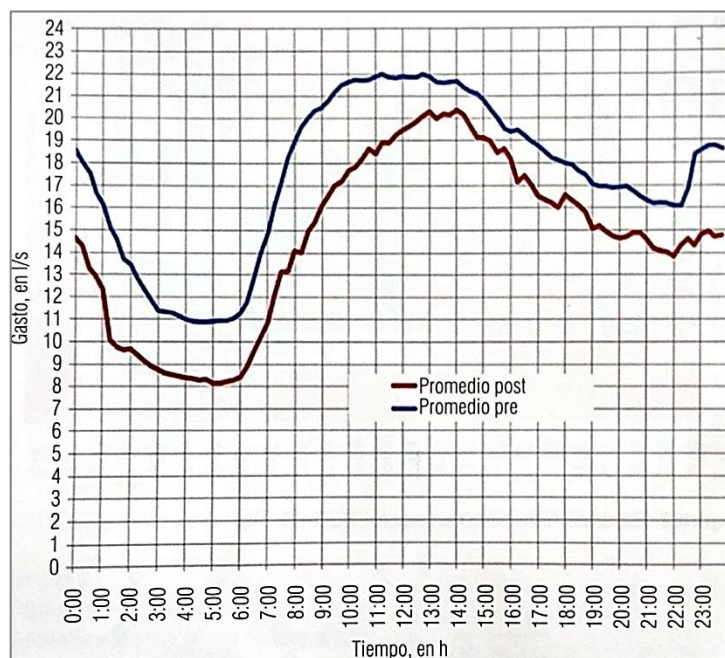


FIGURA 15 RECUPERACIÓN DE CAUDAL EN EL SECTOR BJU-02.

El reemplazo de las tuberías de red secundaria cuando los porcentajes de fugas son muy altos es otra de las acciones que el Sacmex ha realizado como parte del programa de recuperación de caudales. Bajo esta acción el porcentaje de caudal recuperado es elevado, por lo que la inversión realizada merece el esfuerzo. Con el reemplazo de tuberías se asegura que las nuevas líneas de agua potable cumplan con las normas constructivas adecuadas, además de pruebas de calidad sumamente necesarias, como lo es la prueba de hermeticidad, la cual garantiza que los tubos instalados soporten la presión sin presentar fugas. En este nivel también se instalan llaves de banqueta. Los caudales recuperados se ven reflejados directamente en la fuente de suministro, lo que permite transferir estos volúmenes a otras zonas de la ciudad que así lo necesiten.



#### IV. ADECUACIONES EN LA RED PRIMARIA Y NUEVAS ZONAS OPERATIVAS EN LA CDMX

La Ciudad de México (CDMX) está equipada con un sistema de agua potable excepcional y único en el mundo, posee las redes de agua más grandes y complejas del país. La infraestructura hidráulica de la Ciudad de México fue desarrollada a lo largo del siglo XX, en distintas etapas, con diferentes metas y con materiales de todo tipo; en la actualidad muchos elementos muestran signos de haber terminado su vida útil, o bien, son obsoletos en comparación con tecnologías más eficientes y económicas; otros están rebasados en su capacidad de conducción y presentan incrustaciones, rompimientos o fisuras.

La red primaria ha trabajado durante décadas con bajas presiones (generalmente menores a 2 kg/cm<sup>2</sup>), lo que dificulta una distribución adecuada y equitativa de los volúmenes a la población de la CDMX.

El Sacmex realizó en 2019 un estudio, en el que se definieron las nuevas zonas operativas para toda la Ciudad de México. A partir del análisis hidráulico, con simulaciones en modelos matemáticos, se definió la ubicación de las estructuras necesarias que permitirán recuperar el control y las mejores condiciones de operación en la red primaria. Estas estructuras pueden ser válvulas reductoras de presión, sostenedoras de presión, check, de seccionamiento, entre otras, en tuberías principalmente de 20, 36 y 48". También se instalarán macromedidores de gasto y medidores de presión.

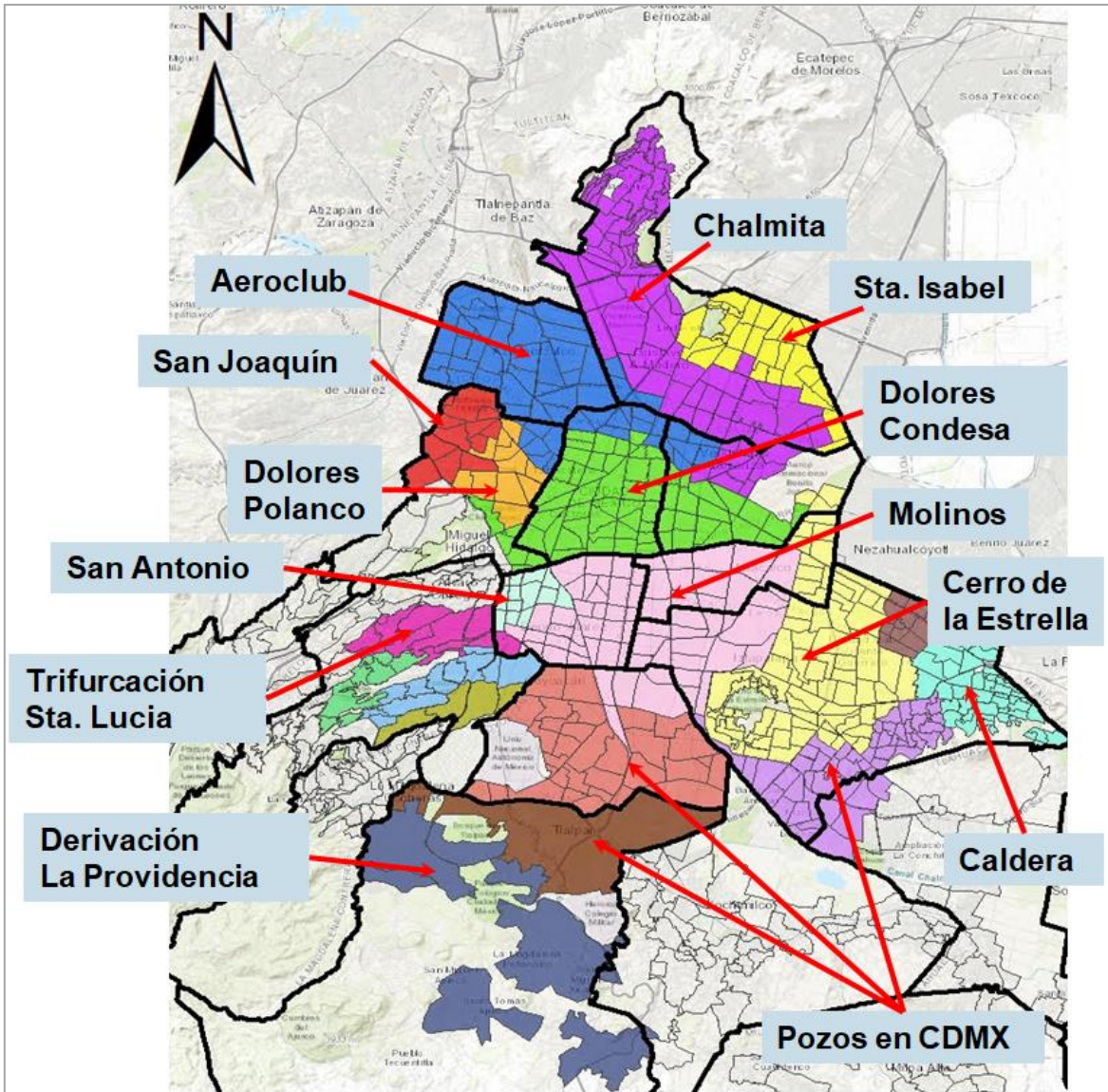
La definición de nuevas zonas operativas depende de la fuente de abastecimiento, la topografía, la población servida en los sectores, los consumos y la infraestructura, esto con el objetivo de poder distribuir el caudal de cada fuente de una forma eficiente.

En la **FIGURA 16** se muestran estas zonas operativas, que funcionaran principalmente en condiciones normales; sin embargo, se tendrán los protocolos de operación necesarios para cuando se presenten condiciones extraordinarias y se necesite enviar agua de una zona a otra.

*TABLA 1 ZONAS OPERATIVAS DE LA CDMX.*

| No. | Zona Operativa | Fuente          | Punto de suministro  | Alcaldías  |
|-----|----------------|-----------------|----------------------|--|
| 1   | Aeroclub       | Lerma           | Tanques Aeroclub     | Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza. |
| 2   | San Antonio    | Lerma-Cutzamala | Tanque Santa Lucía 1 | Benito Juárez  |
| 3   | Cerro de la    | Lerma-          | Tanques Cerro de     | Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano                                 |

|    |                           |                 |                       |  |
|----|---------------------------|-----------------|-----------------------|--|
|    | Estrella                  | Cutzamala       | la Estrella           | Carranza   |
| 4  | Molinos                   | Lerma-Cutzamala | Tanque Santa Lucía 1  | Benito Juárez, Iztapalapa, Iztacalco y Coyoacán  |
| 5  | Chalmita                  | Barrientos      | Tanques Chalmita      | Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza.         |
| 6  | Derivación La Providencia | Lerma-Cutzamala |                       | Tlalpan  |
| 7  | Dolores Condesa           | Lerma-Cutzamala | Tanque Dolores        | Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza |
| 8  | Dolores Polanco           | Lerma-Cutzamala | Tanque Dolores        | Miguel Hidalgo                                   |
| 9  | La Caldera                | La Caldera      | Tanque La Caldera     | Iztapalapa                                       |
| 10 | San Joaquín               | Lerma           | Tanque San Joaquín    | Miguel Hidalgo                                   |
| 11 | Sta. Isabel               | Chiconautla     | Tanques Santa Isabel  | Gustavo A. Madero                                |
| 12 | Trifurcación Sta. Lucía   | Lerma-Cutzamala | Tanques Santa Lucía 5 | Álvaro Obregón y Benito Juárez                   |
| 13 | Pozos en CDMX             | Pozos           |                       | Tlalpan, Coyoacán, Iztapalapa y Tláhuac          |

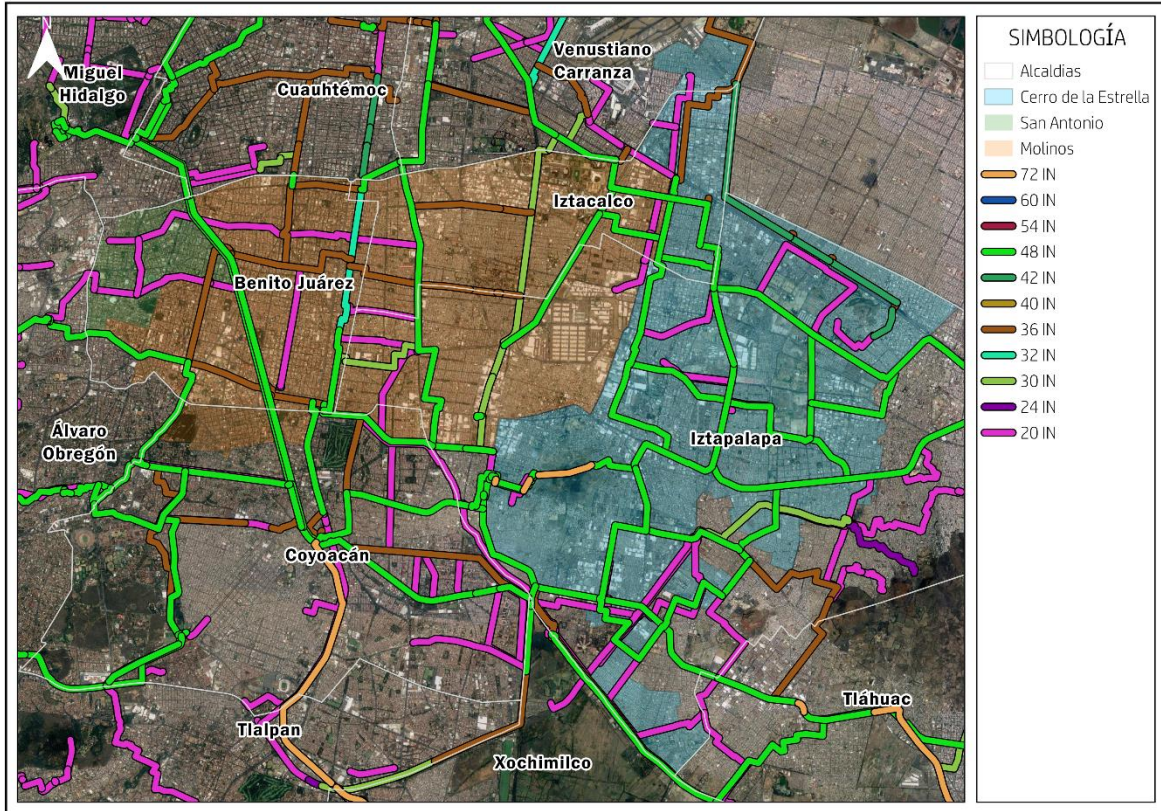


**FIGURA 16 ZONAS OPERATIVAS DE LA CDMX.**

Los límites de las nuevas zonas operativas sobre la red primaria, se realizará mediante las válvulas de seccionamiento existentes, que en caso de requerirlo serán rehabilitadas o sustituidas. Mientras que la red secundaria quedará delimitada con la conformación de los sectores.

Zona operativa: San Antonio, Molinos y Cerro de la Estrella.

El estudio simultáneo de las tres nuevas zonas operativas: San Antonio, Molinos y Cerro de la Estrella, se da porque al ser colindantes, en un futuro será posible transferir los caudales recuperados de fugas, entre estas zonas.



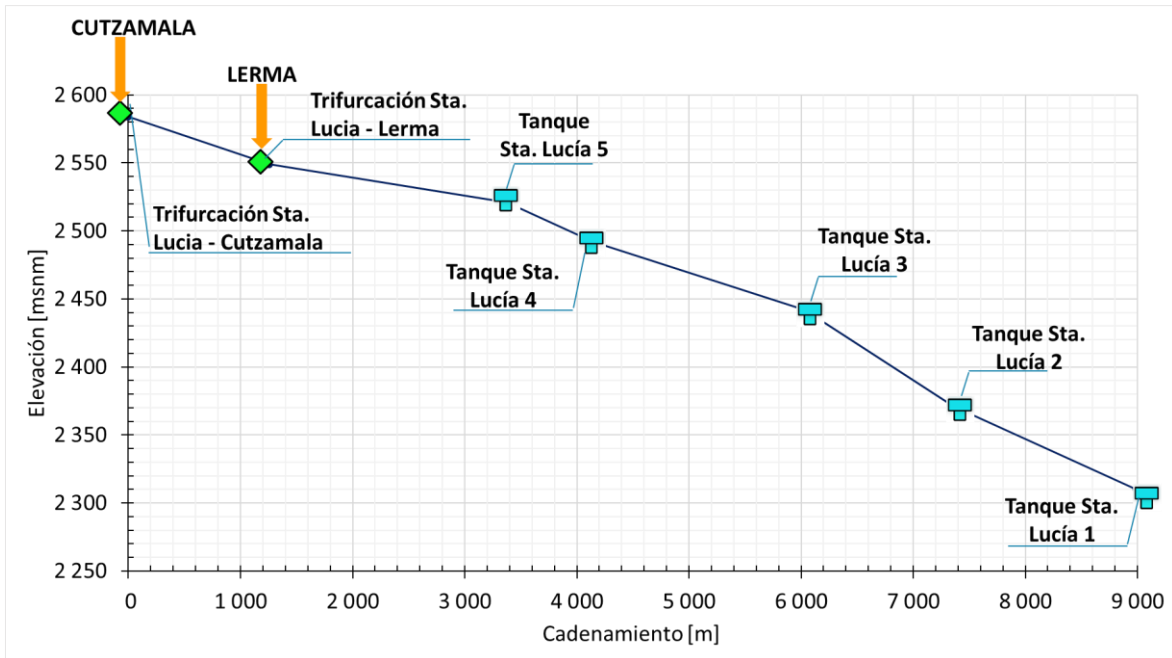
**FIGURA 17 ZONAS OPERATIVAS DE SAN ANTONIO, MOLINOS Y CERRO DE LA ESTRELLA.**

Los caudales recuperados por la disminución de fugas en la zona operativa San Antonio, sobre todo en la hora de mínima demanda serán enviados a la zona operativa Molinos. De igual forma, los caudales recuperados en la zona Molinos se podrán transferir hacia la zona Cerro de la Estrella, con este gasto adicional, se podrá empezar a disminuir la extracción de agua del acuífero que se realiza en la zona oriente de la Ciudad de México, parando pozos y dejándolos en condiciones de operación como respaldo en caso de disminución del suministro de fuentes externas.

#### Zona operativa San Antonio

La nueva zona operativa San Antonio, es abastecida por gravedad mediante una línea de red primaria de  $\varnothing=20''$  proveniente del Tanque Santa Lucía 1.

Este tanque recibe parte de los caudales de los sistemas Cutzamala y Lerma, los cuales convergen en la trifurcación Santa Lucía Lerma, abasteciendo a partir de ahí, los tanques de la línea Santa Lucía (**FIGURA 18**). El gasto promedio disponible actualmente en la salida de  $\varnothing=20''$  del tanque Santa Lucía 1. es  $Q= 352$  l/s, según la plataforma SCADA del Sacmex.



**FIGURA 18 SUBSISTEMA DE RED PRIMARIA AV. DE LAS AGUILAS**

Dentro de la zona operativa, han sido incluidos 13 sectores hidrométricos, que se abastecen principalmente con derivaciones de la red primaria. La zona San Antonio refuerza el suministro de agua potable, mediante 3 pozos que se localizan en su interior. Los pozos han sido conectados a la red primaria, para que los gastos excedentes, puedan ser conducidos hacia la zona operativa Molinos.

El área de la zona San Antonio cubre la parte Norponiente de la alcaldía Benito Juárez. Al poniente limita con la alcaldía Álvaro Obregón, hacia el norte con la alcaldía Miguel Hidalgo, al oriente con la Av. División del Norte, y hacia el sur con las avenidas Eje 6 Ángel Urraza, Insurgentes y Extremadura. Esta zona tiene un área aproximada de 5.55 km<sup>2</sup> y una población al año 2020 de 81,906 habitantes.

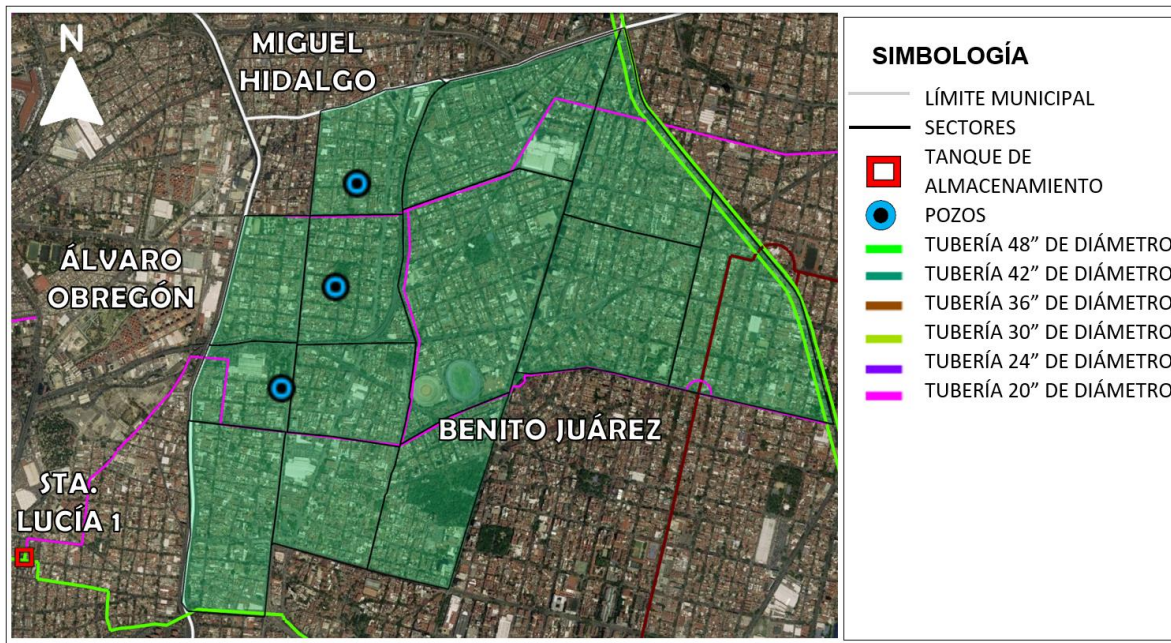


FIGURA 19 VISTA GENERAL DE LA ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO.

#### Zona operativa Molinos

La nueva zona operativa Molinos, es abastecida por gravedad mediante una tubería de red primaria de  $\varnothing=48''$  proveniente del Tanque Santa Lucía 1.

La fuente de abastecimiento de este tanque es el referido en la Zona San Antonio. El gasto promedio disponible actualmente en la salida de  $\varnothing=48''$  del tanque Santa Lucía 1. es  $Q= 304$  l/s, según la plataforma SCADA del Sacmex.

Dentro de la zona operativa, han sido incluidos 32 sectores hidrométricos, que se abastecen principalmente con derivaciones de la red primaria. La zona Molinos refuerza el suministro de agua potable, mediante 52 pozos que se localizan en su interior. Los pozos han sido conectados a la red primaria, para que los gastos excedentes, puedan ser conducidos hacia la zona operativa Cerro de la Estrella.

El área de la zona Molinos envuelve parte de las alcaldías Benito Juárez e Iztacalco. Al poniente limita con la zona San Antonio, hacia el norte con las alcaldías Cuauhtémoc y Venustiano Carranza, al oriente con la Av. Javier Rojo Gómez, y hacia el sur con la alcaldía Coyoacán. Esta zona tiene un área aproximada de 58.80 km<sup>2</sup> y una población al año 2020 de 918,262 habitantes.

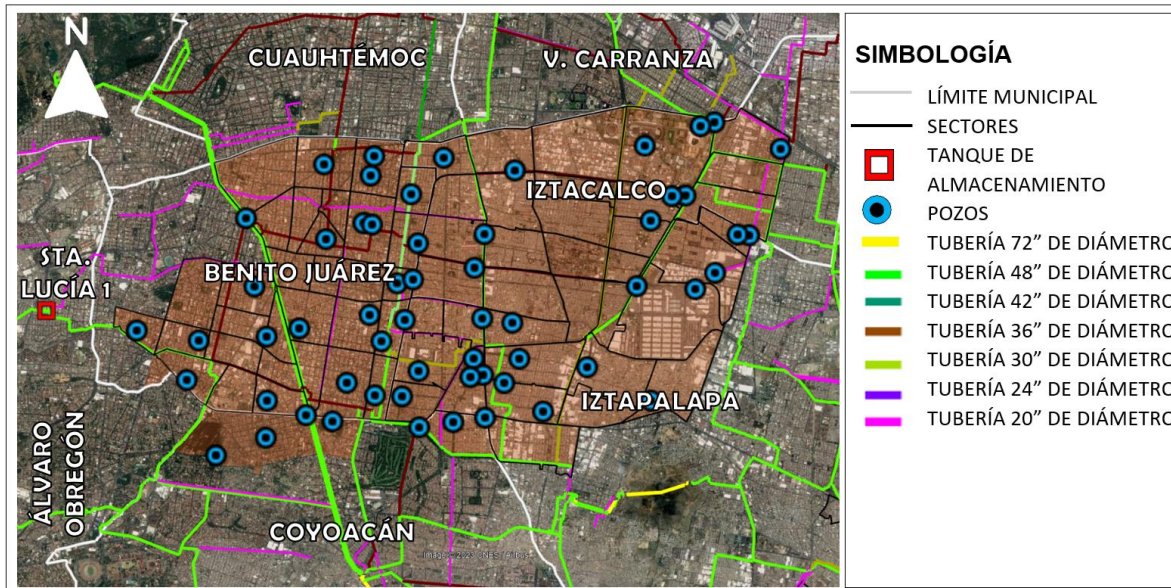
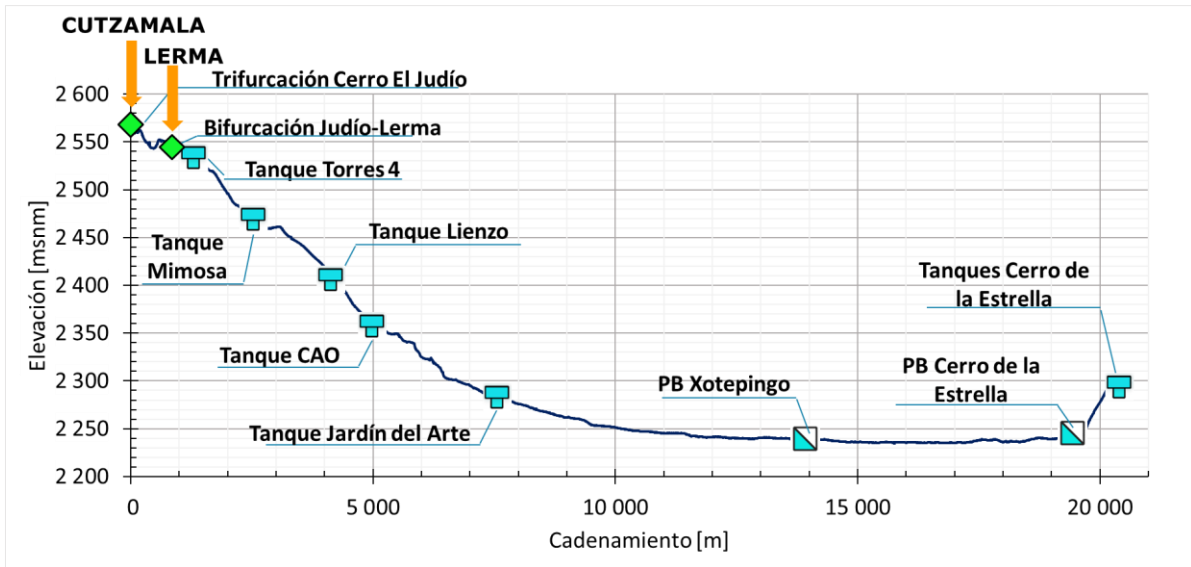


FIGURA 20 VISTA GENERAL DE LA ZONA OPERATIVA MOLINOS.

#### Zona operativa Cerro de la Estrella

La nueva zona operativa Cerro de la Estrella, es abastecida por gravedad mediante una tubería de red primaria de  $\text{Ø}=48''$  proveniente del Tanque Cerro de la Estrella.

Este tanque recibe parte de los caudales de los sistemas Cutzamala y Lerma, los cuales convergen en la bifurcación del Judío-Lerma, abasteciendo a partir de ahí los tanques Mimosa, Lienzo y CAO por una línea de  $\text{Ø}=48''$ , posteriormente, el caudal llega a la Planta de Bombeo Xotepingo misma que se encarga de bombear el agua hacia la Planta de Bombeo Cerro de la Estrella, finalmente esta última se encarga de enviar el agua hacia los tanques Cerro de la Estrella, en la alcaldía Iztapalapa. (FIGURA 21). El gasto promedio a la llegada de la Torre de Oscilación Cerro de la Estrella es  $Q= 1,098 \text{ l/s}$ , según la plataforma SCADA del Sacmex.



**FIGURA 21 SUBSISTEMA DE RED PRIMARIA AV. TOLUCA**

Dentro de la zona operativa, han sido incluidos 67 sectores hidrométricos, que se abastecen principalmente con derivaciones de la red primaria. La zona Cerro de la Estrella refuerza el suministro de agua potable, mediante 22 pozos que se localizan en su interior.

El área de la zona Cerro de la Estrella envuelve parte de la alcaldía Iztapalapa e Iztacalco. Al poniente limita con las la zona Molinos, hacia el norte con el Estado de México y la alcaldía Venustiano Carranza, al oriente con las calles Republica Federal del Sur y Reforma Política, y hacia el sur con Av. Tláhuac y la alcaldía Xochimilco. Esta zona tiene un área aproximada de 63.7 km<sup>2</sup> y una población al año 2020 de 864,754 habitantes.



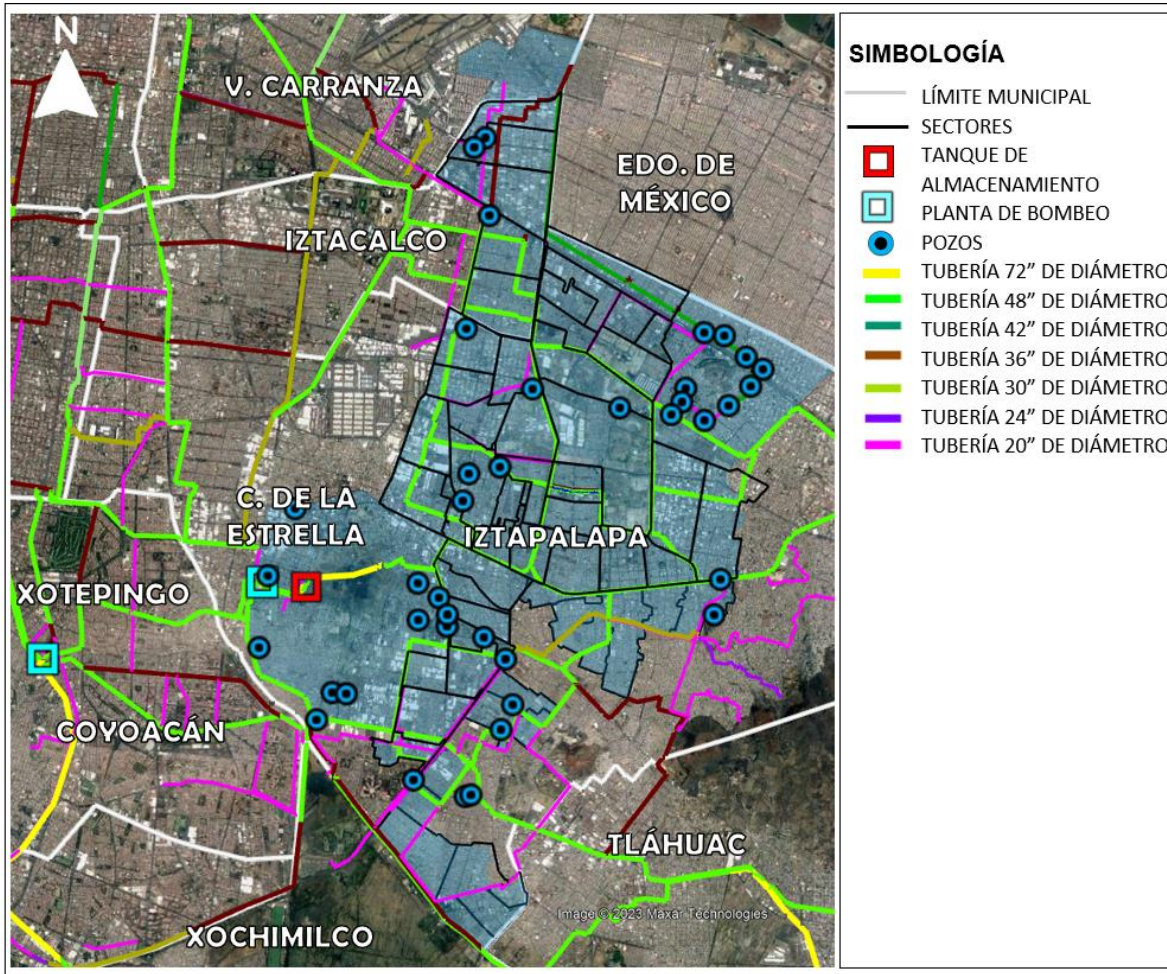


FIGURA 22 VISTA GENERAL DE LA ZONA OPERATIVA CERRO DE LA ESTRELLA

### Informe Análisis Hidráulico

Para llevar a cabo el análisis de funcionamiento hidráulico de las zonas operativas Cerro de la Estrella, Molinos y San Antonio, fue de gran importancia implementar el modelo matemático Epanet que se describe a continuación:

### Modelo matemático Epanet

Epanet es un software que realiza simulaciones hidráulicas en periodos prolongados de tiempo para conocer el comportamiento hidráulico y la calidad del agua en redes de suministro a presión. Las redes están constituidas por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses.

El software efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos, los niveles en los tanques, a lo largo del periodo de simulación en múltiples intervalos de tiempo. Tiene un entorno integrado en Windows lo que facilita la edición de datos de entrada a la red, la realización de simulaciones hidráulicas, calidad del agua y visualización de resultados en una amplia variedad de formatos, entre los cuales se incluyen mapas de la red codificados por colores, tablas numéricas, graficas de evolución y mapas de isolíneas.

Este software no tiene un límite en cuanto al tamaño de red que será procesado, para calcular las pérdidas de carga se emplean 3 métodos hidráulicos diferentes (Hazen- Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning); acepta el uso de bombas de velocidad fija o variable, contempla pérdidas menores en accesorios, determina el consumo energético, costos, considera diferentes tipos de válvulas, entre otros.

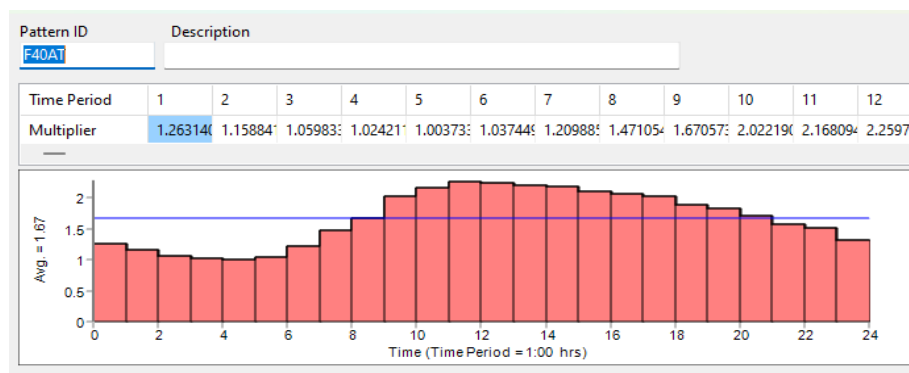
Para modelar una red de conducción o distribución, en el programa Epanet se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Dibujar un esquema de la red con apoyo de una imagen wmf o importar la red directo a Epanet.
2. Editar las propiedades de los objetos del sistema (tuberías, nodos [cruceos o cambios de dirección], válvulas, reservorios, bombas, etc.). Para los nodos se proporciona la elevación y su demanda en cada nodo, en cuanto a las tuberías se indica la longitud, diámetro y rugosidad y para las bombas, se indica la curva característica del sistema.
3. Seleccionar las opciones de cálculo. En este paso se determinan las condiciones hidráulicas como son unidades de caudal, cálculo de las pérdidas y tiempos de simulación.
4. Realizar el análisis hidráulico. Al ejecutar la simulación en la ventana principal aparece el icono de grifo con flujo si funciona correctamente, en caso contrario despliega una pantalla con los errores correspondientes.
5. Obtención de resultados del análisis.

#### Funcionamiento Hidráulico Zona Operativa San Antonio

Para efectuar el análisis de funcionamiento hidráulico en condiciones dinámicas, se procedió a recabar la información existente de la zona en estudio, la cual se anexa a continuación:

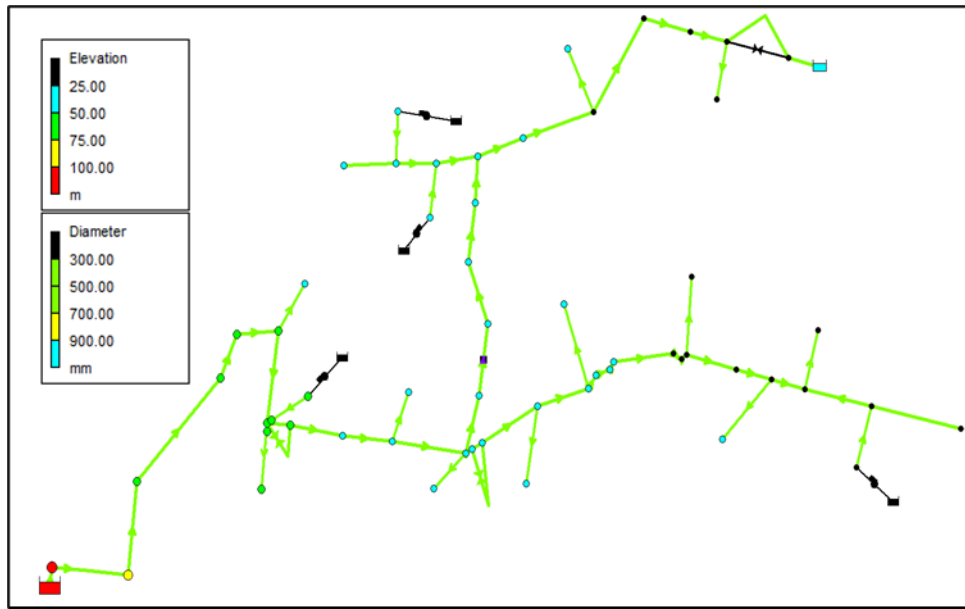
- a) El suministro de a la zona operativa es proveniente del Tanque Santa Lucia 1 mediante una tubería de red primaria de 20" (508 mm) y una elevación de 2,314 msnm.
- b) La zona operativa la conforman los sectores BJ-02, BJ-03, BJ-03, BJ-04, BJ-06, BJ-07, BJ-08, BJ-09, BJ-13, BJ-14, BJ-15, BJ-16, BJ-17<sup>a</sup>, BJ-19, BJ-22 y BJ-23.
- c) El trazado de la red se realizará con apoyo de nodos, los cuales también representaran a los sectores hidrométricos mencionados en el punto anterior, cada nodo deberá contar con la información de elevación de terreno, demanda y su respectivo patrón de demandas, también se emplearán tuberías para realizar la unión entre nodos y estas deberán contar con la información de diámetro, longitud y rugosidad (n=0.013).
- d) Se utilizó un patrón de demandas para la consideración de suministro continuo (24 h)



**FIGURA 23 PATRÓN DE DEMANDAS ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO**

- e) La ecuación de pérdidas a emplear será la de Chezy Manning

Con base en los puntos anteriores se construyó el modelo matemático Epanet de la zona operativa de San Antonio que se muestra a continuación.



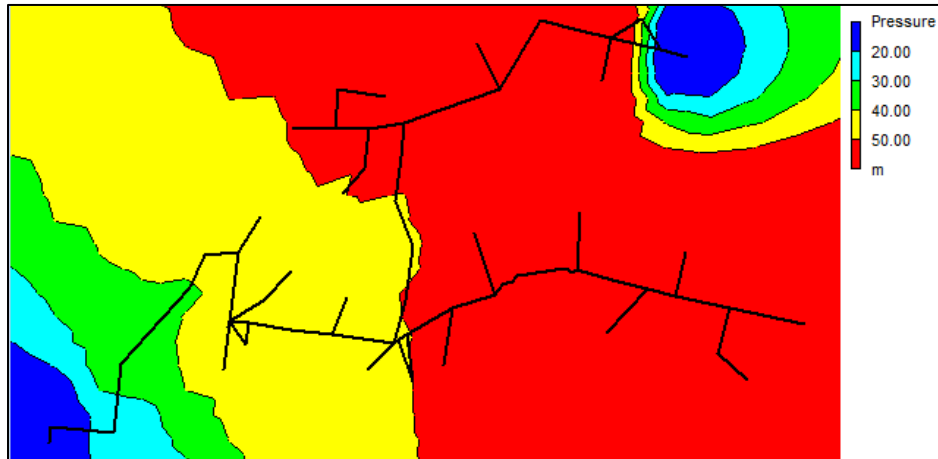
*FIGURA 24 MODELO ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO*

La revisión de funcionamiento hidráulico se realizó para 2 escenarios:

1. Funcionamiento hidráulico en condiciones actuales con la consideración de un porcentaje de fugas del 40%.
2. Funcionamiento hidráulico para condiciones futuras con un porcentaje de fugas del 25%.

Revisión Hidráulica con Fugas del 40% y 25%.

Al aplicar las acciones descritas en el apartado anterior, consideran para esta condición de funcionamiento la nula presencia de sitios de control, se obtuvieron los resultados que en cuanto a parámetros de funcionamiento hidráulico son esenciales como son el gasto y la presión en la red, las cuales se podrán apreciar en las siguientes figuras de contornos.



**FIGURA 25 PRESIONES A LA HORA DE MÍNIMA DEMANDA 5:00 AM (SIN SITIOS DE CONTROL)**

Para un adecuado funcionamiento de la red primaria es de suma importancia el empleo de sitios de control que nos permitirán un conveniente control de las presiones y gasto en la red, en esta zona operativa se conoce la existencia de 2 sitios de control uno ubicado en Rembrandt y Leonardo Da Vinci y otro ubicado en división del Norte – Romero de Terreros, adicional a estos se propone la ubicación de un tercer sitio de control en Holbein – Augusto Rodin (ver **TABLA 2**), estos sitios deberán ser adecuadamente instrumentados para que con su implementación se obtengan resultados favorables en cuanto a los parámetros de funcionamiento hidráulico esenciales como son el gasto y la presión en la red, las cuales se podrán apreciar en la **FIGURA 26**.

**TABLA 2 SITIOS DE CONTROL ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO**

| No. | UBICACIÓN                               | SITIOS DE CONTROL |
|-----|---|-------------------|
| 1   | Rembrandt y Leonardo Da Vinci           | VRP               |
| 2   | Holbein y Augusto Rodin                 | VRP               |
| 3   | División del Norte y Romero de Terreros | VSP               |

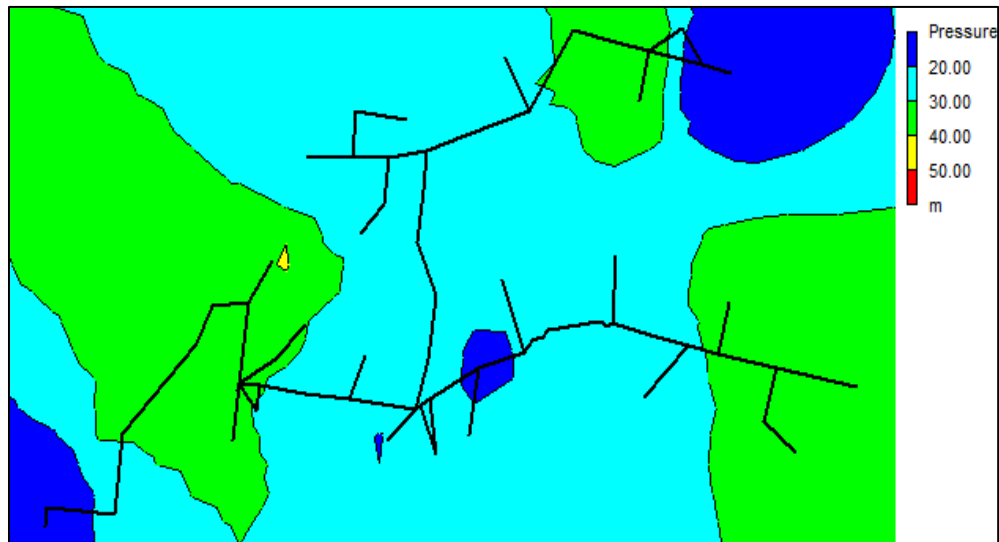


FIGURA 26 PRESIONES A LA HORA DE MÍNIMA DEMANDA 5:00 AM (CON SITIOS DE CONTROL)

Como se aprecia el empleo de sitios de control beneficia mucho la distribución de presiones en la red primaria disminuyéndolas y uniformizándolas en un rango de 10 a 40 mca, adicional a lo anterior, si en los sectores hidrométricos se realiza la misma regulación de presiones además del control de fugas, se puede llegar a tener un escenario futuro con un porcentaje de fugas del 25%. Hablando en cuestión de gastos provenientes de la fuente de suministro “Tanque Santa Lucía 1” se tiene que para la condición de 40% de fugas se requiere un gasto de 415.62 l/s mientras que para la condición futura con un 25% de fugas el gasto medio demandado por la zona operativa sería de 371.66 l/s, estos resultados se pueden apreciar en la **FIGURA 27**.

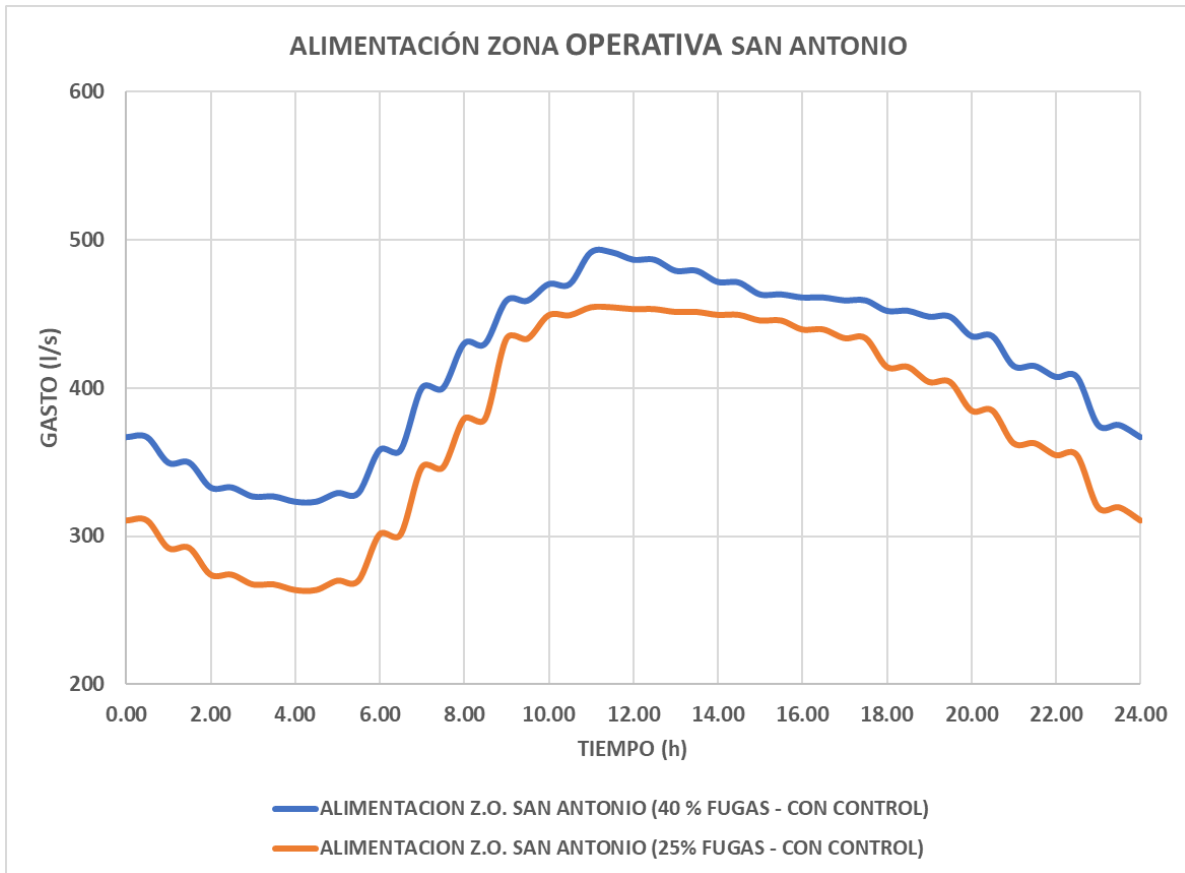


FIGURA 27 ALIMENTACIÓN ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO (TANQUE SANTA LUCIA 1)

Funcionamiento hidráulico zona operativa Molinos y Cerro de la Estrella

Para efectuar el análisis de funcionamiento hidráulico en condiciones dinámicas, se procedió a recabar la información existente de la zona en estudio, la cual se anexa a continuación:

- a) El suministro de a la zona operativa Molinos es proveniente del Tanque Santa Lucia 1 con una elevación de 2314 msnm, mediante una tubería de red primaria de 48" (1219 mm) de diámetro.
- b) El suministro a la zona Operativa Cerro de la Estrella es mediante los tanques del mismo nombre con una cota de 2300 msnm y el suministro se realiza mediante una tubería de 72" (1800 mm).
- c) La configuración de la red estará compuesta de tubería de 36" (914 mm), 30" (762 mm), 20" (508 mm), 12" (305 mm) y 4" (101.6 mm) de diámetro.
- d) La zona operativa Molinos, la conforman los sectores BJ-10, BJ-20, BJ-21, BJ-24, BJ-25, BJ-26, BJ-27, BJ-28, BJ-29, BJ-30, BJ-31, BJ-32, BJ-33, BJ-34, BJ-35, BJ-36, BJ-37, BJ-38, BJ-39, BJ-40, BJ-41, BJ-42, BJ-43, BJ-44,

BJ-45, BJ-46, BJ-47, BJ-48. BJ-49 y BJ-50, IZC-01, IZC-02, IZC-03. IZC-03, IZC-04, IZC-05, IZC-06, IZC-08, IZC-09, IZC-10, IZC-10<sup>a</sup>, IZC-11, IZC-12, IZC-13, IZC-14 y IZC-15, IZT-01, IZT-02, IZT-03, IZT-04, IZT-05, IZT-06, IZT-07., IZT-08, IZT-09, IZT-10, IZT-11, IZT-13, IZT-14, IZT-15, IZT-16, IZT-17, IZT-18, IZT-19 y IZT-20.iva

- e) La zona operativa Cerro de la Estrella, se encuentra conformado por los sectores IZT-7-1, IZT-7-2, IZT-7-3, IZT-5B, IZT-5D, IZT-5E, IZT-6A, IZT-6B, IZT-6D, IZT-9-1, IZT-9-2, IZT-9-3, IZT-11A, IZT-11B, IZT-11C, IZT-11E, IZT-11F, IZT-11G, IZT-11H, IZT-12-1, IZT-12-2, 12-3, IZT-12-4, IZT-12-5, IZT-13-1, IZT-13-2, IZT-13-3, IZT-13-4, IZT-16, IZT-16-1, IZT-16-2, IZT-16-3, IZT-17, IZT-18, IZT-22, IZT-23, IZT-23-2, IZT-24-1, IZT-24-2, IZT-24-3, IZT-24-4, IZT-29-1, IZT-29A, IZT-29B, IZT-29C, IZT-31-1, IZT-31-2, IZT-31-3, IZT-32-1, IZT-32-2, IZT-33-1, IZT-33-2, IZT-34-1, IZT-34-2, IZT-35, IZT-36-1, IZT-36-2, IZT-36-3, IZT-36-4, IZT-38A.
- f) El trazado de la red se realizará con apoyo de nodos, los cuales también representaran a los sectores hidrométricos mencionados en el punto anterior, cada nodo deberá contar con la información de elevación de terreno, demanda y su respectivo patrón de demandas, también se emplearán tuberías para realizar la unión entre nodos y estas deberán contar con la información de diámetro, longitud y rugosidad ( $n=0.013$ ).
- g) Se utilizó un patrón de demandas para la consideración de suministro continuo (24 h).

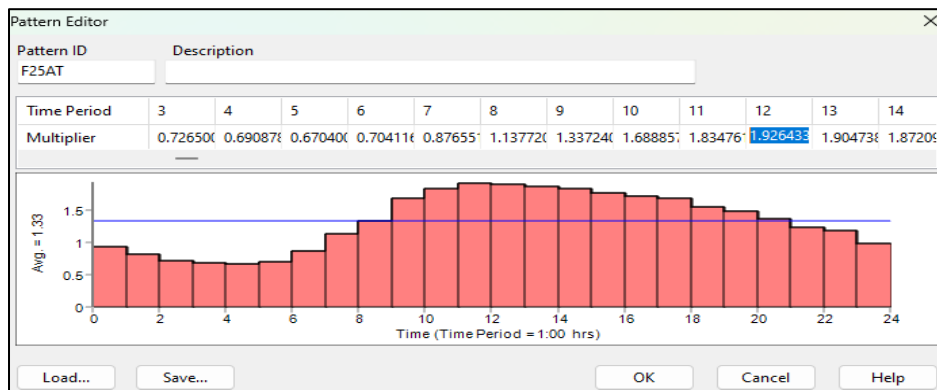


FIGURA 28 PATRÓN DE DEMANDAS ZONA OPERATIVA MOLINOS Y CERRO DE LA ESTRELLA

- h) La ecuación de pérdidas a emplear será la de Chezy Manning

Con base en los puntos anteriores se construyó el modelo matemático Epanet de las zonas operativas Molinos y Cerro de la Estrella que se muestra a continuación.





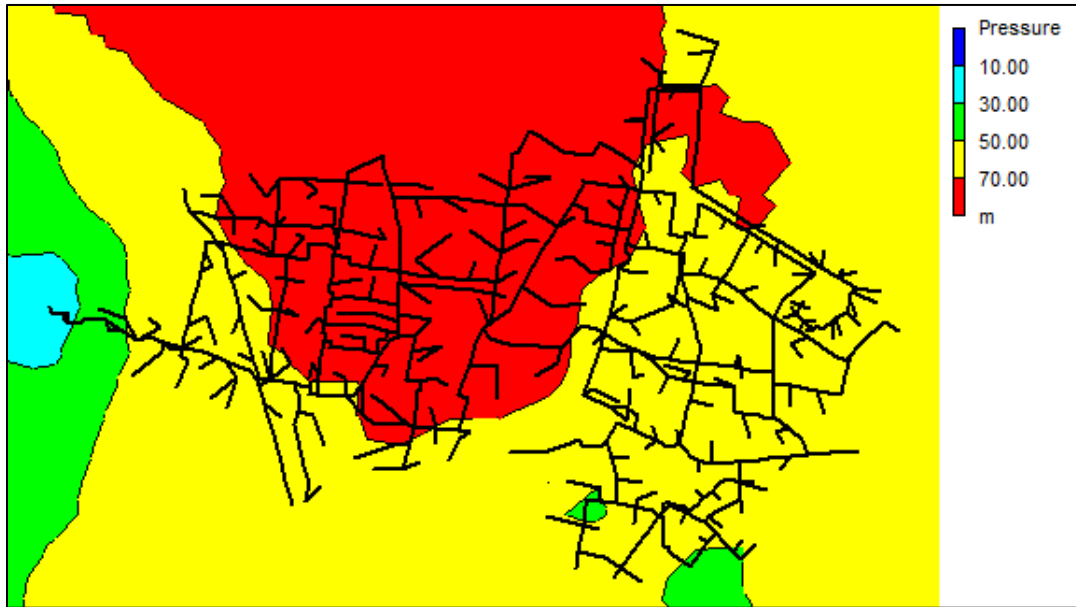
*FIGURA 29 MODELO ZONA OPERATIVA MOLINOS Y CERRO DE LA ESTRELLA*

La revisión de funcionamiento hidráulico se realizó para 2 escenarios:

1. Funcionamiento hidráulico en condiciones actuales con la consideración de un porcentaje de fugas del 40%.
2. Funcionamiento hidráulico para condiciones futuras con un porcentaje de fugas del 25%.

Revisión Hidráulica con Fugas del 40% y 25%.

Al aplicar las acciones descritas en el apartado anterior referentes a la integración del modelo hidráulico y considerando en una primera simulación la nula presencia de sitios de control, se obtuvieron los resultados que en cuanto a parámetros de funcionamiento hidráulico son esenciales como son el gasto y la presión en la red, las cuales se podrán apreciar en las siguientes figuras.



**FIGURA 30 PRESIONES A LA HORA DE MÍNIMA DEMANDA 5:00 AM (SIN SITIOS DE CONTROL)**

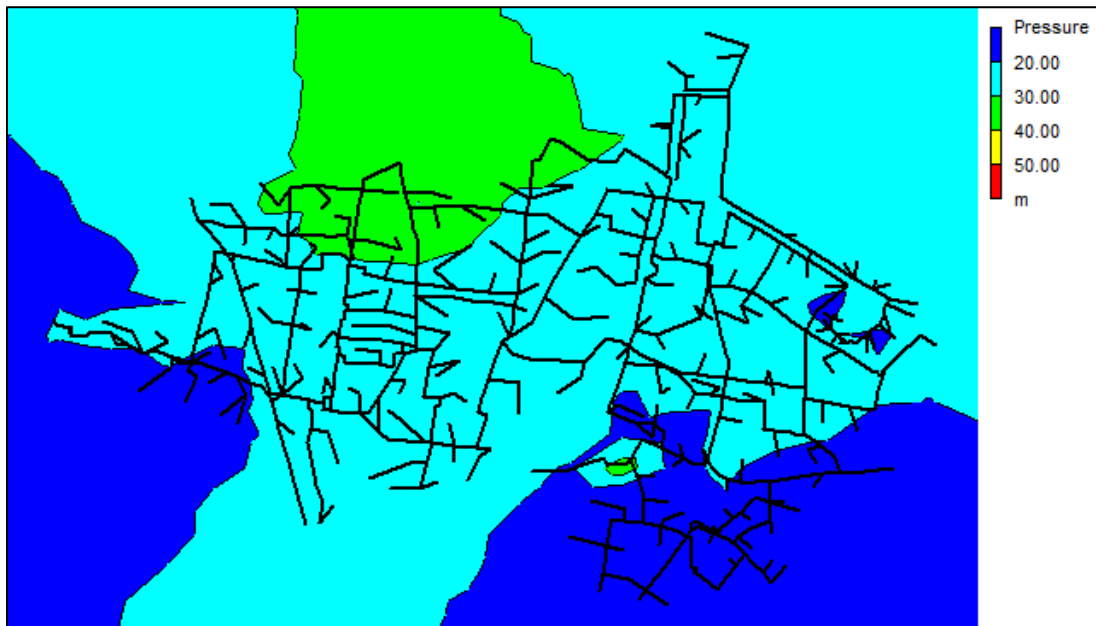
De los resultados obtenidos **FIGURA 2730**, se puede observar que al no tener sitios de control sobre la red primaria, las presiones en las horas de mínima demanda serán mayores a 70 mca, por lo que para tener un adecuado funcionamiento en la red es de suma importancia el empleo de sitios de control de presión, para las zonas operativas Molinos y Cerro de la Estrella se plantea el uso de los sitios de control que se presentan en la **TABLA 3** y **TABLA 4**.

**TABLA 3 SITIOS DE CONTROL ZONA OPERATIVA MOLINOS**

| No. | UBICACIÓN                     | SITIOS DE CONTROL |
|-----|-------------------------------|-------------------|
| 1   | Rosa de Fuego y Av. Del Rosal | VRP               |
| 2   | Av. Río Mixcoac y Patriotismo | VRP               |
| 3   | Av. Amores y José María Rico  | VRP               |
| 4   | Calle Sevilla y Calle Nevado  | VRP               |
| 5   | Av. Amores y Calle San Borja  | VRP               |
| 6   | Ote. 245 y Sur 20             | VSP               |

**TABLA 4 SITIOS DE CONTROL ZONA OPERATIVA CERRO DE LA ESTRELLA**

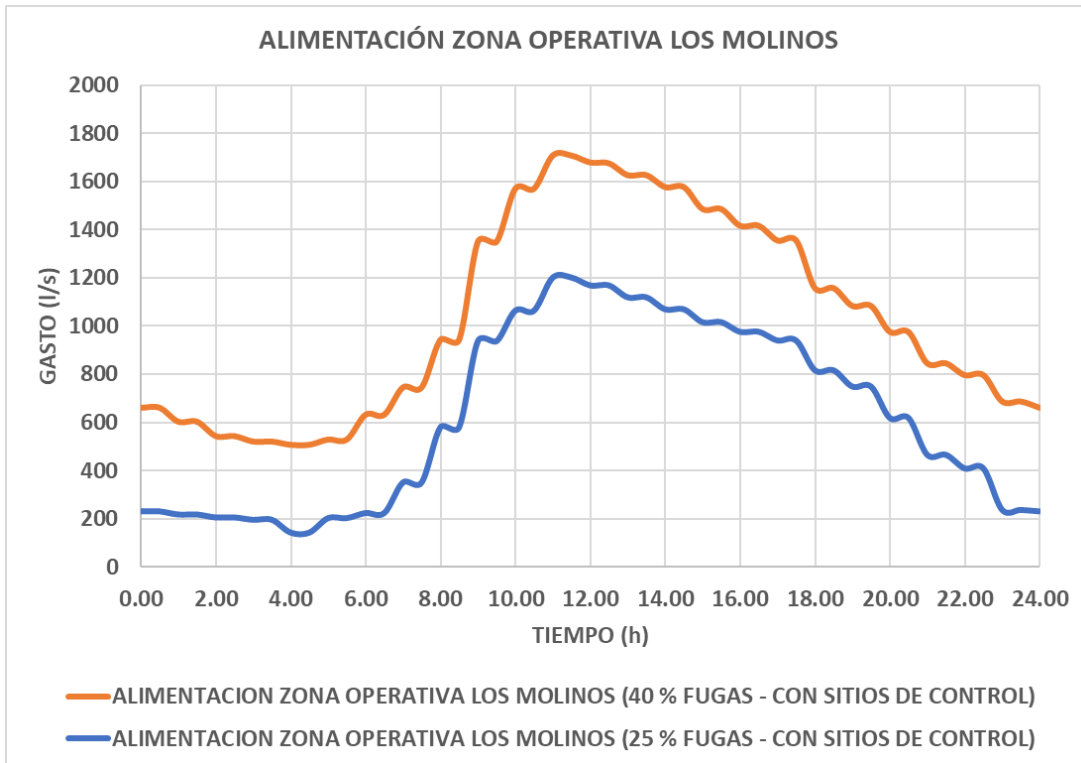
| No. | UBICACIÓN                      | SITIOS DE CONTROL |
|-----|--------------------------------|-------------------|
| 7   | Cjon. Estrella y Calle Aloe    | VRP               |
| 8   | Av. Germanio y Av. San Lorenzo | VRP               |



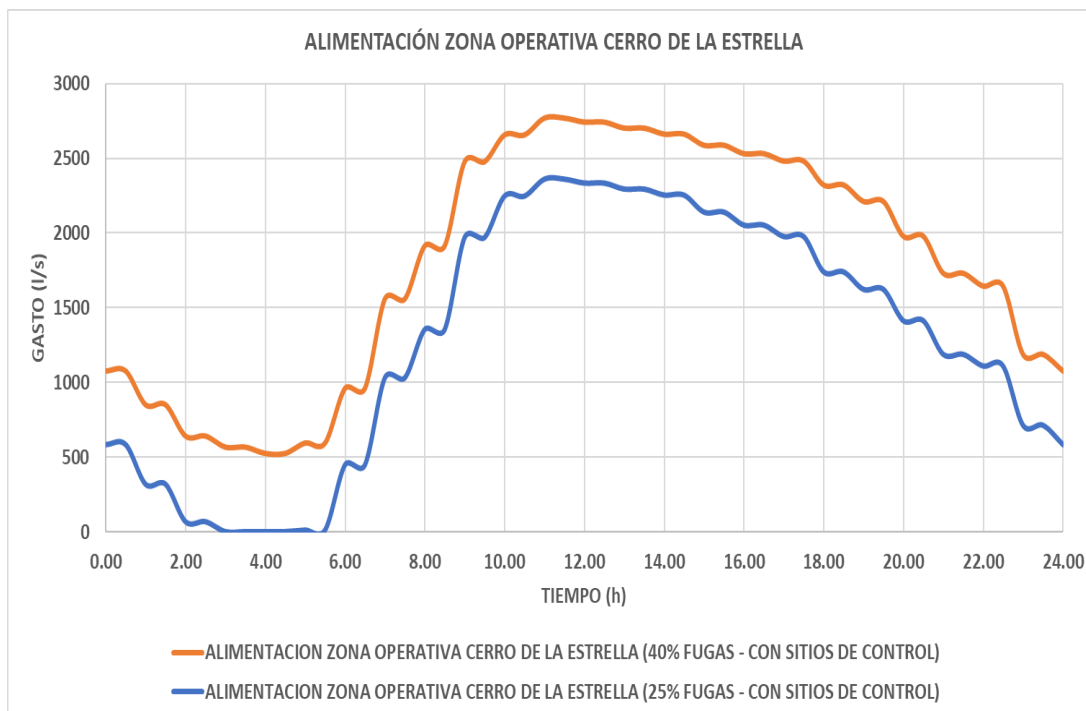
*FIGURA 31 PRESIONES A LA HORA DE MÍNIMA DEMANDA 5:00 AM (CON SITIOS DE CONTROL)*

De acuerdo a los resultados mostrados en la **FIGURA 27**, se aprecia que el empleo de sitios de control sobre la red primaria beneficia mucho la distribución de presiones en las zonas operativas Molinos y Cerro de la Estrella, disminuyéndolas y uniformizándolas en un rango de 10 a 40 mca, adicional a lo anterior, si en los sectores hidrométricos se realiza la misma regulación de presiones y el control de fugas, se puede llegar a tener un escenario futuro con un porcentaje de fugas del 25%, lo anterior trae como resultado la variación de gastos provenientes de las fuentes de abastecimiento.

Para la zona operativa de Molinos se tiene que para el escenario actual con un porcentaje de fugas del 40% se requiere un gasto medio de 1,034.35 l/s mientras que para la condición futura con fugas del 25% se demanda un gasto medio de 623.85 l/s. en cuanto a la zona operativa Cerro de la Estrella para la condición actual con 40% de fugas se requiere de un gasto medio de 1,793.49 l/s y para una condición futura reduciendo las fugas al 25% se requiere un gasto medio de 1,285.94 l/s, en las figuras siguientes se aprecia la comparativa de los dos escenarios descritos.



**FIGURA 32 ALIMENTACIÓN ZONA OPERATIVA MOLINOS (TANQUE SANTA LUCIA 1)**



**FIGURA 33 ALIMENTACIÓN ZONA OPERATIVA CERRO DE LA ESTRELLA (TANQUE CERRO DE LA ESTRELLA)**

## Delimitación de zonas operativas con válvulas sobre la red primaria.

Una vez definidas las nuevas zonas operativas: San Antonio, Molinos y Cerro de la Estrella, habrá que delimitarlas mediante la red primaria, por donde serán conducidos los caudales desde las fuentes de abastecimiento, mientras que la red secundaria será delimitada mediante la conformación de los sectores.

Los sitios donde se deberá seccionar la red primaria, para conformar cada zona operativa, serán definidos bajo la consigna de aprovechar la infraestructura existente sobre la red primaria, es decir las válvulas de seccionamiento existentes. En caso de no existir alguna válvula lo suficientemente cercana al límite de diseño se propondrá la instalación de una válvula de seccionamiento nueva.

Para poder ubicar inicialmente todas las válvulas de seccionamiento existentes sobre la red primaria, se consultó la información disponible en la biblioteca del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, acerca de la red primaria en las alcaldías Benito Juárez, Iztapalapa e Iztacalco, dicha información consiste en: catastros de la red de agua potable, estudios y proyectos realizados por la dependencia en distintas épocas.

Posterior a la recopilación y análisis de la información existente, se consultó al personal de la Dirección de Agua Potable y Potabilización del SACMEX, quien es la encargada del manejo y operación de la red primaria de la CDMX. Las zonas operativas: San Antonio, Molinos y Cerro de la Estrella, cubren parte de la zona centro de la CDMX de poniente hasta oriente, por lo cual, se involucró en estos trabajos a las Subdirecciones de Agua Potable Poniente y Oriente.

Ambas subdirecciones se encargaron de validar la información recopilada, además proporcionaron una descripción detallada del estado actual de cada una de las válvulas de seccionamiento sobre la red primaria. En sus reportes se incluía la siguiente información para cada válvula: tipo (mariposa o compuerta), diámetro, grado de apertura (número de vueltas) y estado operativo (opera o no opera).

La antigüedad de la red primaria y la falta de mantenimiento en ella, han ocasionado que una buena parte de su infraestructura, no esté en condiciones de ser operada o bien haya cumplido con su vida útil, Esto se vio reflejado en los reportes generados por el área de Operación de Sacmex, donde se hace evidente que varias válvulas de seccionamiento existentes, requieren un cierto mantenimiento, que garantice su correcto funcionamiento y en los casos más desfavorables habría que sustituirlas.

Con estos antecedentes, se procedió a la definición de las válvulas de seccionamiento existentes sobre la red primaria, para la conformación de las nuevas

zonas operativas. Las válvulas de límite propuestas fueron ubicadas en campo, indicando los sitios donde se deberá dar algún tipo de mantenimiento a las válvulas, para garantizar su correcto funcionamiento.



**FIGURA 34 RECORRIDOS DE VERIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA SOBRE LA RED PRIMARIA**

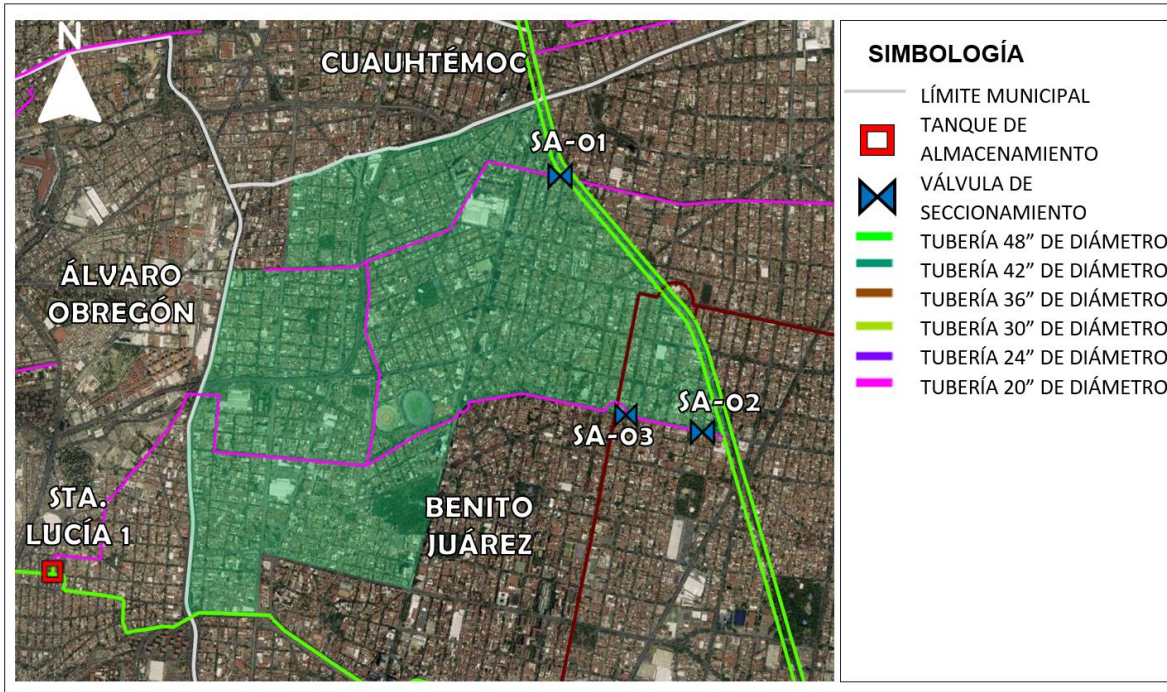
Durante los recorridos, se encontraron cajas de válvulas sobre la red primaria, donde fueron necesarios trabajos adicionales para la verificación de la infraestructura. Estas actividades incluyeron: movimiento de tapas de concreto (marimbas) mediante una grúa, así como, desazolve y limpieza dentro de las cajas.



**FIGURA 35 RETIRO DE MARIMBAS Y DESAZOLVE DE CAJAS DE RED PRIMARIA**

A continuación, se describen los sitios donde se seccionará la red primaria, para las zonas operativas: San Antonio, Molinos y Cerro de la Estrella.

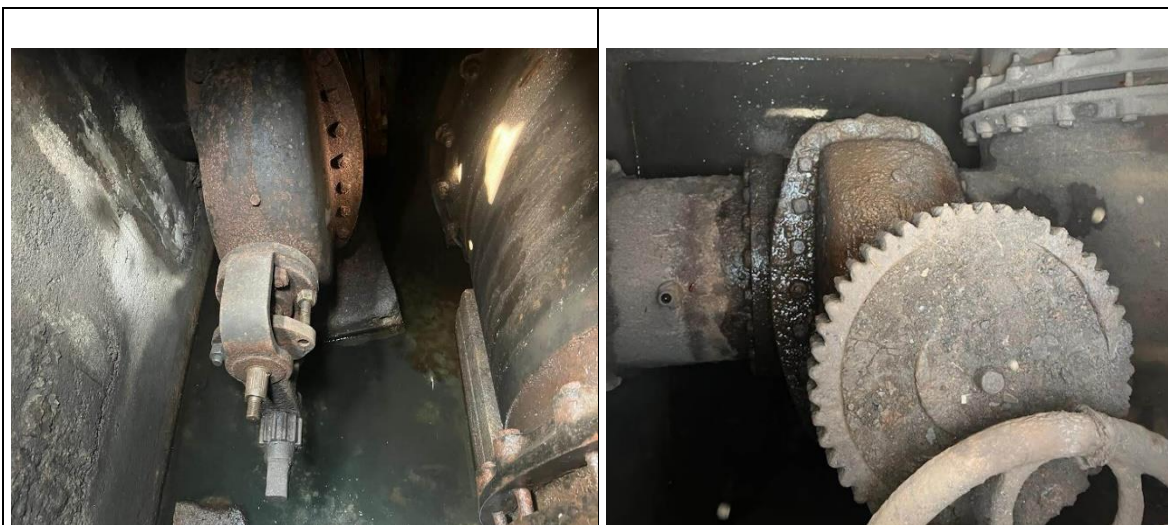
La nueva zona operativa San Antonio colinda al oriente y al sur, con la zona Molinos, para delimitarla, es necesario seccionar la red primaria en tres sitios, ver **FIGURA 36**; en los cuales existen válvulas sobre la red primaria que deberán permanecer totalmente cerradas.



**FIGURA 36 VÁLVULAS LÍMITE DE LA ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO.**

La zona operativa San Antonio tendrá como límite oriente la avenida División del Norte, en donde las tuberías de 20" de diámetro que provienen del tanque Santa Lucía 1, se conectan con las tuberías de 48" que la recorren. En los cruces de esta avenida con las calles, Pedro Romero de Terreros y Ángel Urraza (Eje 6 Sur), existen válvulas de 20" de diámetro de tipo compuerta, las cuales se encontraron cerradas.

En el cruce entre el Eje 6 Sur (Ángel Urraza) y la calle Amores existe una conexión entre tubería de 20" y 36", con válvula de tipo compuerta de 20" de diámetro. Para separar la posible influencia de otra fuente de abastecimiento en la zona, esta válvula deberá permanecer cerrada. El área operativa del Sacmex confirmó que la válvula no opera correctamente, por lo que deberá ser sometida a trabajos de mantenimiento.



**FIGURA 37 VÁLVULAS EXISTENTES DIVISIÓN DEL NORTE Y ROMERO DE TERREROS (IZQ.). DIVISIÓN DEL NORTE Y EJE 6 (DER.).**

En la **TABLA 5**, se resume el estado y ubicación de las válvulas de seccionamiento sobre la red primaria para la conformación de la nueva zona operativa San Antonio.

**TABLA 5 VÁLVULAS LÍMITE DE RED PRIMARIA DE LA ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO.**

| Sitio | Ubicación  | Diámetro | Tipo de válvula | Estatus            |
|-------|--|----------|-----------------|--------------------|
| SA-1  | División del Norte esquina con Pedro Romero de Terreros (Pte.) | 20"      | Compuerta       | Cerrada totalmente |
| SA-2  | División del Norte esquina con Eje 6 sur (Pte.)                | 20"      | Compuerta       | Cerrada totalmente |
| SA-3  | Eje 6 sur esquina Amores                                       | 20"      | Compuerta       | Mantenimiento      |

#### Zona operativa Molinos

La nueva zona operativa Molinos colinda al poniente con la zona San Antonio, así las válvulas de límite definidas en esta última, serán aprovechadas. Para la definición de los límites norte, oriente y sur, se identificaron doce sitios, en que tendrá que seccionarse la red primaria (Ver **FIGURA 38**).



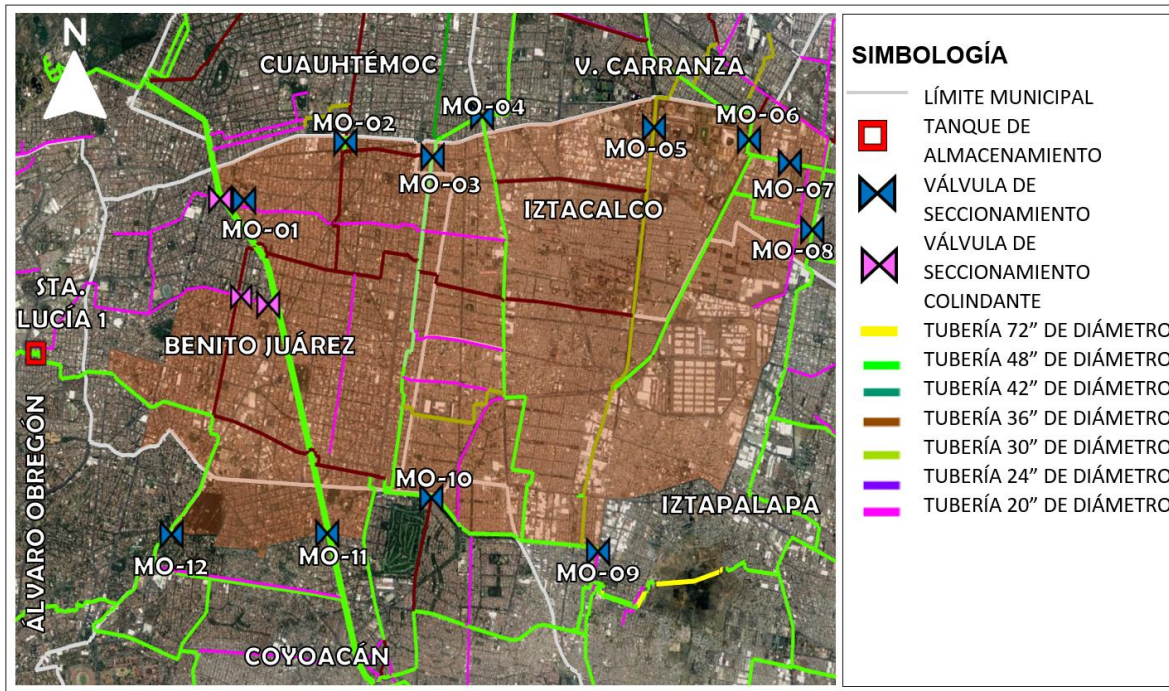
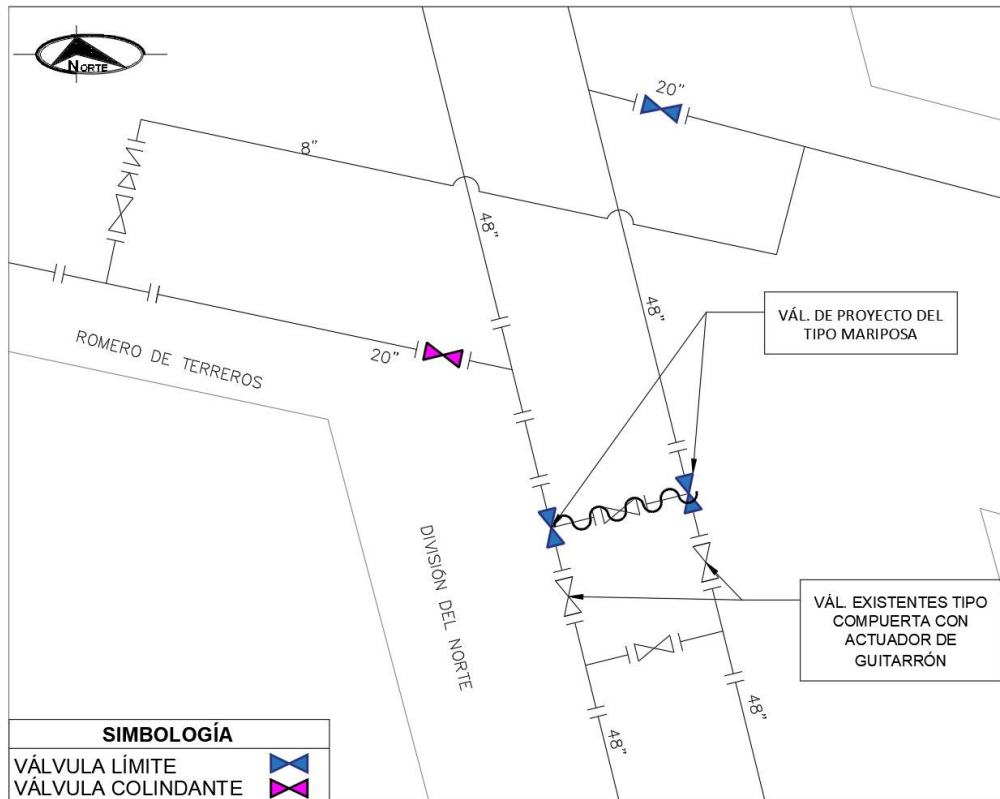


FIGURA 38 VÁLVULAS LÍMITE DE LA ZONA OPERATIVA MOLINOS.

El límite norte de la zona operativa Molinos coincide con la avenida Viaducto Miguel Alemán Valdés, la configuración actual de la red primaria incluye varios cruces, con esta vialidad. Mediante la verificación de infraestructura, se identificaron las válvulas de seccionamiento existentes, ubicadas en los sitios adecuados para establecer este límite.

En el sitio denominado MO-01, ubicado en el cruce de las avenidas División del Norte y Pedro Romero de Terreros en la alcaldía Benito Juárez, se deberán seccionar las dos tuberías paralelas de 48" de diámetro que van sobre División del Norte, las cuales pertenecen al Acueducto Xotepingo - Condesa, así como la tubería de 20" hacia el oriente de Romero de Terreros, ver **FIGURA 39**.

En este sitio la red primaria tiene válvulas de seccionamiento para tal finalidad, sin embargo, las válvulas existentes sobre los tubos de  $\varnothing=48"$  de compuerta con actuador tipo "guitarrón", no son operables, dada su antigüedad que data del año 1935 aproximadamente, por lo que deberán ser remplazadas por dos válvulas de mariposa nuevas. Mientras que, la válvula de 20" sobre la tubería referida, es de tipo compuerta y opera correctamente.



**FIGURA 39 CROQUIS GENERAL DEL SITIO MO-01.**

Al sur de la avenida Viaducto Miguel Alemán Valdés esquina con Dr. Andrade en la alcaldía Benito Juárez, sobre una tubería de 36" de diámetro, se ubicó una válvula de tipo mariposa Ø= 36". Esta válvula fue revisada y no opera correctamente, para que pueda cerrarse completamente, requiere trabajos de mantenimiento. Este sitio se denominó MO-02.

Para seccionar la tubería de 32" de diámetro sobre la calle Marcos Carrillo, se definió el sitio MO-03, ubicado en el cruce de las calles La Coruña esquina Marcos Carrillo en la alcaldía Iztacalco, donde existe una válvula de compuerta de 32" de diámetro. Después de la revisión de la válvula se determina que se encuentra abierta y opera correctamente.

En el cruce de la Calzada de la Viga y la calle Guillermo Prieto en la alcaldía Venustiano Carranza, se ubica el sitio denominado MO-04, aquí se encuentra instalada una válvula de 36" de diámetro de tipo mariposa, sobre una tubería de 48" de diámetro que recorre La Viga. Derivado de su operación, se determinó que se encuentra en estado operable y totalmente abierta.

El sitio denominado MO-05, se ubica sobre la Avenida Río Churubusco en el carril de Norte a Sur (frente al palacio de los deportes) en la alcaldía Iztacalco, sobre

la tubería de 32" de diámetro, existe una válvula de  $\text{Ø}=32"$  de tipo compuerta. Después de intentar manipularla se determinó que el operador de la válvula se encuentra pegado, por lo que requiere trabajos de mantenimiento.

Sobre la calle Oriente 217 existe una tubería de  $\text{Ø}=48"$ , con una válvula de 36" de diámetro de tipo mariposa, en la esquina con Sur 6, dentro de la alcaldía Iztacalco. Este sitio quedó definido como MO-06, a partir, de la inspección y manipulación de la válvula, se determinó que el operador se encuentra pegado y serán necesarios trabajos de mantenimiento en este sitio.

En la **FIGURA 40**, se aprecian imágenes de las válvulas existentes sobre la red primaria, para delimitar la parte norte de la zona operativa Molinos.



**FIGURA 40 SITIOS MO-2, MO-03, MO-04 Y MO-5 DE LA ZONA OPERATIVA MOLINOS**

Hacia el oriente la zona operativa Molinos colinda con la zona Cerro de la Estrella, teniendo como límite común la avenida Javier Rojo Gómez. La red primaria

cuenta con dos líneas de 48" de diámetro que cruzan dicha vialidad, de poniente a oriente. La infraestructura actual, cuenta con válvulas ubicadas en sitios adecuados para seccionar ambas tuberías y establecer el límite oriente.

Para seccionar la tubería de 48" de diámetro sobre Av. Sur 8, existe una válvula de mariposa de 36" en el cruce con la calle Oriente 237, alcaldía Iztacalco. Este sitio quedó definido como MO-07, después de la revisión de la válvula se determina que se encuentra totalmente abierta y opera correctamente. La caja de válvulas que aloja esta válvula, se encuentra dentro de un parque.

En el cruce de las calles Oriente 245 y Sur 20 en la alcaldía Iztacalco, se ubica el sitio denominado MO-08, aquí se encuentra instalada una válvula de 36" de diámetro de tipo mariposa, sobre una tubería de 48" de diámetro que recorre Sur 20. Derivado de su operación, se determinó que se encuentra en estado operable y totalmente abierta.



*FIGURA 41 SITIOS MO-7 Y MO-8 DE LA ZONA OPERATIVA MOLINOS*

El límite sur de la zona operativa Molinos servirá para delimitar la influencia del tanque Santa Lucía y el sistema Trifurcación Judío – Cerro de la Estrella, la geometría de la red primaria incluye cuatro posibles conexiones entre ambos sistemas. Las válvulas de seccionamiento existentes en estos sitios, fueron verificadas físicamente, para conocer su estado operativo actual.

El sitio denominado MO-09, se ubica sobre la Avenida Tláhuac esquina con la calle Ganaderos, en la alcaldía Tláhuac. Existe una tubería de 20" de diámetro, que actualmente recibe agua de la Planta de Bombeo Cerro de la Estrella y la conduce hacia la alcaldía Iztapalapa, en el cruce mencionado. Existe una válvula de  $\text{Ø}=20"$  de tipo compuerta. Después de revisarla, se concluye que el operador está

averiado, por lo que la válvula requiere trabajos de mantenimiento, para garantizar su correcta operación.

En el cruce de las avenidas Canal de Miramontes y Río Churubusco en la alcaldía Coyoacán, existe un cruce de red primaria con válvulas de seccionamiento de 36" de diámetro de tipo compuerta, en direcciones poniente y sur, esta última deberá permanecer totalmente cerrada, para delimitar la influencia del tanque Santa Lucía y la Planta de Bombeo Xotepingo. Se verificó en campo que la válvula se encuentra totalmente cerrada. Este sitio será identificado como MO-10.



*FIGURA 42 SITIOS MO-9 Y MO-10 DE LA ZONA OPERATIVA MOLINOS.*

En el sitio denominado MO-11, ubicado en el cruce de las avenidas División del Norte y la calle Héroes del 47, alcaldía Coyoacán Existen válvulas de seccionamiento sobre las dos tuberías paralelas de 48" de diámetro, que van sobre División del Norte. Este sitio, después de la revisión de las válvulas de compuerta con actuador de tipo "guitarrón", se determina que ambas se encuentran totalmente cerradas.

Sobre la Avenida Coyoacán entre las calles Hortensia y Minerva, en la alcaldía Coyoacán, se ubica el sitio denominado MO-12, aquí se encuentra instalada una válvula de 36" de diámetro de tipo mariposa, sobre una tubería de 48" de diámetro que recorre Av. Coyoacán. Derivado de su operación, se determinó que se encuentra totalmente cerrada.

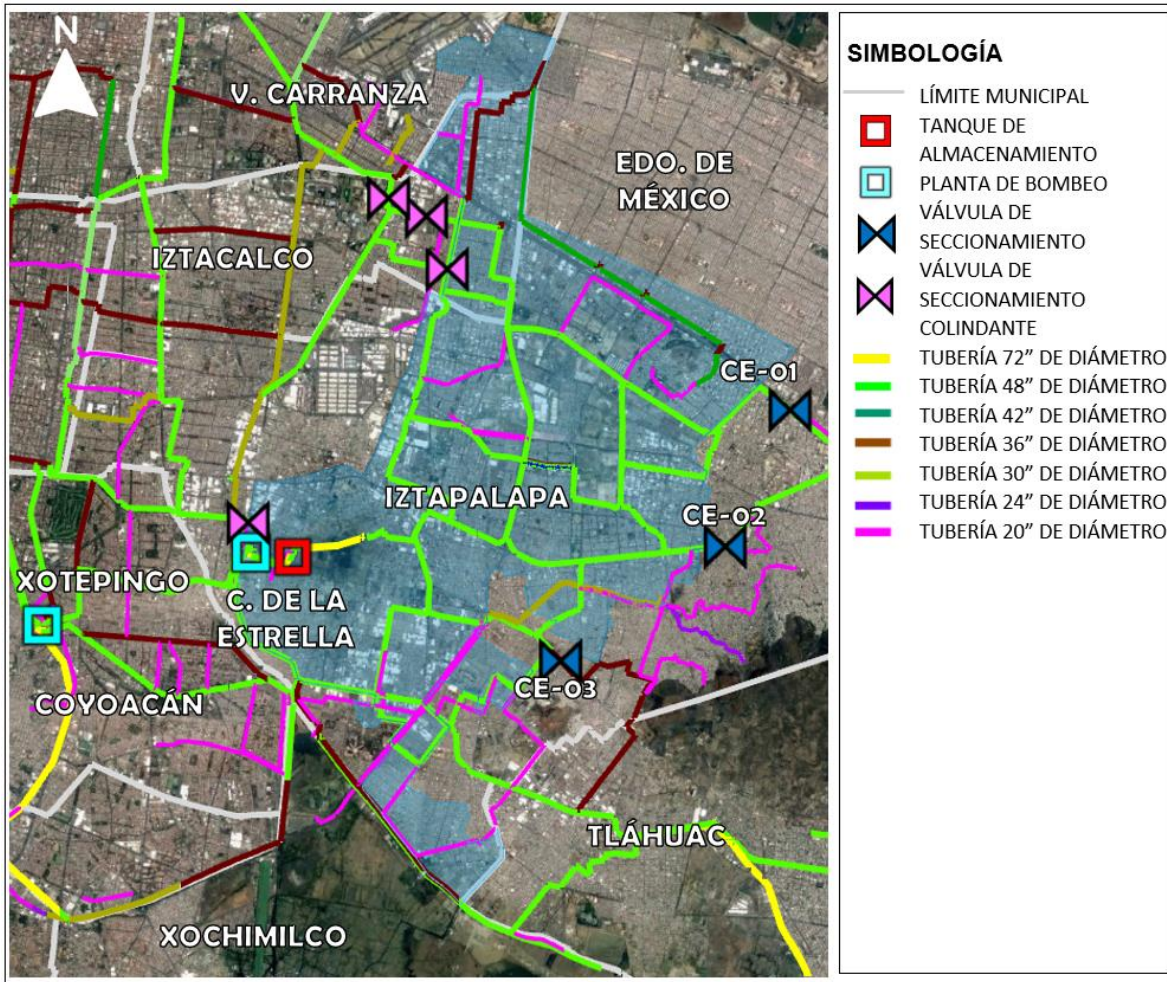
En la **TABLA 6**, se resume el estado y ubicación de las válvulas de seccionamiento sobre la red primaria para la conformación de la nueva zona operativa Molinos.

**TABLA 6 VÁLVULAS LÍMITE DE RED PRIMARIA DE LA ZONA OPERATIVA MOLINOS**

| <b>Sitio</b> | <b>Ubicación</b>   | <b>Diámetro</b> | <b>Tipo de Válvula</b> | <b>Condición Actual</b>   |
|--------------|--|-----------------|------------------------|---|
| MO-1         | División del Norte esquina con Pedro Romero de Terreros (L1-A) | 48"             | Compuerta              | Mal estado inoperable;<br>Se instalarán dos válvulas de mariposa de 36" |
|              | División del Norte esquina con Pedro Romero de Terreros (L1-B) | 20"             | Compuerta              | Buen estado;<br>Estatus: Cerrada totalmente                             |
| MO -2        | Dr. Andrade esquina Viaducto Miguel Alemán                     | 36"             | Mariposa               | <b>Mantenimiento</b>  |
| MO -3        | La Coruña y Marcos Carrillo                                    | 36"             | Compuerta              | Buen estado;<br>Estatus: totalmente abierta                             |
| MO -4        | Calzada de la Viga y Guillermo Prieto                          | 36"             | Mariposa               | Abierta totalmente  |
| MO -5        | Av. Río Churubusco frente al Palacio de los Deportes           | 32"             | Compuerta              | <b>Mantenimiento</b>  |
| MO -6        | Oriente 217 y Sur 6  | 36"             | Mariposa               | Abierta totalmente  |
| MO -7        | Oriente 237 y Sur 8  | 36"             | Mariposa               | Abierta totalmente  |
| MO -8        | Oriente 245 y Sur 20   | 36"             | Mariposa               | Abierta totalmente  |
| MO -9        | Ganaderos y Av. Tláhuac  | 20"             | Compuerta              | <b>Mantenimiento</b>  |
| MO -10       | División del Norte y Héroes del 47                             | 48"             | Guitarrón              | 2 válvulas<br>Cerradas totalmente                                       |
| MO -11       | Av. Río Churubusco y Canal de Miramontes                       | 36"             | Compuerta              | Cerrada totalmente  |
| MO -12       | Av. Universidad entre Hortensia y Minerva                      | 36"             | Compuerta              | Cerrada totalmente  |

## Zona operativa Cerro de la Estrella

La nueva zona operativa Cerro de la Estrella colinda al poniente con la zona Molinos, así las válvulas límite definidas en esta última, serán aprovechadas. Con el objetivo de aislar la parte oriente de la zona Cerro de la Estrella, es necesario seccionar las líneas de red primaria que tienen comunicación con los sistemas de abastecimiento La Caldera y Xaltepec. (ver **FIGURA 43**).



**FIGURA 43 VÁLVULAS LÍMITE DE LA ZONA OPERATIVA CERRO DE LA ESTRELLA.**

Mediante la verificación de infraestructura, se identificaron tres válvulas de seccionamiento existentes, ubicadas en los sitios estratégicos para establecer este límite.

En el cruce de la Calzada Ignacio Zaragoza y la calle Everardo González, en la alcaldía Iztapalapa, sobre una tubería de  $\varnothing=48"$ , existe una válvula de 36" de diámetro de tipo mariposa. En este sitio denominado CE-01, se encontró la válvula completamente cerrada.

Sobre la Avenida Ermita Iztapalapa entre las calles Josefa Ortiz de Domínguez y Belisario Domínguez, en la alcaldía Iztapalapa, se ubica el sitio denominado CE-02, aquí se encuentra instalada una válvula de 36" de diámetro de tipo mariposa, sobre una tubería de 48" de diámetro que recorre Av. Ermita Iztapalapa. Derivado de su operación, se determinó que se encuentra totalmente cerrada.

Con el cierre de ambas válvulas quedan separadas las zonas de influencia del tanque Cerro de la Estrella y del tanque La Caldera.

El sitio CE-03, se encuentra ubicado en el cruce de la Avenida Benito Juárez y la calle Tezozómoc en la alcaldía Iztapalapa, ahí existe una válvula de tipo mariposa de  $\varnothing = 36"$ , sobre una tubería del mismo diámetro. Esta válvula deberá permanecer cerrada. El área operativa del Sacmex confirmó que la válvula no opera correctamente, por lo que deberá ser sometida a trabajos de mantenimiento. Con este seccionamiento quedarán definidas las zonas de influencia del tanque Cerro de la Estrella y del tanque Xaltepec.



*FIGURA 44 VÁLVULAS EXISTENTES ERMITA IZTAPALAPA ENTRE B. DOMÍNGUEZ Y J. O DE DOMÍNGUEZ (IZQ.). B. JUÁREZ Y TEZOZOMOC (DER.).*

En la **TABLA 7**, se resume el estado y ubicación de las válvulas de seccionamiento sobre la red primaria para la conformación de la nueva zona operativa Cerro de la Estrella.



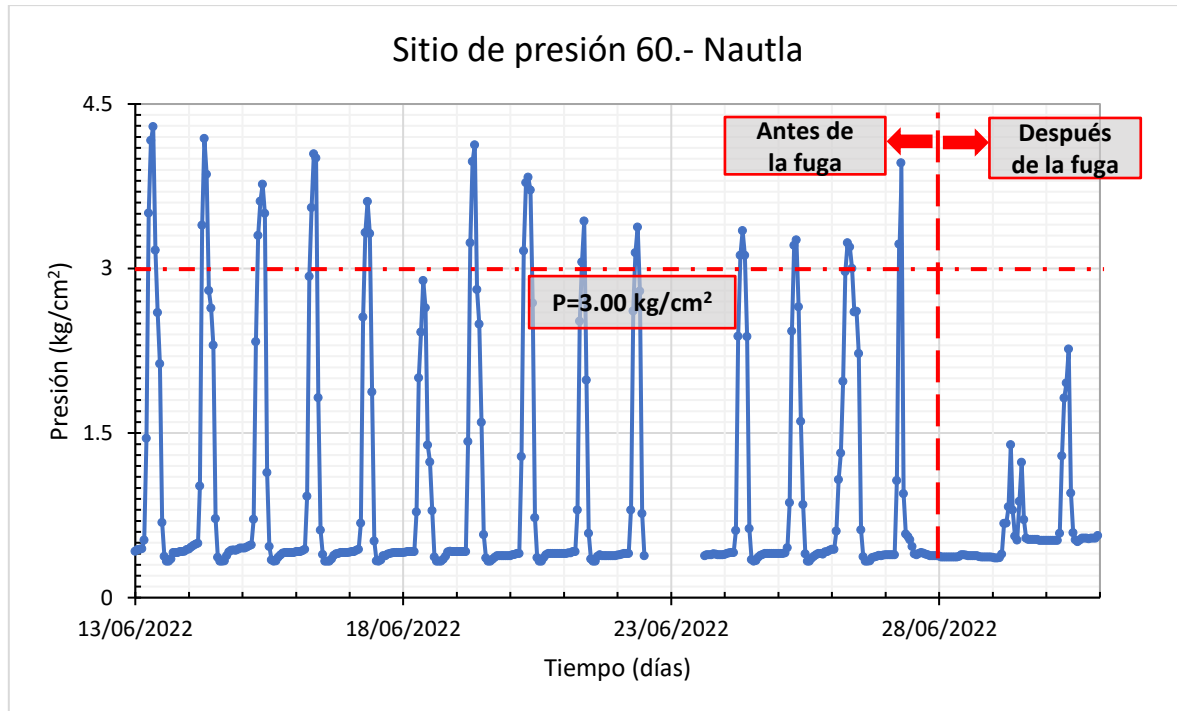
**TABLA 7 VÁLVULAS LÍMITE DE RED PRIMARIA DE LA ZONA OPERATIVA CERRO DE LA ESTRELLA**

| <b>No.</b> | <b>Ubicación</b>  | Diámetro | <b>Tipo De Válvula</b> | <b>Condición Actual</b>       |
|------------|---|----------|------------------------|-------------------------------|
| CE-1       | Calzada Ignacio Zaragoza esquina con Everardo González                      | 36"      | Mariposa               | Totalmente cerrada            |
| CE-2       | Av. Ermita Iztapalapa entre Belisario Domínguez y Josefa Ortiz de Domínguez | 36"      | Mariposa               | Totalmente cerrada            |
| CE-3       | Av. Benito Juárez esquina con Tezozómoc                                     | 36"      | Mariposa               | <b>Requiere mantenimiento</b> |

## Control de presión en red primaria, mediante el uso de actuadores hidráulicos.

El 28 de junio del 2022, se presentó una ruptura en la tubería de red primaria de  $\varnothing=48''$  proveniente del Tanque Cerro de la Estrella, en el cruce de la Av. San Lorenzo y calle Estrella, ocasionando afectaciones a la población, tales como: inundaciones en calles y viviendas cercanas al sitio, así como, suspensión por 24 horas del suministro de agua potable a más de la mitad de la población de la alcaldía Iztapalapa.

Analizando los datos de presión disponible de la base de datos del Sacmex en la estación *60 Nautla*, ubicada a pocos metros del sitio. Se aprecia que las presiones en el sitio alcanzaron picos de  $4.00 \text{ kg/cm}^2$ . (Ver **FIGURA 45**).



**FIGURA 45 COMPORTAMIENTO DE PRESIONES EN EL SITIO DE NAUTLA – 60.**

La capacidad de respuesta del área de fugas del Sacmex para reparar un incidente de tal magnitud fue inmediata y se pudo restablecer el servicio al día siguiente. La reparación de este tipo de fugas requiere de maniobras de grandes dimensiones, maquinaria, herramientas, piezas y mano de obra especializada. (Ver **FIGURA 46**).



*FIGURA 46 REPARACIÓN DE FUGA EN AV. SAN LORENZO Y CALLE ESTRELLA.*

Es importante mencionar que después de la reparación de la fuga, en el mejor de los casos, la red primaria seguirá funcionando de manera habitual, pero considerando la antigüedad de las tuberías y las condiciones del suelo blando, con hundimientos de hasta 30 cm/año y siendo una zona sísmica, el deterioro en toda la red primaria de la ciudad de México es inminente. Si a lo anterior le agregamos que existen zonas en donde los desniveles topográficos entre las fuentes de abastecimiento y sus zonas de influencia alcanzan los 70 m, la red primaria está expuesta a altas presiones. Aunque las tuberías de concreto presforzado de la red primaria son de tipo Lock-Joint con capacidad de carga de 10 Kg/cm<sup>2</sup>, por las condiciones actuales de la red es muy importante evitar que las máximas sean mayores que 3 Kg/cm<sup>2</sup>.

Actualmente el área operativa de Sacmex controla presiones con algunas válvulas de compuerta sobre la red primaria, pero estas no son adecuadas para este fin. Es necesario acondicionar a la red primaria con sitios para controlar las altas presiones, con equipos adecuados. Para lograrlo, se plantea utilizar los actuadores hidráulicos sobre válvulas de mariposa.

Para controlar presiones sobre la red primaria, existen varios dispositivos que van desde, la construcción de cajas rompedoras de presión, que no son más que un recipiente que devuelve al fluido la presión atmosférica para posteriormente alimentar a otra parte de la red, aunque también existen en el mercado válvulas reguladoras de presión, cuyas dimensiones y costos son muy considerables, al hablar de diámetros mayores a 20". En años recientes surge la opción de un equipo diseñado para dar respuesta a esta necesidad de operación, con un sistema adaptable a cualquier tipo de válvula de mariposa, que permite la automatización de procesos de apertura y cierre, así como de adecuación de condiciones de presión en red, sin modificar la instalación.

El actuador hidráulico es un dispositivo que actúa sobre las válvulas de mariposa permitiendo la apertura y el cierre al funcionar a partir de la presión de la red, es decir, no requiere de un suministro externo de energía. Dichos dispositivos, dada su simplicidad de funcionamiento, pueden ser utilizados para distintas funciones:

- Apertura o Cierre: busca la apertura o cierre completo de la válvula en un momento preciso.
- Sostenedora de presión: este sistema, se utiliza para mantener una presión definida como optima, en una red, aguas arriba de la válvula.
- Regulación de presión: sistema regulación de presión, se utiliza para consolidar una presión determinada aguas abajo de la válvula. Puede ser permanente o acotada en ciertos horarios. Existe también, el llamado "Sistema de regulación de presiones de doble consigna", el cual se utiliza para obtener una presión durante el día, y reducirla por la noche para reducir el volumen de pérdidas. Para este sistema se utiliza un programador que varía la presión en los horarios que se requiera.



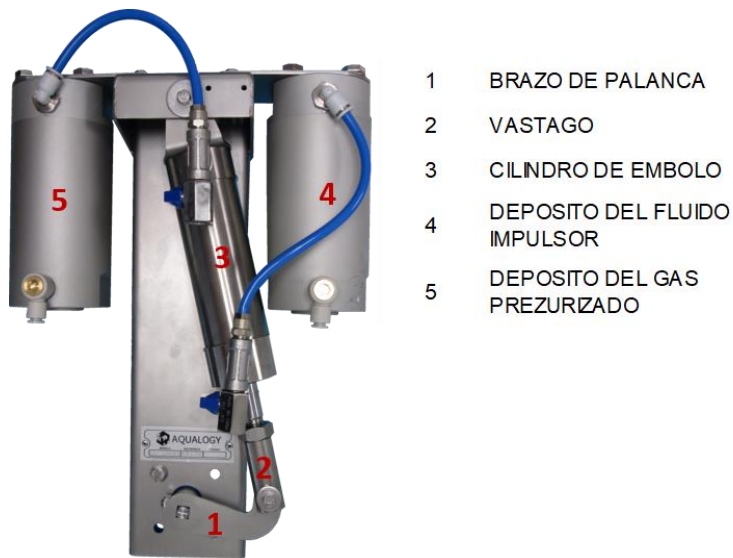
**FIGURA 47 INSTALACIÓN DE ACTUADORES HIDRÁULICOS SOBRE VÁLVULAS DE MARIPOSA.**

El actuador hidráulico está compuesto por un brazo de palanca inferior instalado en el actuador de la válvula de mariposa, conectado al vástago de un cilindro de émbolo y de doble efecto, de forma que el desplazamiento lineal del émbolo, y por ende del vástago, en una dirección u otra provocará el giro del brazo de palanca en un sentido u otro, maniobrando la válvula para su apertura o cierre.

La cámara del cilindro cuya presión actúa sobre el vástago para desplazarlo en el sentido de cierre de la válvula comunica con una cavidad expandible que contiene el fluido impulsor, el cual puede ser aceite. Esta cavidad expandible está alojada en un depósito rígido, conectado a la tubería y por tanto lleno de agua a una presión cuyo valor vendrá impuesto por la presión del agua que circule en ese instante por el tramo de la tubería al que esté conectado el depósito.

Mientras que la cámara del cilindro cuya presión actúa sobre el émbolo para desplazar el vástago en el sentido de apertura de la válvula está conectada a otro depósito que funciona como un acumulador de energía en forma de gas presurizado a una presión  $P_0$  predeterminada, comprendiendo el sistema los medios para regular dicha presión  $P_0$  determinada. El gas empleado como fuente de potencia puede ser por ejemplo gas Nitrógeno.

El cilindro hidráulico está dimensionado para que en el momento de la inmediata apertura o cierre sea el instante en el que mayor fuerza se ejerza sobre la válvula. Para ello, el brazo de palanca inferior ejerce una fuerza normal a la orientación del cilindro en dicho instante.



**FIGURA 48 ELEMENTOS DEL ACTUADOR HIDRÁULICO.**

El actuador hidráulico está fabricado con un acero que se caracteriza por tener un alto grado de ductilidad, formalidad y tenacidad, este acero recibe el nombre de AISI 304 L, gracias a esto, el dispositivo brinda una gran resistencia a la oxidación y un alto límite elástico.

Algunas de las ventajas que trae consigo la implementación de los actuadores hidráulicos son las siguientes:

- Utiliza la presión de la red de distribución como energía, evitando así el uso de energía externa.
- Es válido para cualquier diámetro de válvula.
- Instalación rápida y sencilla
- Equipo accesible
- Bajo mantenimiento
- Se puede mantener la operatividad en estado de inundación.
- Es posible maniobrar las válvulas a distancia, reduciendo así la necesidad de acceder a sitios o espacios muy confinados.
- Se puede regular la velocidad en que se realiza el cierre o apertura de válvulas.
- Posicionamiento preciso
- Son aptos para aguas agresivas dada su construcción con materiales resistentes a la corrosión, duraderos.

- El sistema de instalación es flexible y adaptable al espacio que se tiene disponible, permitiendo así su montaje en cajas existentes.
- Amplio rango de velocidad
- Respuesta de frecuencia
- Desempeño suave a bajas velocidades
- Mayor fuerza

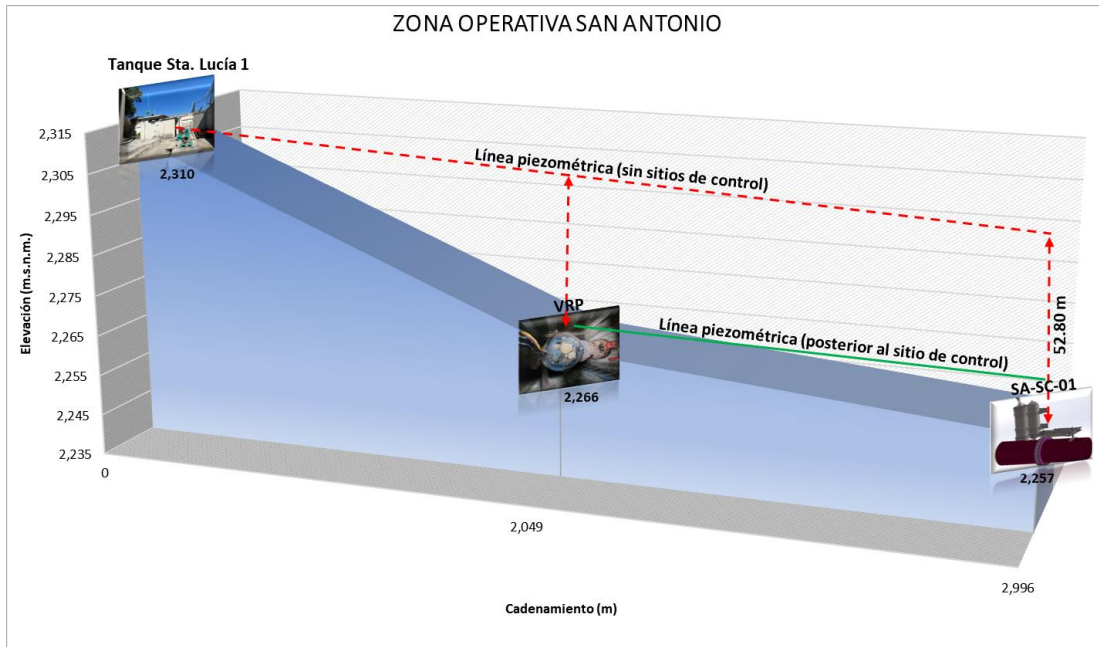
Tomando en cuenta las ventajas que representa la instalación de estos sistemas respecto a las válvulas reguladoras de presión convencionales, serán estos los dispositivos para el control de presiones, que se emplearán sobre la red primaria de las zonas operativas.

#### Sitios de control con operativa San Antonio

El principal objetivo de los sitios de control es disminuir las presiones a las que se encuentran expuestas las tuberías de red primaria a través de la instalación de los actuadores hidráulicos, de esta manera se prevé reducir las fugas y mejorar el suministro de agua potable.

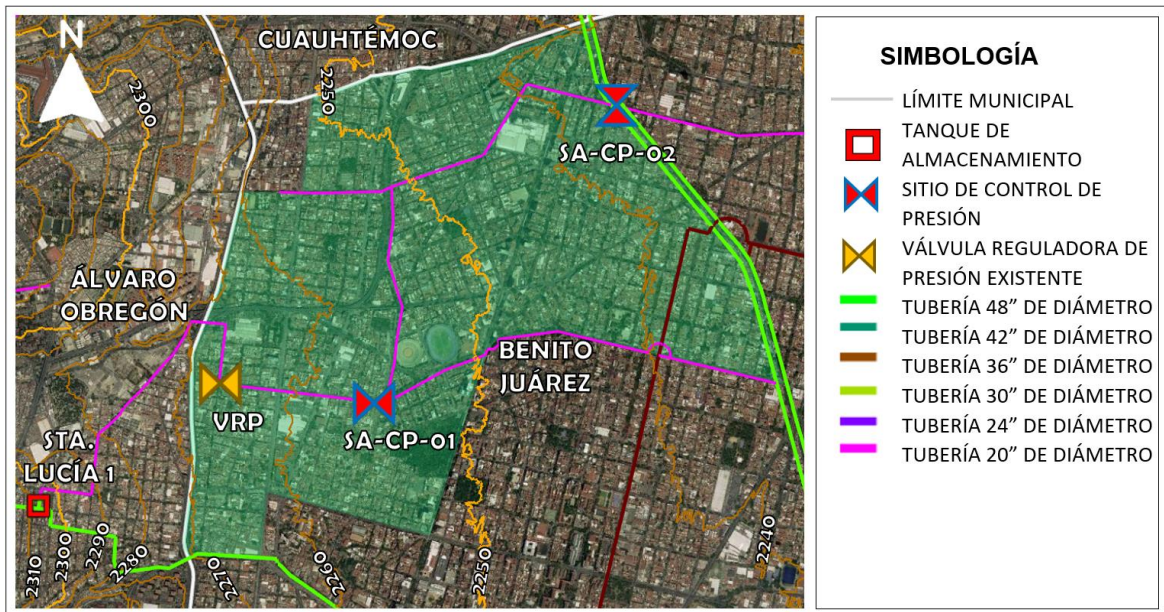
La zona operativa San Antonio es abastecida por el Tanque Santa Lucía 1, a través de una tubería de  $\varnothing=20"$ , el tanque se ubica en la cota 2,314 m.s.n.m. y la parte más baja de toda la zona en la cota 2,240 m.s.n.m., teniendo un desnivel aproximado de 74 m.

Del análisis hidráulico se concluye la necesidad de contar con dos sitios de control en esta zona operativa, actualmente en la zona existe un sitio de regulación de presión sobre la red primaria, por lo que solo se deberá instalar un nuevo sitio. En la **FIGURA 49**, se muestra el perfil de elevaciones entre el Tanque Santa Lucía 1 y los sitios de control propuestos.



**FIGURA 49 PERFIL DE ELEVACIONES SITIOS DE CONTROL EN LA ZONA OPERATIVA SAN ANTONIO**

En la **FIGURA 50**, se muestra la ubicación en planta de los elementos para el control de presiones que componen la zona operativa San Antonio, con las curvas de nivel del terreno por la cuales se puede visualizar las elevaciones a las que se encuentra cada estructura. A continuación, se describen las condiciones existentes de cada sitio de presiones.



**FIGURA 50 TOPOGRAFÍA SITIOS DE CONTROL ZONA SAN ANTONIO.**



El sitio de control VRP existente, está ubicado en la elevación 2,266 m.s.n.m. y conforme a la trayectoria de la tubería de  $\varnothing=20''$  procedente de una de las salidas del Tanque Santa Lucía 1, se ubica en la calle Rembrandt esquina con Leonardo Da Vinci, en la Alcaldía Benito Juárez. En este sitio existe una válvula reguladora de presión de  $\varnothing=20''$ . El área operativa del Sacmex confirmó que la válvula opera correctamente, por lo tanto, este sitio de control no sufrirá modificaciones.



*FIGURA 51 UBICACIÓN DEL SITIO V.R.P. EXISTENTE.*

El sitio de control SA-CP-01, está definido en la elevación 2,257 m.s.n.m. y conforme a la misma trayectoria de la tubería de  $\varnothing=20''$  mencionada anteriormente, se definió la ubicación en el cruce de las calles Holbein y Augusto Rodín en la alcaldía Benito Juárez. En el sitio se logró ubicar la tubería referida, sin embargo, no existe una válvula de seccionamiento sobre la red primaria, por lo que será necesario, construir una caja nueva que cumpla con las dimensiones necesarias para poder instalar una válvula de mariposa nueva de  $\varnothing=20''$  y el actuador hidráulico. Esta estructura tendrá la función de controlar presiones.



**FIGURA 52 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL SA-CP-01 ZONA SAN ANTONIO**

En el cruce de las calles División del Norte y P. Romero de Terreros en la alcaldía Benito Juárez, en la elevación 2,236 m.s.n.m. y sobre la tubería de  $\text{Ø}=20''$ , se ubica otro sitio de control existente en el cual existe una derivación de  $20''$  a  $8''$  de diámetro, con un actuador hidráulico instalado sobre una válvula de mariposa de  $\text{Ø}=6''$ . Esta estructura opera como una válvula sostenedora de presión y su función es de suma importancia ya que en las horas en que baja el consumo, se incrementa la presión dentro de la zona operativa San Antonio, es entonces que el actuador hidráulico opera, permitiendo el flujo de los gastos excedentes de pozos hacia otra zona.



**FIGURA 53 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL SA-SC-03 ZONA SAN ANTONIO**

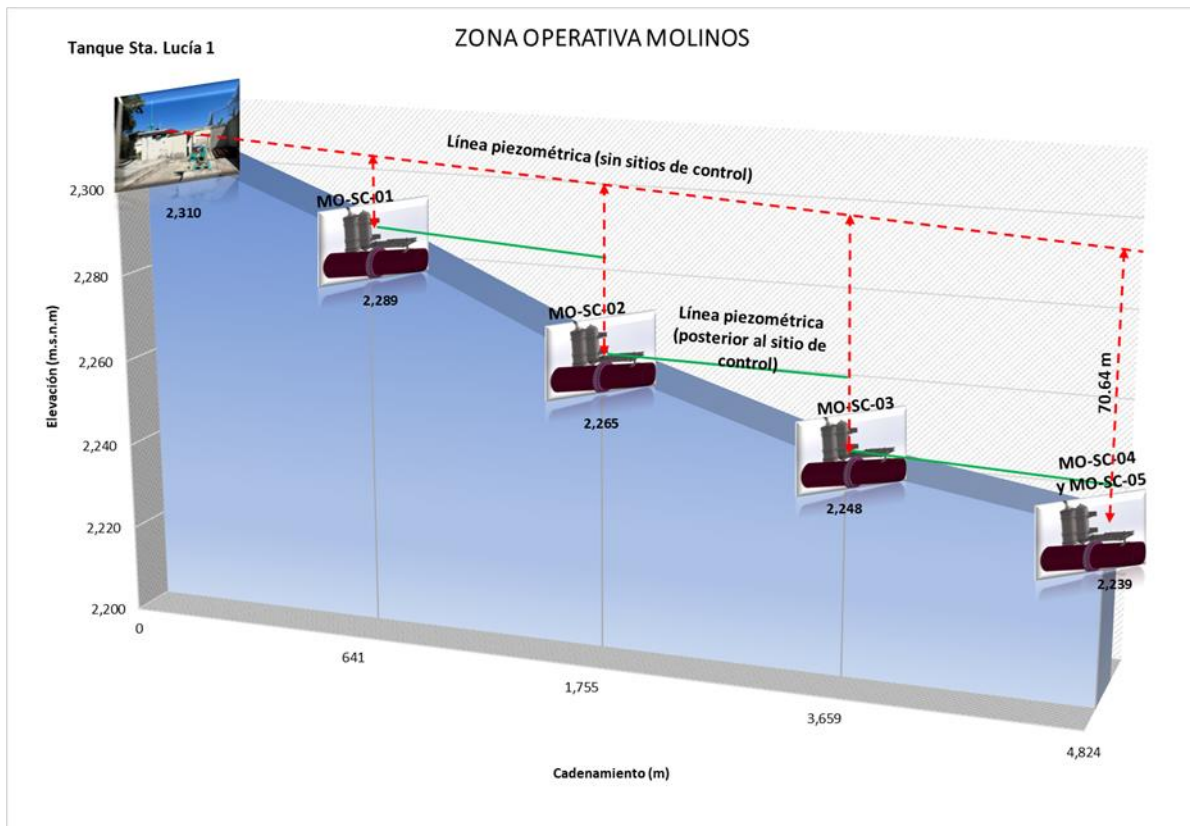
**TABLA 8 RESUMEN ESTATUS DE CONDICIONES ACTUALES EN SITIOS DE CONTROL PROPUESTOS EN ZONA SAN ANTONIO**

| Sitio         | Ubicación                              | Tipo                   | Dictamen   |
|---------------|--|------------------------|--|
| VRP Existente | Rembrandt y Leonardo Da Vinci          | Reductora de presión   | Válvula reguladora de presión de Ø=20", (Existente)                                  |
| SA-CP-01      | Holbein y Augusto Rodin                | Reductora de presión   | Construcción de caja, Instalación de Válvula de Mariposa Ø=20" y Actuador Hidráulico |
| SA-CP-02      | Div. Del Norte y P. Romero de Terreros | Sostenedora de presión | Actuador hidráulico instalado en válvula de mariposa de Ø=6", (Existente)            |

#### Sitios de control zona operativa Molinos

La fuente de abastecimiento de la Zona Operativa Molinos es el Tanque Santa Lucía 1, mediante una tubería de Ø=48", el tanque se encuentra a una elevación de 2,314 m.s.n.m. y la parte más baja de toda la zona en la cota 2,229 m.s.n.m., teniendo un desnivel máximo de 85 m.

Del análisis hidráulico se concluye la necesidad de instalar 6 sitios de control sobre la red primaria, 5 para controlar presiones y 1 para sostener presión. En la **FIGURA 54**, se muestra el perfil de elevaciones entre el Tanque Santa Lucía 1 y los sitios de control de presión propuestos.



**FIGURA 54 PERFIL DE ELEVACIONES SITIOS DE CONTROL EN ZONA OPERATIVA MOLINOS.**

En la **FIGURA 55**, se muestra la ubicación en planta de los seis sitios de control en la zona operativa Molinos, también se muestran las curvas de nivel de terreno, con las cuales se observa la elevación a las que se encuentra cada estructura. A continuación, se describen las condiciones actuales de cada sitio de control.

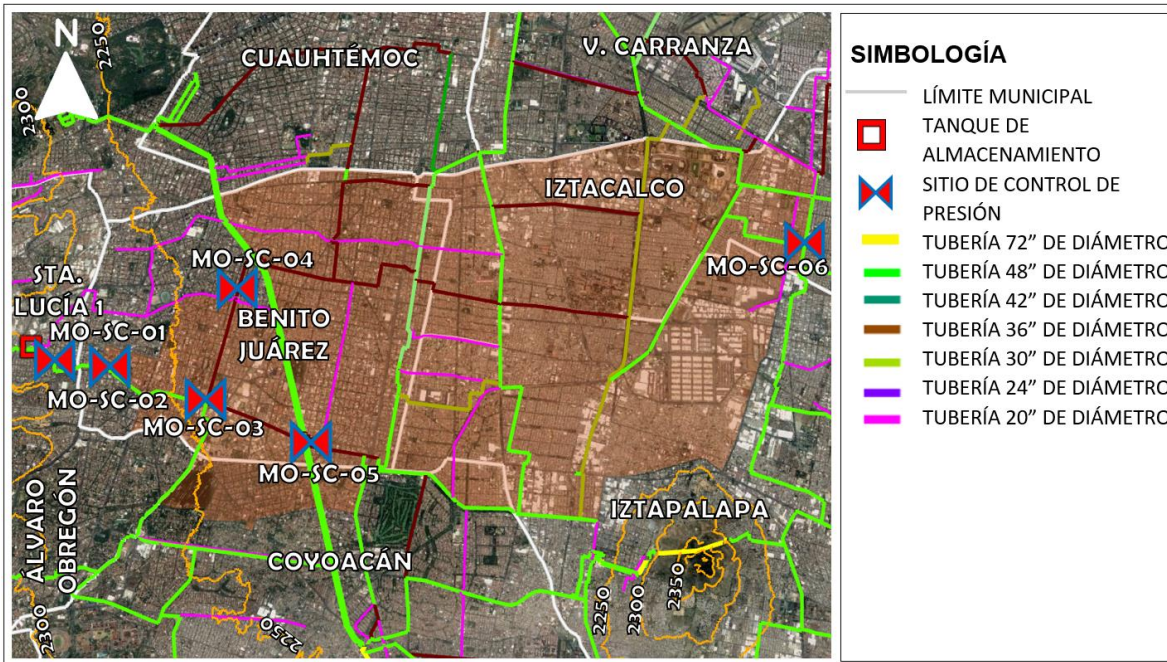


FIGURA 55 UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE CONTROL ZONA MOLINOS

El sitio de control MO-SC-01, se ubica en la elevación 2,289 m.s.n.m. y de acuerdo a la trayectoria de la tubería de  $\varnothing=48''$  que sale del tanque Santa Lucía, la estructura quedará ubicada en el cruce de la avenida Del Rosal y la calle Rosa de Fuego, en la alcaldía Álvaro Obregón. En este sitio no existe una válvula de seccionamiento sobre la red primaria, por lo que será necesario, construir una caja nueva que cumpla con las dimensiones necesarias para poder instalar una válvula de mariposa nueva de  $\varnothing=48''$  y el actuador hidráulico. Esta estructura tendrá la función de controlar presiones.



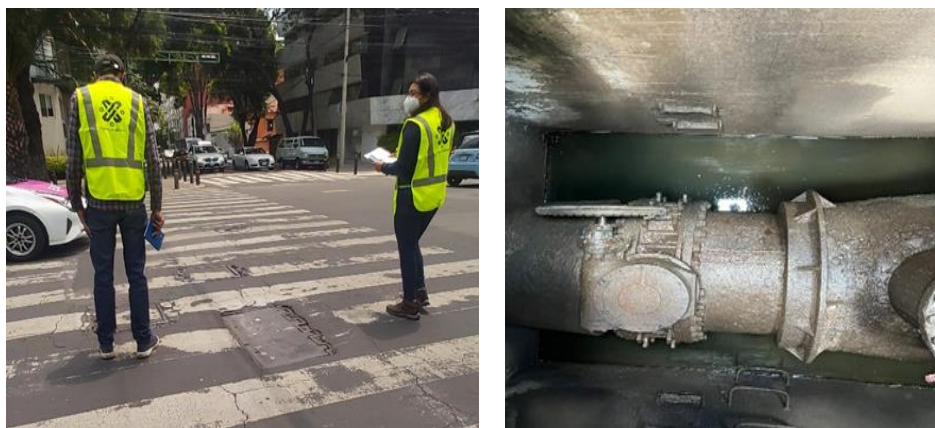
FIGURA 56 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL MO-SC-01 ZONA MOLINOS

El sitio de control MO-SC-02, se ubica en el cruce de Av. Mixcoac y Av. Patriotismo, en la Alcaldía Benito Juárez, a la elevación 2,265 m.s.n.m., en este sitio se localizó la tubería de la red primaria con una válvula de tipo mariposa de  $\text{Ø}=36''$ . La válvula existente es muy antigua y no ópera correctamente, por lo que deberá ser sustituida por una válvula de mariposa nueva de  $\text{Ø}=36''$ , se instalará el actuador hidráulico y se rehabilitará la caja de modo que cumpla con las dimensiones necesarias para poder instalar dichas piezas. Este sitio tendrá la función de controlar presiones.



**FIGURA 57 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL MO-SC-02 ZONA MOLINOS**

El sitio de control de MO-SC-03, se ubica en la cota 2,248 m.s.n.m., en el cruce de la calle Amores y Av. José María Rico (Eje 8), en la Alcaldía Benito Juárez. En este sitio se localizó la tubería referida con una válvula del tipo mariposa de  $\text{Ø}=36''$ . Para garantizar el funcionamiento de este sitio, se deberá sustituir la válvula citada, por una válvula de mariposa nueva  $\text{Ø}=36''$  y se instalará el actuador hidráulico. Esta estructura tendrá la función de controlar presiones.



**FIGURA 58 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL MO-SC-03 ZONA MOLINOS**

El sitio de control de MO-SC-04, se ubica en la cota de terreno 2,234 m.s.n.m., en el cruce de las calles Amores y San Borja, en la Alcaldía Benito Juárez. En este sitio se localizó sobre la red primaria una válvula del tipo compuerta de  $\text{Ø}=36''$ . Para poder implementar el sitio de control, se deberá sustituir la válvula de compuerta por una válvula nueva de mariposa  $\text{Ø}=36''$ , se instalará el actuador hidráulico y se rehabilitará la caja de modo que cumpla con las dimensiones necesarias para la instalación de todas las piezas. Este sitio servirá para controlar presiones.



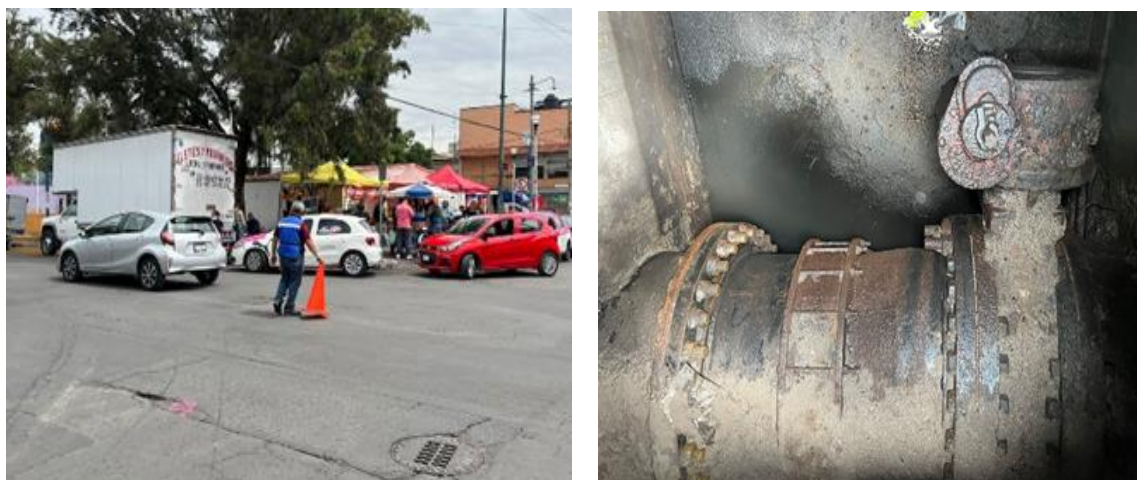
**FIGURA 59 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL MO-SC-04 ZONA MOLINOS**

El sitio de control MO-SC-05, se ubica en el cruce de las calles Sevilla y Nevado, en la Alcaldía Benito Juárez, a la elevación 2,238 m.s.n.m. En este sitio se localizó sobre la red primaria una válvula del tipo compuerta de  $\text{Ø}=36''$ . Para poder implementar el sitio de control, se deberá sustituir la válvula de compuerta por una válvula nueva de mariposa  $\text{Ø}=36''$  y se instalará el actuador hidráulico. Esta estructura tendrá la función de controlar presiones



**FIGURA 60 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL MO-SC-05 ZONA MOLINOS**

El sitio MO-SC-06, se ubica en el cruce de las calles Oriente 245 y Sur 20, en la alcaldía Iztacalco, en la elevación 2,228 m.s.n.m., al oriente de la zona operativa Molinos. En este sitio se localizó sobre la red primaria una válvula de mariposa de Ø=36". Se deberá sustituir la válvula existente por una válvula de mariposa del mismo diámetro y se instalará el actuador hidráulico. Esta estructura funcionará como una sostenedora de presión, manteniendo una presión adecuada dentro de la zona operativa Molinos en las horas en que esta se incrementa por la disminución en los consumos, además permitirá el flujo de los gastos excedentes de pozos hacia la zona operativa Cerro de la Estrella.



**FIGURA 61 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL MO-SC-06 ZONA MOLINOS.**

**TABLA 9 RESUMEN DE ACTUADORES HIDRÁULICOS EN LA ZONA OPERATIVA MOLINOS.**

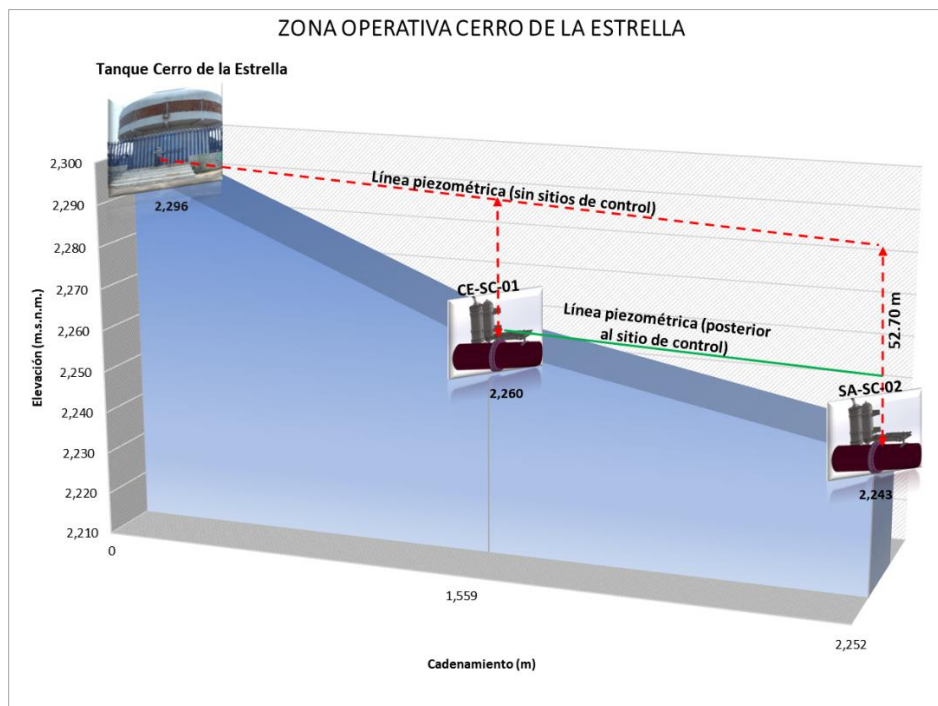
|          | <b>Ubicación</b>          | <b>Tipo</b>            | <b>Dictamen</b>  |
|----------|---------------------------|------------------------|--|
| MO-SC-01 | Rosa de fuego y Rosal     | Reductora de presión   | Construcción de caja de válvulas, Instalación de Válvula de Mariposa Ø=48" y Actuador Hidráulico   |
| MO-SC-02 | Río Mixcoac y Patriotismo | Reductora de presión   | Rehabilitación de caja de válvulas, Instalación de Válvula de Mariposa Ø=36" y Actuador Hidráulico |
| MO-SC-03 | Amores y José Ma. Rico    | Reductora de presión   | Instalación de Válvula de Mariposa Ø=36" y Actuador Hidráulico                                     |
| MO-SC-04 | Amores y San Borja        | Reductora de presión   | Rehabilitación de caja de válvulas, Instalación de Válvula de Mariposa Ø=36" y Actuador Hidráulico |
| MO-SC-05 | Sevilla y Nevado          | Reductora de presión   | Instalación de Válvula de Mariposa Ø=36" y Actuador Hidráulico                                     |
| MO-SC-06 | Oriente 245 y Sur 20      | Sostenedora de presión | Instalación de Válvula de Mariposa Ø=36" y Actuador Hidráulico                                     |



## Sitios de control zona operativa Cerro de la Estrella

La fuente de abastecimiento de la Zona Operativa Cerro de la Estrella es el tanque con el mismo nombre, a través de un túnel de  $\text{Ø}=72''$  de diámetro que durante su trayectoria cambia a  $48''$ , el tanque se encuentra en la elevación de 2,296 m.s.n.m. y la parte más baja de la zona operativa está en la cota 2,225 m.s.n.m., teniendo un desnivel máximo de 71 m.

A partir del análisis hidráulico se concluye la necesidad de instalar 2 sitios de control sobre la red primaria. En la **FIGURA 62**, se muestra el perfil de elevaciones entre el Tanque Cerro de la Estrella y los sitios de control de presión propuestos.



**FIGURA 62 PERFIL DE ELEVACIONES SITIOS DE CONTROL EN ZONA CERRO DE LA ESTRELLA**

En la **FIGURA 63**, se muestra la ubicación de los elementos para el control de presiones que componen la zona operativa Cerro de la Estrella, con las curvas de nivel del terreno por las que se puede visualizar las elevaciones a las que se encuentra cada estructura. A continuación, se describen las condiciones existentes de cada sitio de presiones.

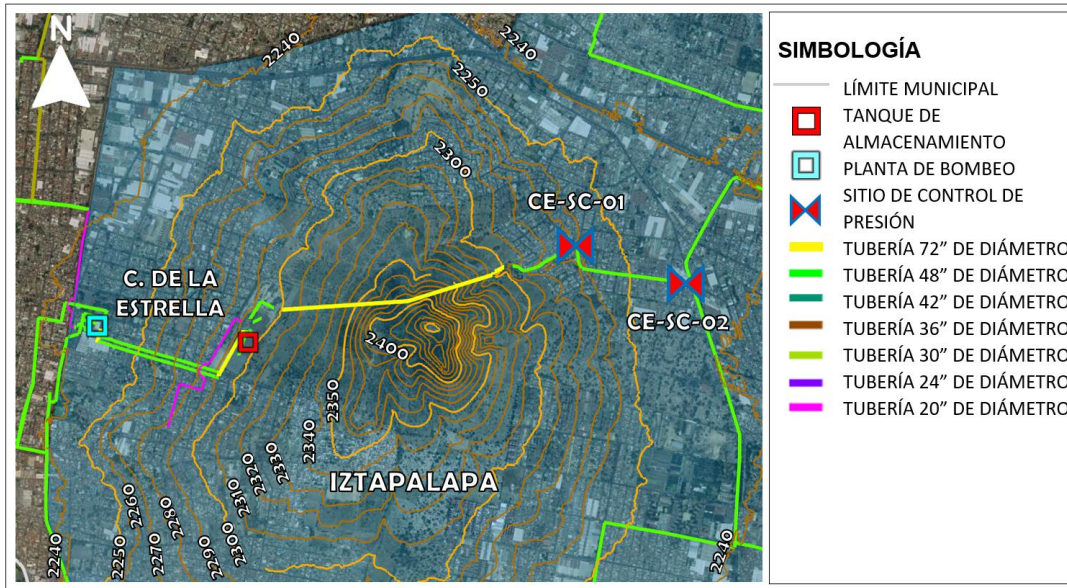


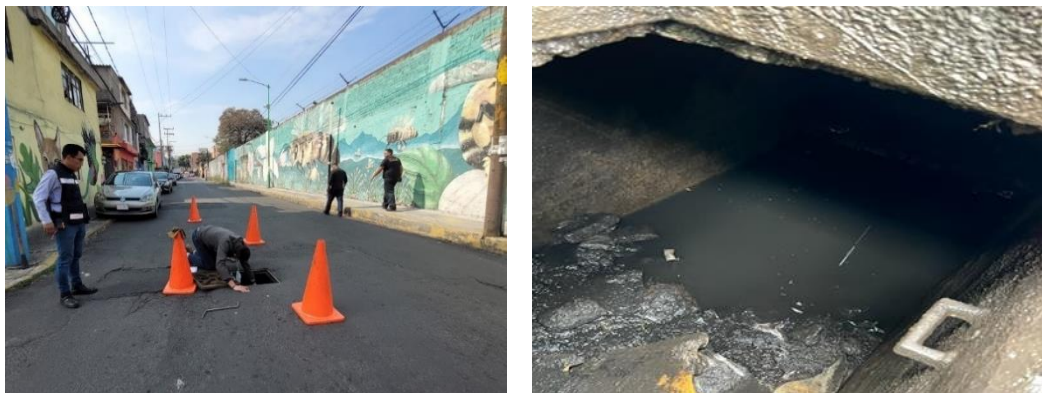
FIGURA 63 TOPOGRAFÍA SITIOS DE CONTROL ZONA CERRO DE LA ESTRELLA.

El sitio de control CE-SC-01, se ubicará en la cota 2,260 m.s.n.m. y de acuerdo al trazo de la tubería de  $\varnothing=48''$  proveniente del Tanque Cerro de la Estrella, se definió en el cruce de las calles Estrella y Aloe, en la alcaldía Iztapalapa. En el sitio se logró ubicar la tubería descrita, sin embargo, no existe una válvula de seccionamiento sobre la red primaria, por lo que será necesario, construir una caja nueva que cumpla con las dimensiones necesarias para poder instalar una válvula de mariposa nueva de  $\varnothing=48''$  de diámetro y el actuador hidráulico. Esta estructura tendrá la función de controlar presiones.



FIGURA 64 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL CE-SC-01 ZONA CERRO DE LA ESTRELLA.

El sitio de control de CE-SC-02, se ubicará en la elevación 2,243 m.s.n.m., en Privada Germanio entre las calles Tungsteno y Uranio, en la alcaldía Iztapalapa. En este sitio no existe una válvula de seccionamiento sobre la red primaria, por lo que será necesario, construir una caja nueva que cumpla con las dimensiones necesarias para poder instalar una válvula de mariposa de Ø=48" y el actuador hidráulico. Esta estructura tendrá la función de controlar presiones.



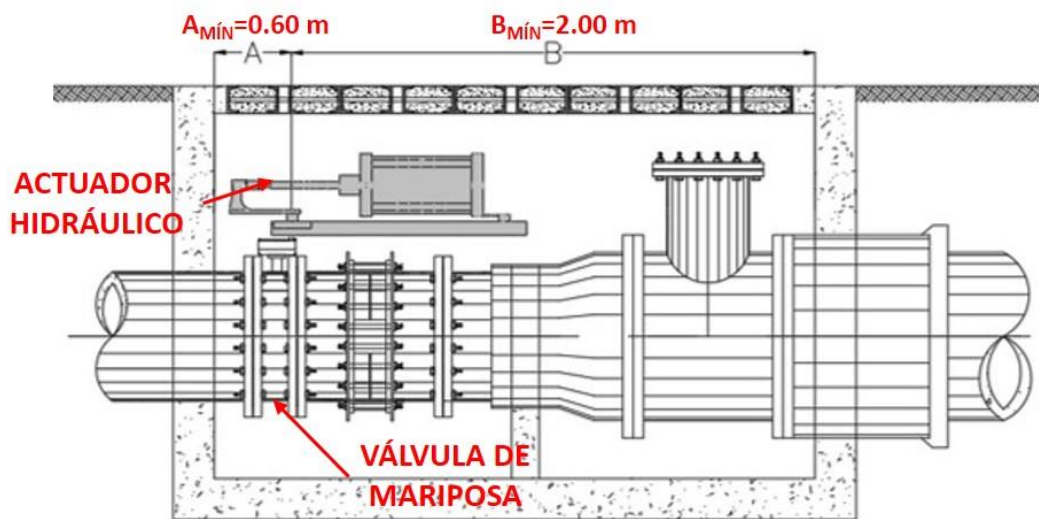
**FIGURA 65 UBICACIÓN DEL SITIO DE CONTROL CE-SC-02 ZONA CERRO DE LA ESTRELLA.**

**TABLA 10 RESUMEN ESTATUS DE CONDICIONES ACTUALES EN SITIOS DE CONTROL PROPUESTOS EN ZONA CERRO DE LA ESTRELLA.**

|          | <b>Ubicación</b>                        | <b>Tipo</b>          | <b>Dictamen</b>  |
|----------|---|----------------------|--|
| CE-SC-01 | Estrella y Aloe                         | Reductora de presión | Construcción de caja de válvulas, Instalación de Válvula de Mariposa Ø=48" y Actuador Hidráulico |
| CE-SC-02 | Priv. Germanio entre Tungsteno y Uranio | Reductora de presión | Construcción de caja de válvulas, Instalación de Válvula de Mariposa Ø=48" y Actuador Hidráulico |

## OBRAS REQUERIDAS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS ACTUADORES HIDRAULICOS

Para la instalación de los actuadores hidráulicos de proyecto sobre la red primaria, será necesario acondicionar los sitios definidos, ya que las dimensiones de los actuadores requieren de ciertos espacios mínimos dentro de las cajas de válvulas para su correcta instalación y buen funcionamiento. Como se muestra en la **FIGURA 66**, la dimensión longitudinal de la caja de válvulas cuando menos debe tener  $A=0.60$  m del eje de la válvula de mariposa hacia uno de los muros y  $B=2.00$  m del eje hacia el muro contrario.



**FIGURA 66 CAJAS DE VALVULAS PARA ALOJAR ACTUADOR HIDRÁULICO.**

En los sitios, donde las cajas existentes no cumplen con las dimensiones requeridas, se construirán cajas de válvulas nuevas, donde no existe válvula de mariposa sobre la red primaria se deberá instalar válvula nueva, además de toda la fontanería necesaria y en caso de existir válvulas de compuerta o de mariposa, estas deberán ser sustituidas por válvulas de mariposa nuevas.

Una vez realizada la inspección física de cada sitio de control, se definieron las obras requeridas para poder instalar los actuadores hidráulicos sobre la red primaria, en la **TABLA 11** se muestra las necesidades para cada sitio en particular.

TABLA 11 NECESIDADES PARA ACTUADORES EN RED PRIMARIA

| No. | ZONA OPERATIVA       | UBICACIÓN                      | OBRAS REQUERIDAS                 |   |
|-----|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|---|
|     |                      |                                | CAJAS                            | VÁLVULAS  |
| 1   | Molinos              | Av. Amores y José María Rico   | Caja existente                   | Sustitución válvula de mariposa Ø=36"               |
| 2   |                      | Calle Sevilla y Calle Nevado   | Caja existente                   | Sustitución válvula de compuerta por mariposa Ø=36" |
| 3   |                      | Av. Amores y Calle San Borja   | Rehabilitación de caja existente | Sustitución válvula de compuerta por mariposa Ø=36" |
| 4   |                      | Ote. 245 y Sur 20              | Caja existente                   | Sustitución válvula de mariposa Ø=36"               |
| 5   |                      | Av. Río Mixcoac y Patriotismo  | Rehabilitación de caja existente | Sustitución válvula de mariposa Ø=36"               |
| 6   |                      | Rosa de Fuego y Av. Del Rosal  | Caja de proyecto                 | Instalación válvula de mariposa ø=36"               |
| 7   | Cerro de la Estrella | Av. Germanio y Av. San Lorenzo | Caja de proyecto                 | Instalación válvula de mariposa ø=48"               |
| 8   |                      | Cjon. Estrella y Calle Aloe    | Caja de proyecto                 | Instalación válvula de mariposa ø=48"               |
| 9   | San Antonio          | Holbein y Augusto Rodin        | Caja de proyecto                 | Instalación válvula de mariposa ø=20"               |

#### Cajas de válvulas sobre la red primaria

Las cajas de válvulas sobre la red primaria normalmente se construyen enterradas. Las dimensiones de la caja deberán definirse considerando un espacio que permita el acceso y libertad de movimiento para la instalación, operación y remoción de válvulas y accesorios, así como manipular libremente cualquier herramienta de trabajo. Además, cuando exista la necesidad de alojar piezas especiales la caja deberá tener las dimensiones requeridas de acuerdo con las dimensiones y necesidades de los equipos o elementos a alojar.

#### Consideraciones para la construcción

La construcción de cajas, el acero de refuerzo, la resistencia del concreto y los espesores; deben definirse con base en el análisis de cargas vivas por paso vehicular y por la reacción del terreno, además deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

La losa de cimentación o losa de fondo será de concreto reforzado, antes de su construcción deberá colocarse una plantilla de 5 cm de espesor de concreto simple  $f'_c=100 \text{ kg/cm}^2$ .

Los muros se construyen enterrados, pueden ser de concreto o mampostería, esta última debe ser reforzada de acuerdo con las especificaciones constructivas.

Se debe evitar que las paredes del muro, perpendiculares a la conducción, hagan contacto con el perímetro exterior del tubo, manteniendo una separación de 2 cm; este espacio se debe rellenar con material comprimible.

Las cajas deben estar provistas de una escalera tipo 'marina'; el primer escalón debe estar una distancia de 400 a 500 mm de la parte superior de la tapa, debe mantener un paso de 300 mm y una separación del muro de 150mm.

Piso. El piso de la caja debe tener una inclinación de dos por ciento de tal forma que su pendiente sea en dirección del registro de acceso, donde se hará una depresión (caja de achique) de 400 x 400 mm por lado y 150 mm de profundidad, cubierta con una rejilla metálica que permita la extracción del agua mediante una bomba o de forma manual en caso de inundación.

Silletas. Las válvulas deberán estar apoyadas en silletas, las cuales pueden construirse de acero o de concreto reforzado. El diseño del apoyo debe ser de tal forma que no interfiera con la remoción o instalación de los tornillos del elemento de conexión.

Losa. La losa puede diseñarse en módulos móviles o una losa maciza con una tapa móvil; el dimensionamiento del peralte y el acero de refuerzo deben efectuarse con base en el análisis de cargas vivas por paso de vehículos.

#### Válvulas de mariposa

Una válvula de mariposa es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada "mariposa", que gira sobre un eje, la operación puede ser manual, semiautomática o automática, mediante dispositivos neumáticos, hidráulicos o eléctricos.

El diseño hidrodinámico de las válvulas de mariposa permite emplearla como reguladora de gasto, a diferencia de las válvulas de compuerta que están diseñadas propiamente para ser operadas cuando se requiera un cierre o abertura total, y no se recomienda para usarse como reguladora de gasto.

La válvula de mariposa puede sustituir a la de compuerta cuando se tienen diámetros grandes y presiones bajas en la línea. Tienen la ventaja de ser más ligeras, de menor tamaño y más baratas.

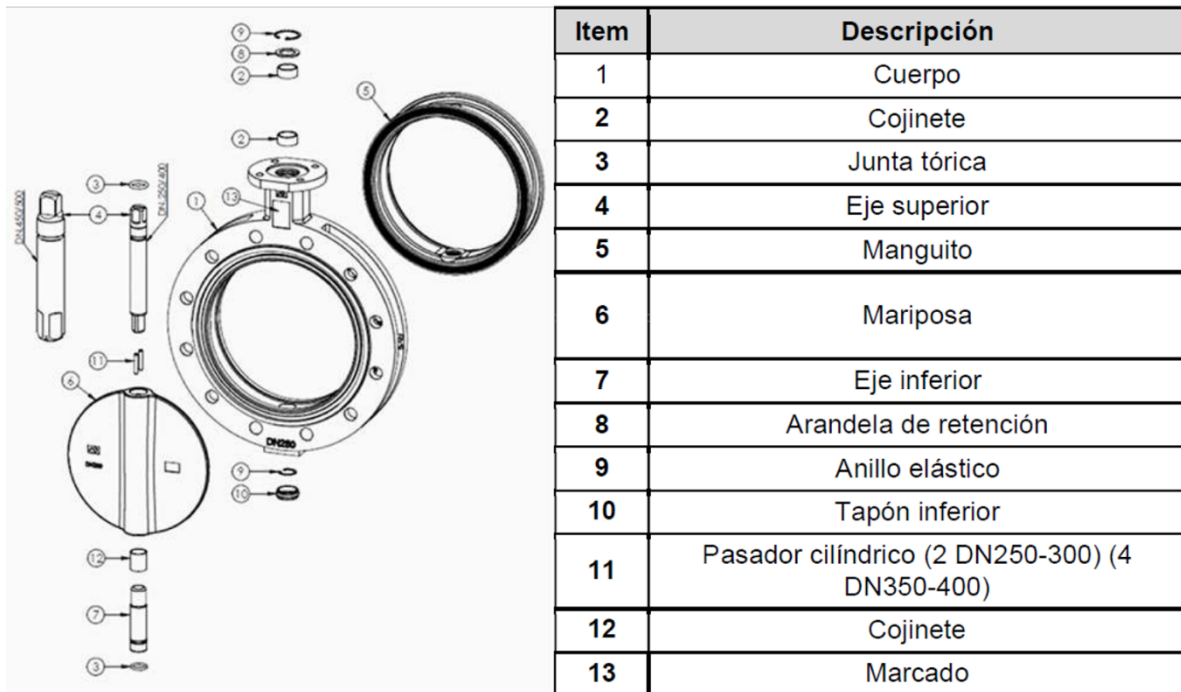


FIGURA 67 PARTES DE LAS VÁLVULAS DE MARIPOSA.

Fontanería dentro de las cajas de válvulas en red primaria

En los sitios de control donde no existe válvula, deberá instalarse dentro de la caja de válvulas la fontanería necesaria para el acoplamiento con la tubería de la red primaria de concreto presforzado tipo Lock-Joint y la instalación de la nueva válvula de mariposa, esta fontanería deberá incluir: piezas especiales de concreto con extremidades de acero, junta dresser y registro de inspección.

Existen piezas especiales de concreto presforzado a partir de conceptos de ingeniería, en donde, cambios de dirección, derivaciones, bifurcaciones, reducciones, ampliaciones, etc., son fundamentales para el máximo aprovechamiento de los proyectos. Las piezas especiales se fabrican con alma de acero recubiertas interior y exteriormente con concreto, los extremos de los

accesorios pueden ser fabricados según convenga para su utilización en la conducción en que van a ser usadas: bridas, extremos campana, extremos espiga, extremos lisos unidos por soldadura.

Por junta dresser se entenderá el conjunto de anillos, coplee y tornillería utilizados para unir tuberías de acero, asbesto cemento y plástico en forma totalmente hermética cuyo diseño es capaz de absorber dilataciones por cambios bruscos de temperatura y acoplarse en tuberías de tal manera que permitan desalineaciones hasta de 15 grados entre los tubos.

El registro de inspección se construye con una pieza especial “te” que puede ser de concreto presforzado, fierro fundido o acero, conectada a la línea de conducción en dos extremos, mientras que el tercero quedara cubierto por una tapa removible, con la finalidad de poder inspeccionar o dar mantenimiento a las tuberías mediante este espacio.



*FIGURA 68 PIEZAS ESPECIALES DE CONCRETO REFORZADO.*

Presupuestos de las obras requeridas

Los actuadores hidráulicos han sido desarrollados en el continente europeo y es allá donde existen muchos casos de éxito en el empleo de esta tecnología para el control de presiones sobre redes de agua potable, cabe señalar que estos equipos se construyen de acuerdo a las condiciones de trabajo a las que serán sometidos.

Por esta razón Sacmex buscó la asesoría de proveedores de estos equipos, los cuales, en base a su experiencia y a las necesidades de operación, pudieran definir el diseño adecuado de los actuadores hidráulicos y recomendar el tipo de válvulas



de mariposa, de tal forma de garantizar la compatibilidad entre ambos y su correcto funcionamiento.

De esta forma se obtuvieron las cotizaciones de los equipos requeridos para el control de presiones en las zonas operativas: San Antonio, Molinos y Cerro de la Estrella, en la tabla **TABLA 12** se muestra un presupuesto aproximado de los trabajos por realizar.

**TABLA 12 PRESUPUESTO DE OBRA**

| No. | ZONA OPERATIVA       | UBICACIÓN                      | CONCEPTOS                 |                                 |                                   |                        |
|-----|----------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
|     |                      |                                | CAJAS<br>(5.00X4.00X6.00) | FONTANERÍA<br>DENTRO DE<br>CAJA | VÁLVULAS<br>DE<br>MARIPOSA<br>PAM | ACTUADOR<br>HIDRÁULICO |
| 1   | Molinos              | Av. Amores y José María Rico   | -                         | -                               | \$431,455.00                      | \$1,750,307.00         |
| 2   |                      | Calle Sevilla y Calle Nevado   | -                         | -                               | \$431,455.00                      | \$1,750,307.00         |
| 3   |                      | Av. Amores y Calle San Borja   | \$800,000.00              | \$760,000.00                    | \$431,455.00                      | \$1,750,307.00         |
| 4   |                      | Ote. 245 y Sur 20              | -                         | -                               | \$431,455.00                      | \$1,750,307.00         |
| 5   |                      | Av. Río Mixcoac y Patriotismo  | \$800,000.00              | \$760,000.00                    | \$431,455.00                      | \$1,750,307.00         |
| 6   |                      | Rosa de Fuego y Av. Del Rosal  | \$800,000.00              | \$760,000.00                    | \$431,455.00                      | \$1,750,307.00         |
| 7   | Cerro de la Estrella | Av. Germanio y Av. San Lorenzo | \$800,000.00              | \$760,000.00                    | \$808,710.00                      | \$2,148,537.00         |
| 8   |                      | Cjon. Estrella y Calle Aloe    | \$800,000.00              | \$760,000.00                    | \$808,710.00                      | \$2,148,537.00         |
| 9   | San Antonio          | Holbein y Augusto Rodin        | \$480,000.00              | \$456,000.00                    | \$151,828.00                      | \$1,223,813.00         |
|     |                      |                                | <b>\$4,480,000.00</b>     | <b>\$4,256,000.00</b>           | <b>\$4,357,978.00</b>             | <b>\$16,022,729.00</b> |
|     |                      |                                | <b>\$8,736,000.00</b>     | <b>\$20,380,707.00</b>          |                                   |                        |
|     |                      |                                | <b>\$29,116,707.00</b>    |                                 |                                   |                        |

Conocidas las necesidades de obra civil y equipamiento necesario para el adecuado funcionamiento de los sitios de control con actuadores hidráulicos sobre la red primaria, se muestra un programa de obra para el desarrollo de estos trabajos.

**TABLA 13 PROGRAMA DE OBRA**

| No. | Zona                 | Sitio                          | 2023  |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
|-----|----------------------|--------------------------------|-------|----|----|----|-------|----|----|----|-------|----|----|----|-------|----|----|----|-------|----|----|----|-------|----|----|----|-------|----|----|----|-------|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|
|     |                      |                                | Mes 1 |    |    |    | Mes 2 |    |    |    | Mes 3 |    |    |    | Mes 4 |    |    |    | Mes 5 |    |    |    | Mes 6 |    |    |    | Mes 7 |    |    |    | Mes 8 |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
|     |                      |                                | 01    | 02 | 03 | 04 | 01    | 02 | 03 | 04 | 01    | 02 | 03 | 04 | 01    | 02 | 03 | 04 | 01    | 02 | 03 | 04 | 01    | 02 | 03 | 04 | 01    | 02 | 03 | 04 | 01    | 02 | 03 | 04 | 01 | 02 | 03 | 04 |  |  |  |  |
| 1   | San Antonio          | Holbein y Augusto Rodin        | ■     |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 2   | Molinos              | Av. Amores y José María Rico   |       | ■  |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 3   |                      | Calle Sevilla y Calle Nevado   |       |    | ■  |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 4   |                      | Ote. 245 y Sur 20              |       |    |    | ■  |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 5   |                      | Av. Amores y Calle San Borja   |       |    |    |    | ■     |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 6   |                      | Av. Río Mixcoac y Patriotismo  |       |    |    |    |       | ■  |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 7   |                      | Rosa de Fuego y Av. Del Rosal  |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 8   | Cerro de la Estrella | Av. Germanio y Av. San Lorenzo |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 9   |                      | Cjon. Estrella y Calle Alob    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |       |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |

## V. CONCLUSIONES

- Para mejorar la eficiencia física y el servicio de agua potable en la CDMX, es necesario realizar adecuaciones a las redes primaria y secundaria. De tal forma que la red de agua potable cuente con los elementos necesarios, para ser operada en forma eficiente y se puedan tomar decisiones en base a mediciones confiables de los parámetros hidráulicos: gasto y presión.
- Con la Sectorización de la red de distribución, aunado a la medición de gastos, se podrán realizar balances hidráulicos que permitan evaluar el estado de cada sector, para determinar acciones encaminadas a la recuperación de gastos que actualmente se pierden en fugas, estas acciones pueden ser detección y reparación de fugas o sustitución de tuberías.
- La conformación de las nuevas Zonas Operativas en la Ciudad de México (CDMX) permitirá tener un abastecimiento de agua eficiente y equitativo, a partir de cada una de las fuentes actuales.
- Es necesario contemplar programas de mantenimiento generales en la infraestructura de la red primaria, con los trabajos realizados en el presente proyecto se pudo detectar que existe infraestructura que necesita mantenimiento o ha cumplido con su vida útil.
- Además de la delimitación de las zonas operativas es necesario el equipamiento de la red primaria con elementos para controlar presiones altas (actuadores hidráulicos) con el objetivo de evitar fugas; aunado a esto; también se requiere complementar los sitios de medición de gasto y presión sobre la red primaria para establecer balances hidráulicos más certeros.
- La conformación de la Zonas Operativas aunado a la implementación de la sectorización en la red de distribución permitirá aprovechar los gastos excedentes de los pozos en horas de menor demanda, para enviarlos hacia zonas donde se requerirá en un futuro suspender el servicio en pozos que ocasionen hundimiento o extraigan agua de mala calidad.

## Bibliografía

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua, 2007

Abastecimiento de Agua Potable, Enrique Cesar Valdez, UNAM, 1990

Sectorización en Redes de Agua Potable, Comisión Nacional del Agua, 2007

El Agua Ciclo de un destino, Gobierno del Estado de México, 2007

Supervisiones de obra, estudios y proyectos. Apoyo técnico para definición de las nuevas zonas operativas en la Ciudad de México. Sacmex, 2022

Proyecto ejecutivo para la adecuación de la red primaria de agua potable en las alcaldías, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Iztacalco e Iztapalapa. Sacmex, 2019.

Diagnóstico, logros y desafíos, Sacmex, 2018

Sistema para la regulación de presión en una tubería de suministro de un fluido, Oficina Española de Patentes y Marcas, España, 2015

Manual datos técnicos, tuberías de concreto pretensado, Compañía Mexicana de Concreto Pretensado, COMECOP, S.A. de C.V., 2007

Base de datos del SACMEX; "Plataforma única de la red de agua potable y drenaje", SACMEX, 2022

Proyecto ejecutivo para la adecuación y control de la red de agua potable en la zona oriente de la Ciudad de México, SACMEX, 2020

Estudio para la integración de la información de las redes primarias y secundarias de la infraestructura hidráulica de las 16 delegaciones con base a la información digital contenida en el sistema gerencial de la D. G. C. O. H., 2001

Planos de Red primaria y secundaria de agua potable de la Ciudad de México, DGCOH, 1979