



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS PARA MIGRAR DEL SERVICIO DE TANDEO A  
SERVICIO CONTINUO EN SECTORES DEL SISTEMA  
PEÑÓN DE LOS BAÑOS EN LA ALCALDIA VENUSTIANO  
CARRANZA, CDMX**

**T E S I N A**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA URBANA**

PRESENTA:

**ING. MARIANA BLAS CANCHOLA**

DIRECTOR DE TESINA: **M.I. CARLOS GONZALO FRANCO  
DOMÍNGUEZ**

Ciudad Universitaria, CDMX.

**ABRIL 2023**



## Agradecimientos

A mis padres, por todo el apoyo que me han brindado en este camino y poder concluir satisfactoriamente mis estudios.

A las dos mujeres más importantes en mi vida, mis abuelas María de la Luz y María Concepción, por su cariño y apoyo incondicional.

A la UNAM, mi alma mater, por seguir permitiendo prepararme en mi formación como ingeniera y ahora como especialista.

A mi director de tesina y tutor, M.I. Carlos Gonzalo, por el tiempo dedicado y sus consejos para la elaboración de mi trabajo final.

A mis profesores por el conocimiento y experiencias compartidas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado durante el tiempo que realice la especialidad.

Gracias a mi familia, amigos y todos aquellos que estuvieron presentes en mi camino.

*Mariana Blas Canchola*



## INDICE

I.	Introducción.....	5
I.1	Redes de distribución de agua .....	7
I.2	Condiciones de la red.....	11
I.3	Sectorización de redes de agua potable.....	16
1.4	Tandeo.....	19
II.	Acciones para migrar a servicio continuo.....	22
II.1	Reparación de fugas .....	22
II.2	Reemplazo de la red .....	24
II.3	Campaña de eliminación de fugas en casa .....	25
III.	Análisis de la operación de un sector con tandeo y con servicio continuo .....	27
III.2	Marco físico.....	27
III.3	Descripción de los sectores Venustiano Carranza.....	31
III.4	Modelación hidráulica.....	36
III.6	Comportamiento hidráulico.....	44
III.7	Volumen requerido en diferentes escenarios.....	47
IV.	Conclusiones y recomendaciones .....	50
	Referencias .....	51



# CAPITULO I

# INTRODUCCIÓN



## I. Introducción

Los escasos de agua es un problema que enfrenta el mundo, se han analizado las implicaciones sociales que tendría y la urgencia para ser atendida, diferentes organismos internacionales, universidades, centros de investigación, y grupos de la sociedad civil coinciden en la necesidad de instrumentar tecnologías innovadoras y poner en marcha una nueva cultura de aprovechamiento y gestión del agua.

La Ciudad de México es la segunda entidad federativa con mayor población en nuestro país, siendo el Estado de México la entidad más poblada. En el censo de 2020 la Ciudad de México superó los nueve millones de habitantes, debido a este crecimiento poblacional la demanda de agua aumenta, si nuestros recursos económicos son limitados aunado a una infraestructura decadente, nuestro sistema colapsará. Los problemas de abastecimiento de agua que presenta la Ciudad de México están relacionados principalmente con las fugas, gran parte del volumen de agua que se extrae de diferentes fuentes, principalmente pozos, se pierde debido al desgaste de las tuberías por los años de servicio, el tipo de material, la incorrecta instalación, la falta de mantenimiento preventivo. A medida que la red de distribución envejece, estas fallas o roturas permiten al agua salir de manera presurizada de la red de distribución y se pierde del sistema.

Un diagnóstico del gobierno de la Ciudad de México (CDMX) señaló que, en la capital, el 98.8% de las viviendas cuentan con agua entubada, sin embargo, dicha cobertura no se refleja en un acceso a ese derecho con un suministro continuo y de calidad para todas las personas.

Otro problema que se presenta es que el agua que se provee a la ciudad de México se extrae principalmente de acuíferos, muchos de los pozos que abastecen a las localidades no se encuentran conectados a la red principal de conducción sino están conectados directamente a la red secundaria por lo que se presentan problemas por presiones altas y con ello las pérdidas de agua aumentan.

Una medida tomada por los organismos operadores ante la escasez de agua es el tandeo, el cual consiste en suministrar agua a los sectores de la ciudad solo cierto número de horas al día, lo que implica que los usuarios deben invertir en infraestructura (tinacos, cisternas) para poder almacenar más agua y de tiempo ya que están sujetos al horario de suministro.

En los últimos años la ciudad de México, así como algunos de los estados de la República Mexicana se han visto en serios problemas por el desabasto de agua, debido al desarrollo de ciudades como Querétaro, Monterrey, Puebla, donde el servicio de agua es por tandeos, donde se debe atender hoy la problemática del recurso hídrico.

Una de las acciones que permiten administrar la red de forma continua y controlada, de tal manera que los usuarios reciban un servicio de calidad (volumen y presión) es la sectorización de las redes de agua potable. Consiste en el proceso de mejora de las



eficiencias física y comercial, cuyo objetivo principal es generar zonas de suministro independientes dentro de la propia red de distribución. De esta manera, cada sector podrá funcionar por separado de los demás y, con ello, mejorar la redistribución y el control del gasto suministrado, así como sus presiones, en beneficio de la red de distribución en su conjunto.

En el presente trabajo se analizan dos sectores del sistema Peñón de los Baños en la alcaldía Venustiano Carranza que operan por el sistema de Tandeo, se plantean cuatro escenarios, en donde se consideran distintas acciones para recuperar el gasto que se tiene en fugas, de tal manera que se presente un cambio en la forma en la que se suministra el agua a esas comunidades pasando de un servicio por tandeo a un servicio continuo.

## Objetivos

Conocer las condiciones actuales de la red nos permitirá proponer acciones que mitiguen los problemas principalmente de reducción de fugas. El objetivo principal de este trabajo es que a través del modelado de las condiciones actuales en las que se encuentra un sistema de distribución por medio del Software de Epanet se puedan proponer acciones que permitan solucionar los problemas de presiones y con ello el volumen de pérdidas de agua por fugas en la red, pasando de un sistema por tandeo a un sistema de operación continuo.

Que a partir de la sectorización se tenga una mejor eficiencia de la red de distribución y que las acciones propuestas sean viables económicamente para que se le pueda dar atención y se pueda seguir brindando un mejor servicio a los ciudadanos.



## I.1 Redes de distribución de agua

Para que tengamos acceso al agua se requiere de un conjunto de elementos como tuberías, piezas especiales y estructuras que permiten llevar el agua de una fuente hasta el punto de entrega donde los usuarios tengan acceso al recurso (Figura 1). Su finalidad es transportar el agua hasta las tomas domiciliarias para satisfacer las demandas de los consumidores de todos los tipos, doméstico, servicios públicos, comercial e industrial.

Una red debe proporcionar un servicio que cumpla con las siguientes características:

- Continuidad, en donde el servicio no se vea interrumpido.
- Cantidad, se entiende que exista el volumen necesario para que los usuarios puedan satisfacer sus necesidades.
- Calidad, el servicio debe proporcionar una presión adecuada para que pueda subir hasta una altura de tres pisos como mínimo.
- Costo, debe ser una cantidad que cubra los conceptos de construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura.

Una red de distribución de agua está compuesta principalmente por:

- Tuberías – Elementos de sección circular que se unen para transportar un líquido de un punto a otro, formando una red en donde puede haber diversos puntos de unión denominados nodos, las tuberías se pueden clasificar dependiendo del tamaño de la red y los diámetros en red primaria o secundaria. Una red primaria siempre se diferencia por tener tuberías de grandes diámetros, mientras la secundaria, la tubería es menor y se presenta en la mayoría de las calles, son las tuberías utilizadas en los últimos puntos de entrega, la tubería de la red primaria es la que sale del punto de regulación hasta el punto donde inicia su distribución.
- Piezas especiales – Son todos los elementos utilizados que permiten realizar cambios de dirección, ramificaciones, unión de diferentes materiales, cambios de diámetro, para la instalación de válvulas y controlar el flujo, también permiten realizar las conexiones con estaciones de bombeo y otras instalaciones hidráulicas.
- Válvulas – Son elementos que nos permiten controlar el flujo, así como seccionar o aislar, en el primer caso se utilizan para regular el gasto o la presión en la red, al disminuir el área por la que pasa el flujo aumenta la velocidad, aumentando la presión. En el segundo caso, se utilizan para cortar el flujo en puntos específicos, así como para aislar el flujo conectados a equipos de bombeo, dispositivos de control y poder darles mantenimiento, reparar o reemplazarlos.
- Tanques de distribución – Es la estructura que se encarga de almacenar o regular el gasto que es transportado desde el punto de captación para después ser distribuido a los usuarios. El almacenamiento permite regular la distribución

dependiendo del comportamiento de la demanda de una población. Un tanque de regulación debe tener la capacidad de almacenar cierto volumen que permita satisfacer la demanda en las horas pico que están por encima del volumen suministrado por la fuente. Otro tipo de infraestructura son aquellos tanques que no solo almacenan el volumen requerido, sino que consideran un volumen extra para casos de emergencia cuando es interrumpido el suministro, aunque estos casos en donde se diseñan cisternas aplican más a redes en el sector privado como unidades habitacionales, es más común que se utilicen tanques de regulación únicamente.

- Tomas domiciliarias – Son el último elemento para la entrega de agua a los usuarios, consiste en el conjunto de piezas, tubería que están conectados a la red secundaria hasta el predio del usuario, en muchos casos se cuenta con un medidor. Las tomas son el punto donde se observa la calidad y eficiencia de los sistemas de distribución.
- Cajas rompedoras de presión - Es una estructura que permite romper con la presión a la que viene el agua en una tubería, son estructuras relativamente pequeñas donde el flujo se encuentra a superficie libre, permitiendo que el flujo descargue en esta caja, eliminando la presión hidrostática y estableciendo un nuevo nivel estático aguas abajo.
- Rebombes – Son las instalaciones de bombeo que se requieren cuando en la red de distribución no es suficiente la carga suministrada por una primera estación, estas se encuentran en puntos intermedios de una línea de conducción. Elevan la carga hidráulica en el punto donde se ubican para mantener la circulación del agua en la tubería.

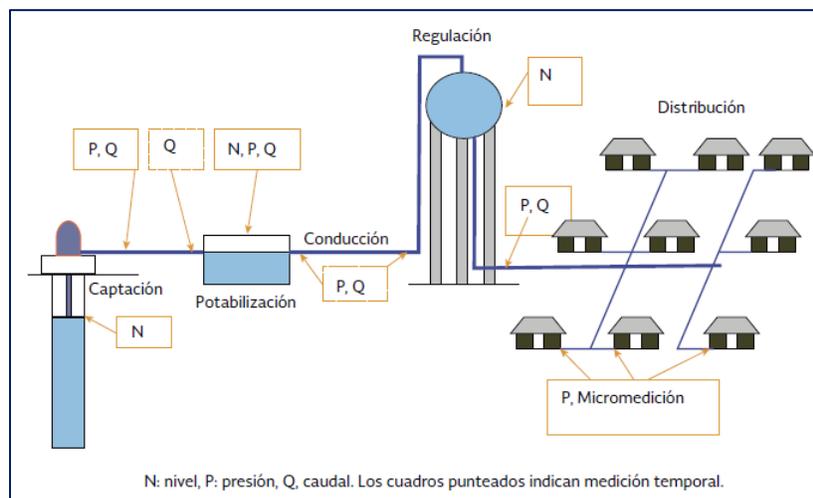
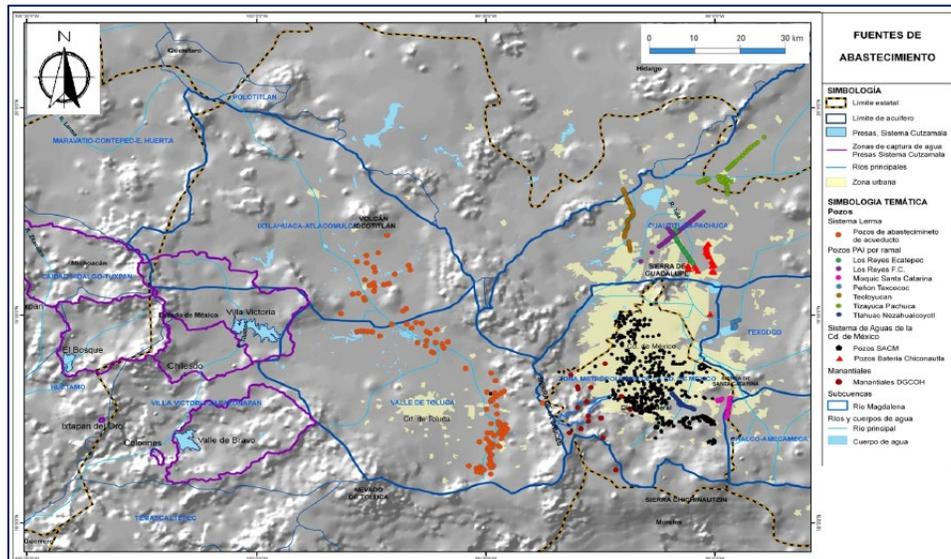


Figura 1 Esquema de puntos de medición en una red de abastecimiento. (MAPAS)

### I.1.1 Fuentes de abastecimiento

Una fuente de abastecimiento es el conjunto conformado por el área de captación y su infraestructura hasta el punto de entrega, ya sea de forma subterránea con acuíferos, superficiales con cuencas hidrológicas y pluviales. La infraestructura debe captar, conducir y determinar la calidad del agua mediante presas, pozos, líneas de conducción y plantas de bombeo. Las áreas de captación con las que cuenta la Ciudad de México se ubican en tres cuencas hidrológicas: la Cuenca del Valle de México, la Cuenca del Río Cutzamala y la Cuenca del Alto Río Lerma. En la figura 2 se muestra la localización de las fuentes de abastecimiento de agua potable de la ciudad de México.



**Figura 2 Localización de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México (Escolero, Kralisch, Martínez, & Perevochtchikova, 2016)**

La fuente principal de agua potable a la Ciudad es subterránea proveniente del acuífero “Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCDMX), debido a la creciente demanda de agua se construyeron sistemas de pozos adicionales (PAI) que eran una solución temporal. Después se propuso traer agua de los estados de Hidalgo y México, entre ellos el sistema Chiconautla, ubicado a 32 km al norte del centro de la ciudad, a continuación, se hace una corta descripción de cada una:

- El Sistema Lerma, ubicado en el Estado de México, se desarrolló en diferentes etapas entre los años 40’s y 80’s que abastecería agua subterránea de la cuenca Alta del río Lerma. Se conforma por 250 pozos, que extrae agua de los acuíferos Valle de Toluca e Ixtlahuaca-Atlacomulco aportando 4 m<sup>3</sup>/s. (Escolero, Kralisch, Martínez, & Perevochtchikova, 2016)
- El sistema Cutzamala construido en tres etapas a partir de 1982 es la fuente más importante de entre los antes mencionados. El sistema Cutzamala está conformado por las presas Tuxpan y el Bosque, en Michoacán; Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Villa Victoria y Chilesdo, en el Estado de México que tienen unan aportación de 9 m<sup>3</sup>/s, además los integran seis macro plantas de bombeo que vencen un desnivel de más de 1100 metros,



un acueducto de 205.7 km, 43.99 km de túnel, 72.55 km de canal abierto, y la planta potabilizadora Los Berros que consta de 5 módulos de 4000 lps cada uno.

- El sistema de pozos del Plan de Acción Inmediata (PAI) creado en la década de 1970 como una medida de emergencia aprovecha los acuíferos del Valle de México. El plan contempló el aprovechamiento transitorio de los acuíferos del Valle de México por medio de 9 baterías de pozos, de los pozos originales, en 1995 se transfirieron 84 al SACMEX y 70 pozos al Estado de México, y en 1997 fueron transferidos 17 pozos al Estado de Hidalgo. El Sistema PAI es operado directamente por el OCAVM de la CONAGUA y en su totalidad abastece a 4 alcaldías de la CDMX, 2 municipios del Estado de Hidalgo y 14 municipios del Estado de México.
- Los Pozos que opera el SACMEX se ubican dentro de la Ciudad de México con excepción de la Batería Chiconautla, se conforma por las bacterias de pozos en 5 sistemas según su región: Norte, Centro, Oriente, Sur, Poniente. Dando un total de 549 pozos de los cuales la región Sur cuenta con 284 pozos, divide en los subsistemas Coyoacán, Tulyehualco, Pozos Aislados G.A.V.M, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta y Auxiliar Xotepingo, Centro, Oriente, Sur, Poniente. La región Oriente con 94 pozos comprende las baterías Sistema Oriente, Ampliación Tláhuac, Agrícola Oriental y Santa Cruz Meyehualco.
- El sistema Chiconautla entró en operación en 1957, se conforma por la bacteria de pozos en el Estado de México (Municipio de Ecatepec de Morelos) que capta agua del acuífero Cuautitlán-Pachuca. Su principal objetivo es abastecer de agua a la zona norte de la ciudad. El sistema abarca 41 pozos con una profundidad entre 50 y 321 m, el gasto que aporta es de 1.33 m<sup>3</sup>/s, que ha reducido a más de la mitad el gasto que aportaba a un principio.
- Otras fuentes con las que se cuentan es un conjunto de manantiales ubicados en la sierra del Ajusco, al sur de la Ciudad dentro de la zona de suelos de conservación, incluye el aprovechamiento de 18 manantiales que en conjunto aportan 0.8 m<sup>3</sup>/s. también se tiene registro de una aportación por parte del río Magdalena. En la figura 3 se muestra el porcentaje de aportación que tienen cada una de las fuentes antes descritas para satisfacer la demanda de agua de la población de la CDMX.

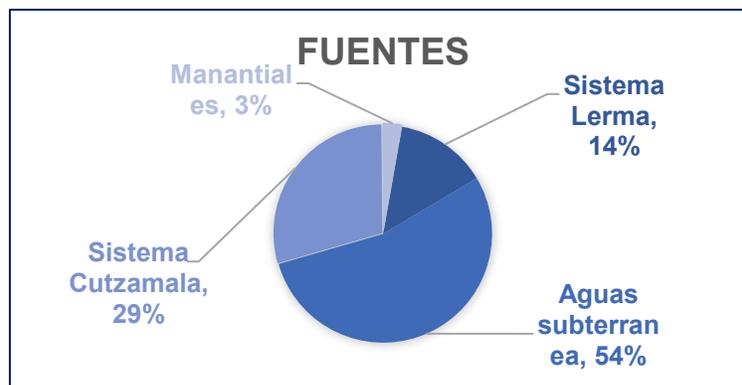


Figura 3 Porcentaje de aportación por diferentes fuentes a la CDMX. Elaboración propia

## I.2 Condiciones de la red

A medida que el tiempo avanza las condiciones iniciales de las tuberías se ven afectadas por el uso, el tipo de material de la tubería, eventos geológicos (sismos, hundimientos diferenciales), la falta de mantenimiento a las piezas especiales genera que se presenten daños mecánicos; estos son algunos de los factores que contribuyen a las fugas.

El monitoreo constante del funcionamiento de una red de distribución es la principal tarea del organismo operador a cargo, si se cuenta con una macro y micro medición eficiente, es muy fácil poder detectar anomalías en el funcionamiento de una red.

Debido al crecimiento acelerado de la población y la falta de planeación, la infraestructura actual presenta grandes problemas en el tema de control de fugas, una de las consecuencias que se tiene por la pérdida de un gran volumen de agua, es la pérdida de presión en el sistema de abastecimiento. Si se analiza este caso cuando se tiene un sistema por bombeo, para recuperar esa carga perdida, es necesario aumentar la carga que entrega el equipo de bombeo, que a su vez nos lleva a un incremento en el consumo de energía.

### I.2.1 Fugas

Una fuga es el escape físico del agua en cualquier punto del sistema de abastecimiento, puede presentarse en las líneas de conducción primarias y secundarias, conexiones domiciliarias, en los cruces como se muestra en la figura 4. La fuga se presenta en una tubería en donde el agua escapa del sistema de distribución de manera presurizada.

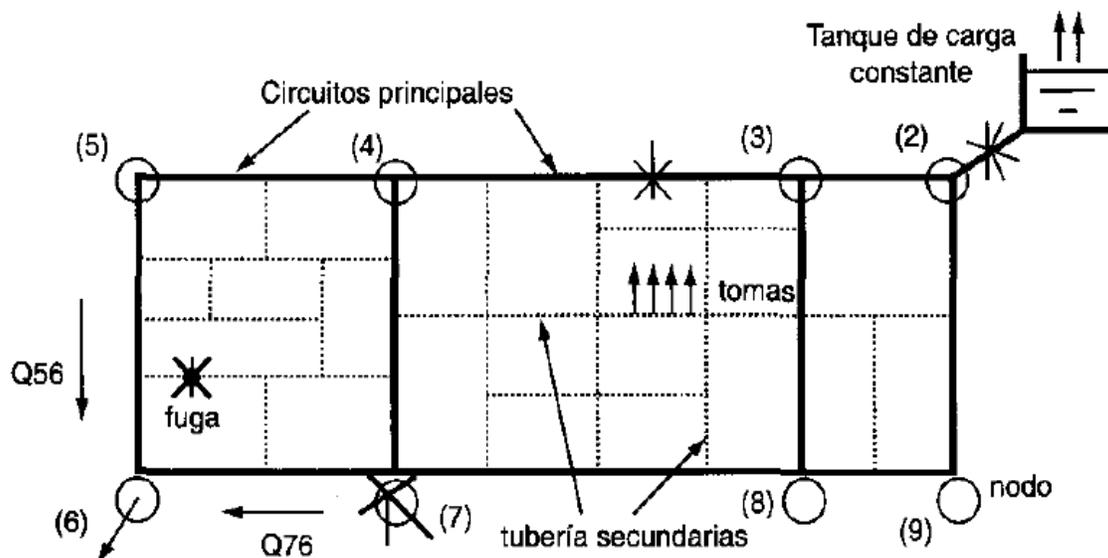


Figura 4 Esquema de una red con fugas. (IMTA, 2001)

Existen dos tipos; las visibles y no visibles, las primeras emergen hacia la superficie del terreno o pavimento, estas son identificadas por los usuarios y operadores. Las fugas no visibles se infiltran en el suelo o pueden drenar hacia la infraestructura de alcantarillado o canales.

La pérdida de agua en la red se presenta de diferentes maneras, desde la unión de dos tuberías, en piezas especiales (válvulas, té, desagües) y en los puntos de roturas de las tuberías que pueden clasificarse según el MAPAS de la siguiente manera (figura 5):

**Rotura** – Se presenta en sentido transversal de la sección de la tubería.

**Perforación** – Es la presencia de un pequeño agujero que se presenta por la acción de la corrosión o por la acción exterior de maquinaria a la hora de realizar mantenimiento u otra actividad.

**Fisura** – se presenta en sentido longitudinal de la tubería como una abertura, que puede ser producida por la acción exterior de maquinaria o por la presencia de una sobrepresión en la tubería.

**Reventamiento** – Es un orificio de gran tamaño que se presenta por la acción exterior de maquinaria o por la presencia de una sobrepresión en la tubería. Esta es de manera más violenta y ruidosa produciendo un estallido.



**Figura 5 Tipos de fugas. (MAPAS)**

Dada la forma en que se presentan las fugas (escape del agua a presión a través de ciertas aperturas), estas se consideran en el modelo matemático partiendo de la ecuación general que describe la hidráulica de un orificio, donde:

$$Q = c_d A \sqrt{2gH}^{0.5} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Q es el gasto que sale a través del orificio, en m<sup>3</sup>

A es el área del orificio, en m<sup>2</sup>

g es la aceleración gravitacional m/s<sup>2</sup>

H es la altura de agua sobre el orificio en m

c<sub>d</sub> es el coeficiente de descarga que depende de la relación entre velocidad real V<sub>r</sub>, y teórica V<sub>t</sub> del chorro, como la relación entre áreas del orificio A<sub>o</sub> y el área del chorro A<sub>ch</sub>



Al aumentar la presión en la red está íntimamente relacionada con el gasto que se pierde por las fugas,

Para el caso de fugas en tuberías a presión, los coeficientes de descarga y el exponente se calibran, simplificando la ecuación de la siguiente forma:

$$Q = c * H^x \quad \text{Ecuación (2)}$$

Q es el gasto de fugas, en lps

H carga de presión en metros columna de agua

c coeficiente que depende del tamaño o rotura de la fuga y del material de la tubería, este varía entre 0.20 y 1.0

x exponente que varía entre 0.5 hasta 2.5 dependiendo de la flexibilidad de los materiales de la tubería

Las fugas en las redes de distribución son directamente proporcionales a la presión que opera la red, es decir, a mayor presión en la red se tiene más fugas y viceversa. El caso ideal de una red de distribución es que no existieran ningún tipo de pérdidas, sin embargo, este escenario es imposible, por muy controlado o eficiente que sea la operación, siempre existirá un porcentaje de fugas, aunque este sea mínimo. Lo que se busca es reducir lo más posible ese porcentaje, desde acciones de campaña de reparación de fugas hasta realizar un reemplazo en la red principal, considerando todas las acciones que conlleva cada escenario planteado.

De acuerdo con en los últimos años en la Ciudad de México el número de reportes de fugas ha ido en aumento, en el año 2021 se presentaron 15,239 casos, cifra que aumentó un 71.1% con respecto al a los casos contabilizados el año anterior, en las alcaldías que se presenta un mayor número de reportes son Coyoacán, Iztapalapa, GAM. Teniendo una pérdida de más del 40% entre fugas visibles y no visibles según el periódico Economista.

- Tomas clandestinas

Las tomas clandestinas es otro problema además de las fugas registradas en la infraestructura de agua potable en la Ciudad de México, se tienen registros de un alza en las tomas clandestinas a los ductos de la red de abastecimiento, presentando en el 2020, 213 registro de tomas clandestinas.

- Macro y micro medición

La deficiencia de la macro y micro medición, es un problema que también se presenta en las redes de distribución y que no permite tener un buen control del agua consumida que no se factura, el gasto que no se mide, las conexiones clandestinas y las pérdidas de agua por las fugas.

- La falta de actualización del padrón de usuarios



Si bien el censo de población nos da información de la población atendida en un área de estudio, es importante contar con la información actualizada del padrón de usuarios, así como el tipo de usuarios que se tiene para conocer mejor los consumos domésticos y no domésticos.

- Catastro

Otro aspecto importante es que se debe tener un registro de toda la infraestructura para conocer el funcionamiento y poder modelarlo en sus condiciones actuales como:

- Diámetro, material y longitud de las tuberías
- Diámetro, material, tipo, marca y modelos de válvulas de seccionamiento
- Localización, dimensiones y material de elementos de almacenamiento como tanques, cisternas
- Diámetro, material, marca y modelo de equipos de bombeo y equipo eléctrico en plantas de bombeo

De acuerdo con datos proporcionados por SACMEX al año 2019, la ciudad capitalina presentaba las siguientes condiciones:

- Un déficit estimado de agua potable de 3 m<sup>3</sup>/s
- Una sobreexplotación de acuíferos 17.79 m<sup>3</sup>/s
- Disminución de los niveles de acuífero: 1 metro por año
- Hundimientos de subsuelo de hasta 30 cm por año.
- Deterioro gradual de la calidad del agua en acuíferos, al extraerse cada vez de mayor profundidad.

### ***1.2.2 Indicadores***

Parte del problema que presenta la Ciudad de México para poder suministrar el recurso hídrico es que con el tiempo se tienen problemas para acceder a nuevas fuentes de abastecimiento, por ejemplo, con el abatimiento de nivel freático de los acuíferos como se mencionó anteriormente conlleva a realizar perforaciones más profundas que a su vez se ven reflejadas en la demanda de equipos con mayor potencia y como consecuencia se tiene un consumo de energía mayor.

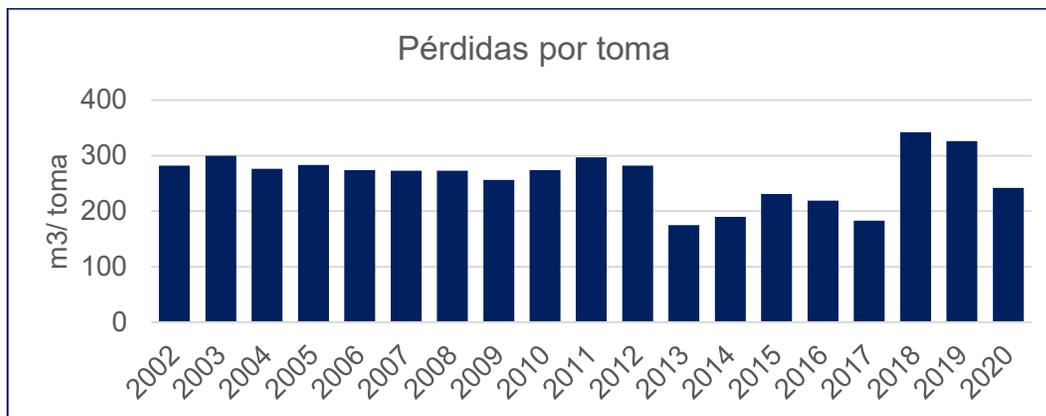
Otro aspecto importante es que la infraestructura que se tiene disponible es obsoleta, ya que siguen en funcionamiento a pesar de rebasar su vida útil, o por la falta de mantenimiento continuo y si fuera poco la mala instalación o reemplazo con elementos de menor calidad.



Más del 42% del agua suministrada se pierde en la red a causa de las fugas, agua no contabilizada y tomas clandestinas, un problema que sin duda no se le ha podido dar seguimiento. La falta de medición en puntos estratégicos que permitan conocer las entradas y salidas al sistema, en la actualidad se tienen 430 puntos que no cuenta con dispositivos de medición.

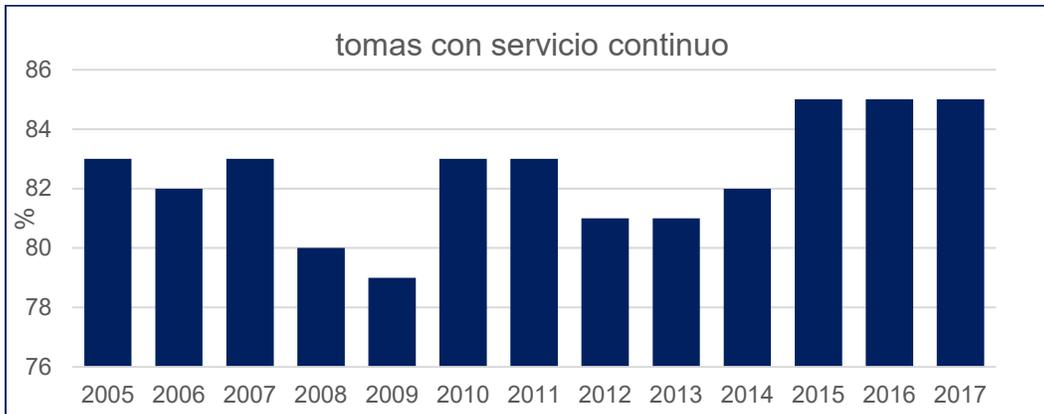
La falta de continuidad en el servicio 26% de los habitantes no recibe cantidad suficiente, y 15% no cuenta con el servicio diario. Teniendo 1.8 millones de habitantes con tandeo. Así como los problemas de baja presión que se presentan principalmente en las alcaldías Cuauhtémoc, Benito Juárez, Iztacalco y Venustiano Carranza.

Con base en cifras nacionales proporcionadas por el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO), uno de sus indicadores en la gráfica 1 nos muestra que las pérdidas por toma al 2020 era de 242 m<sup>3</sup>, estando en un rango de 180 a 340 m<sup>3</sup> el volumen que se pierde. Si bien estos indicadores no determinan por completo la eficiencia de la prestación de servicios, proporciona un panorama general de las condiciones de operación y el nivel de calidad que ofrecen a los usuarios.



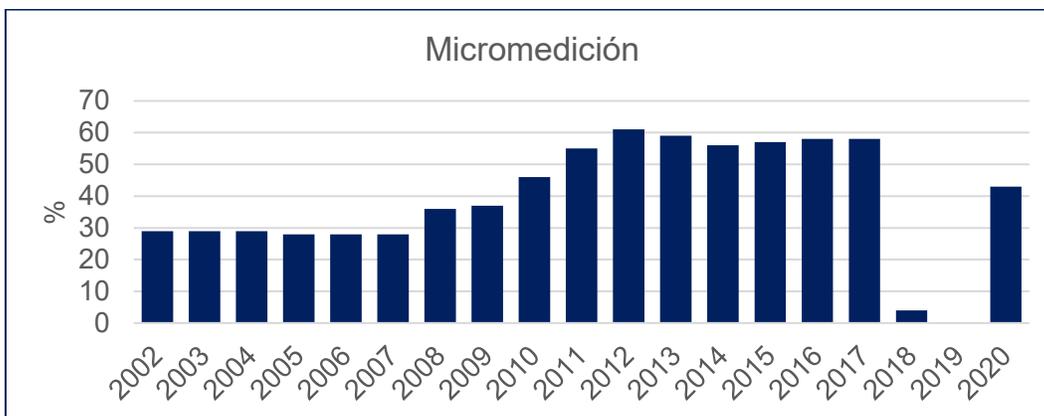
**Gráfica 1 Pérdidas por toma del Organismo Operador SACMEX. (PIGOO)**

De igual forma se tiene registro que el 80% de los usuarios tienen un servicio continuo, este porcentaje se ha mantenido en los últimos años como se observa en la gráfica 2, teniendo registros hasta el 2017, el 20 por ciento tiene un servicio por tandeo.



Gráfica 2 Porcentaje de tomas con servicio continuo del Organismo Operador SACMEX. (PIGOO)

En cuanto a la micro medición esta no sobrepasa el 60% de acuerdo con la información que tiene el PIGOO y que se muestra en la gráfica 3; este indicador expresa el porcentaje, es la relación del número de micromedidores que funcionan instalados en tomas domiciliarias, dividido entre el número total de tomas.



Gráfica 3 Porcentaje de cobertura de micro medición del Organismo Operador SACMEX. (PIGOO)

### I.3 Sectorización de redes de agua potable

Una red de distribución está compuesta por un grupo de elementos que, si se diseñan para grandes poblaciones, aumenta la complejidad para su operación y conforme más crece más difícil será controlarla. Por tal razón, si se tienen problemas para la operación de una red y a su vez con el control de pérdidas de la red, estas situaciones están relacionadas con los criterios de diseño y la forma de operación de la red de distribución (IMTA,2021).

En nuestra infraestructura es común encontrar redes interconectadas en muchos puntos, para tener un porcentaje de cobertura del 100%, que permita cumplir con las necesidades de los usuarios.



La sectorización es el diseño de aislamiento hidráulico, regido por la topografía del lugar, la ubicación de las fuentes de abastecimiento y su capacidad hidráulica, rebombes, tanques conducciones y tuberías dependiendo de la demanda de los usuarios (figura 6). Un sector puede independizarse mediante la colocación y maniobra de válvulas, colocando válvulas en la periferia del sector con la finalidad de cerrar o impedir el paso del agua hacia dentro y fuera del sector, de esa manera se tiene control de la entrada del flujo al sector.

Uno de los objetivos de la sectorización es el mejoramiento del funcionamiento hidráulico a partir de la recuperación de gastos, la acción para recuperar ese gasto es la disminución de las fugas en el sector, ya sean las fugas visibles y no visibles. Un sector debe estar completamente aislado uno del otro, estando sujeto a cumplir con las especificaciones de velocidad y presión en las tuberías y nodos y por último que el sector garantice el suministro continuo a los usuarios. En la tabla 1 se exponen las ventajas y desventajas de la sectorización.

**Tabla 1 Ventajas y desventajas de la sectorización**

Ventajas	Desventajas
Permite mejorar el control de gasto y presiones en la red	Constante monitoreo al ser muchos sectores
Disminución del volumen de fugas	Requiere de operadores calificados
Reducir la sobreexplotación de pozos o fuente de abastecimiento	Rechazo social ante la implementación de operación de los sectores
Permite tener Micro medición	Costos de inversión

Fuente: **Elaboración propia.**

Un sector puede definirse por las siguientes características:

- **Tamaño**

La limitación de sectores se basa en diferentes factores como pueden ser la topografía, población, límites políticos (sea por vialidades importantes, e incluso por el área del sector, lo recomendable es que los sectores no sean mayores o estén entre un área de 1 km<sup>2</sup> para que permitan tener un mejor manejo de las entradas al sector

- **Número y tipo de Usuarios**

Es importante la identificación dentro de un sector de usuarios que tengan un impacto importante en el consumo de agua, ya sea por ser consumidores no domésticos o edificios que requieran un abastecimiento con una presión específica superior a la establecida, es recomendable que se establezca una homogeneidad dentro de los sectores y que el número de usuarios entre los sectores no sea tan diferente entre ellos, esto también va ligado a la capacidad de las entradas del sector.

- **Topografía**

La topografía es un elemento muy importante en la delimitación de un sector, debido a los desniveles topográficos que presente una zona de estudio, estos pueden ser muy



grandes lo que genera que exista una diferencia de presiones considerables, generando una inestabilidad de presiones. Se busca que los sectores estén dentro de cierto rango de elevación del terreno para así lograr mantener un rango de presiones similar. Algunos ejemplos de accidentes topográficos que nos ayudan a delimitar un sector pueden ser una barranca, un cerro.

- Punto de medición

La definición del punto de abastecimiento del sector se busca que sea solo un punto, cuando las condiciones no lo permiten, entonces se debe tener control de todas las entradas al sector, para conocer el gasto de ingreso al sector se propone que al inicio de la línea de alimentación que sale de la fuente de abastecimiento (pozo, tanque) se instale un punto de control, si no se cuenta con una fuente de abastecimiento cercana, entonces el punto se colocará en la línea de red primaria que deberá ser la tubería de mayor diámetro que se encuentre dentro del sector. Tener el registro de gastos que entran al sector y consumo de los usuarios permite identificar el gasto que se está perdiendo en el sistema.

### ***1.3.1 Diseño de sectores***

Una vez identificado los límites del sector se debe verificar que el diámetro de la tubería sea el adecuado para la demanda establecida teniendo el mejor funcionamiento y disminuyendo las pérdidas, este procedimiento se lleva a cabo verificando el catastro de la infraestructura existente dentro del sector, a la infraestructura nos referimos a la identificación de material de tuberías, diámetros, años de funcionamiento e instalación de piezas especiales (válvulas controladoras de gastos, válvulas de seccionamientos, desfuegos, válvulas de admisión y expulsión de aire) al igual que la identificación de las entradas que suministran al sector, capacidad de tanques, si se tiene instalados equipos de bombeo.

Etapas para la sectorización de una red de agua potable

- Planeación
- Diseño
- Construcción e instrumentación
- Operación y mantenimiento

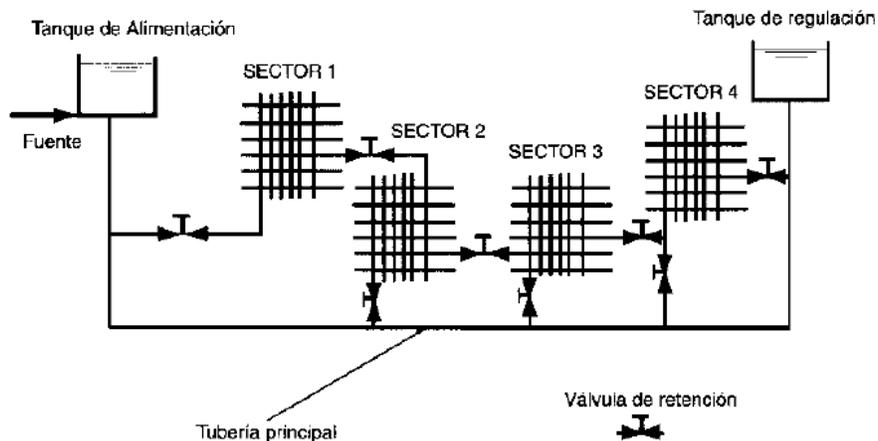


Figura 6 Red sectorizada. (IMTA, 2001)

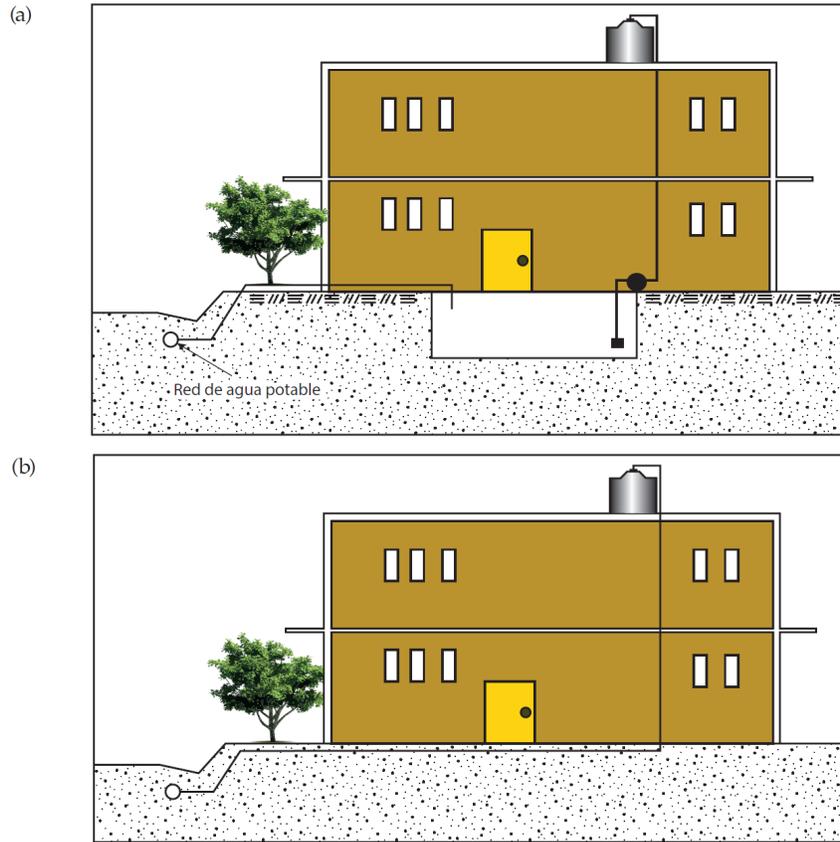
### 1.4 Tandeo

Las desventajas del tandeo es que se establece un horario, condicionando a las personas a que adquieran elementos que le permitan almacenar el volumen que requieren para su uso diario, así como están sujetos a un horario que interrumpe otras actividades en su vida diaria. Que el servicio no sea continuo no solo afecta la disponibilidad de horarios de los usuarios, también impacta en lo económico, ya que los usuarios deben invertir en la construcción de estructuras de almacenamiento (tinacos y cisternas) como se muestra en la figura 7, que por lo general no reciben el mantenimiento necesario, afectando la calidad del agua que consumen. El volumen de almacenamiento, así como el acceso al recurso hídrico dependerán de la situación económica de los consumidores. La mayoría de la población en zonas donde el servicio no es continuo se ven obligados a invertir en cisternas, pero no todas las familias pueden llevar a cabo la construcción de ellas debido a que implican una inversión entre los 15,000 y 30,000 dependiendo de la capacidad de almacenamiento, instalación y bomba que requieren.

La Ciudad de México tiene 276 colonias que reciben servicio por tandeo de las 1,695 en las 10 alcaldías, principalmente en las alcaldías Tlalpan, Iztapalapa y Magdalena Contreras. De acuerdo con SACMEX, el número de colonias que reciben servicio por tandeo por la red hidráulica ha ido a la baja en los últimos cinco años, En 2020, las alcaldías con más colonias con tandeo de agua fueron Tlalpan, con 91; Iztapalapa, con 55; Magdalena Contreras, 30; Gustavo A. Madero, 25; Tláhuac, 23; Xochimilco, 17; Cuajimalpa, 14; Álvaro Obregón, 12; Coyoacán, cinco, y Milpa Alta, cuatro, SACMEX.

Las causas asociadas con la insuficiencia de poder brindar un servicio adecuado en las colonias mencionadas que reciben por medio de tandeo, son las fuentes de abastecimiento limitadas y la falta de infraestructura para abastecer el servicio (Soto Montes de Oca,2008). En el caso de las colonias ubicadas al oriente, como las de la alcaldía Iztapalapa, el problema que presentan se relaciona con la falta de fuentes de abastecimiento, mientras que las alcaldías Tlalpan, Tláhuac, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Xochimilco, Cuajimalpa y Milpa Alta, las causas de los escasos se deben a la ubicación en las partes altas o a el establecimiento de nuevas poblaciones que no cuentan con la infraestructura.

Cuando una red ya no puede ofrecer un servicio continuo y se cambia a un servicio intermitente, se presentan problemas en el funcionamiento porque la infraestructura no fue diseñada para trabajar bajo esas condiciones, las consecuencias hidráulicas son mayores pérdidas de agua en redes por sobrepresiones y el deterioro de la infraestructura. El volumen que se les da no es suficiente para que las personas puedan satisfacer sus necesidades básicas.



**Figura 7 Arreglo de almacenamiento más comunes a) Cisterna al nivel del suelo, bomba de agua y tinaco, b) Tinaco solo. (Tzatchkov, V. G., 2014)**



# CAPITULO II

## ACCIONES PARA MIGRAR A SERVICIO CONTINUO



## II. Acciones para migrar a servicio continuo

### II.1 Reparación de fugas

La detección de fugas es un proceso muy importante que debe ser atendido eficientemente por parte del organismo, cuando aumenta la presión en la red se tiene un mayor gasto de pérdidas, lo que permite identificar más fácil la zona donde se presenta la fuga ya que el agua sale con mayor velocidad, produciendo un sonido con mayor intensidad y que es detectado por los instrumentos. Una fuga pequeña (orificio o grieta), tiene un sonido agudo de alta frecuencia y una fuga grande (tubería rota o junta defectuosa), un sonido grave de poca intensidad y baja frecuencia.

En esta acción se debe atender oportunamente aquellas quejas o denuncias que se hagan al organismo operador, al igual que llevar un programa de las fechas de reemplazo, diámetros, tramos cambiados, con el objetivo de tener documentado y actualizada la información de la infraestructura hidráulica y de sus condiciones.

La acción de reparar fugas trae grandes beneficios, no solo económicamente con la recuperación del volumen de agua perdido sino permite un mejor funcionamiento de la red, ayuda a un uso eficiente de las fuentes de abastecimiento, al ser atendida a tiempo las fugas los usuarios tienen una mejor percepción del servicio que se les brinda; así como la reducción de riesgos de contaminación.

La detección de fugas es el primer paso hacia la eliminación de fugas, una vez que se detecta la fuga, el siguiente paso es la reparación, en este proceso se requiere de mayor inversión económica, e incluso un análisis económico, es decir, si es preferible reemplazar las tuberías más propensas (generalmente las de mayor antigüedad) a fugas, en vez de solo reparar las fugas. La reparación es una acción inmediata a la reducción de fugas en la red.

Las fugas más comunes en tomas domiciliarias ocurren por fallas en la conexión de los usuarios a la red de distribución, en los codos, uniones y en el mismo cuerpo de la tubería, esto está relacionado de igual forma con la calidad de los materiales y la mala colocación.

Como primer paso en la detección de fugas es la implementación de técnicas, las que principalmente se utilizan son con equipos electrónicos, pero de igual forma existen otras que incluyen la medición de distritos hidrométricos, balance del agua, que si bien no puntualizan el lugar de la fuga (IMTA, 2001), estos indican la existencia de fugas y dan una idea global de donde pueden estar las fugas, otra técnica es mediante la observación de presiones.

Una de las técnicas más empleadas es la localización de fugas a partir de la detección de del sonido que produce. Como se mencionó anteriormente, al escapar el agua a presión, se generan ruidos producidos por las vibraciones en el punto de escape, estos sonidos se

encuentran en un intervalo de frecuencia de entre 350 y 2000 Hz (ciclos por segundo). Los equipos de detección se agrupan de la siguiente forma:

Equipos de detección directa: requieren de un punto de contacto con la tubería, toma domiciliaria o válvula, detectan el sonido de la fuga que viaja a través de esos elementos, en esta clasificación se encuentran los geófonos de punta y correladores. En la figura 8 se muestran fotografías de estos detectores de fugas.

Equipos de detección indirecta: No requieren del contacto directo con la infraestructura hidráulica, detectan el sonido que viaja por el suelo donde se encuentra enterrada la tubería, en esta clasificación se encuentra los geófonos de piso.



Figura 8 Correlador localizador de fugas. (MAPAS)

El geófono (figura 9) es el aparato más utilizado en la detección de fugas. Los sonidos provocados por las fugas se propagan por las tuberías y por cualquier elemento que esté conectado a ellas. Los sonidos de una fuga se pueden escuchar a través de un hidrante, una válvula, un hidrómetro o inclusive el suelo. El Geófono amplifica el sonido de la fuga de agua y facilita la escucha. Permite realizar un análisis de frecuencias. Es algo muy útil ya que no todas las fugas se escuchan en las mismas frecuencias.

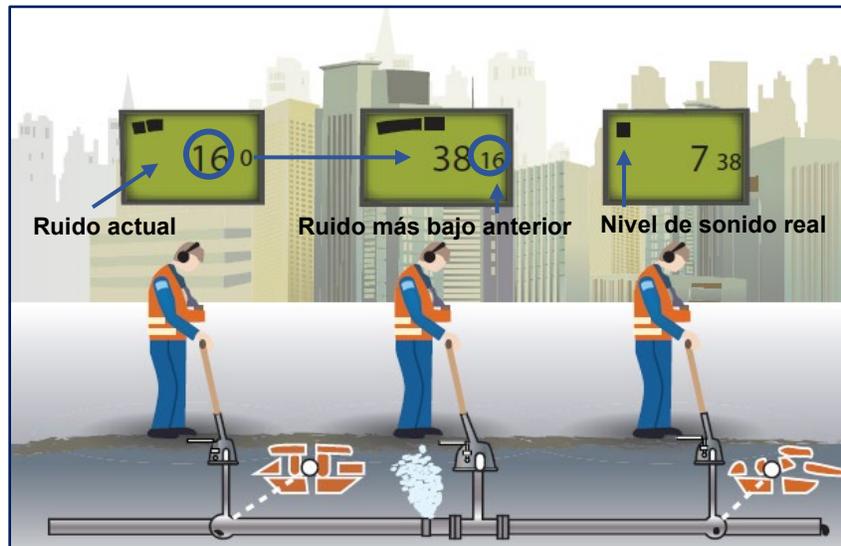


Figura 9 Geófono localizador de fugas. (MAPAS)

## II.2 Reemplazo de la red

Si bien un reemplazo de la red requiere una gran inversión, puede tomarse en cuenta, en la planeación a largo plazo, para la obtención de los recursos. Cuando las tuberías ya no tienen la capacidad para transportar y soportar las presiones a las que son sometidas es conveniente considerar su reemplazo, esto va a depender de los niveles de fugas que se presenten y sus costos, el reemplazo tiene un impacto a largo plazo que permite eliminar de raíz la causa de las fugas. En este caso la antigüedad de las redes hace factible la renovación y sustitución (figura 10). Como se mencionó en el capítulo anterior, el deterioro de la infraestructura afecta directamente la eficiencia física de la red de distribución. Las tuberías son los elementos que más problemas presentan en el comportamiento hidráulico del sistema (antigüedad, material, demanda y diámetro, entre otros). De acuerdo a la velocidad, coeficiente de rugosidad de las tuberías.

En esta acción entra un criterio de selección en donde se analizan la probabilidad de fallo de la tubería de acuerdo al deterioro estructural de ésta, lo que disminuye su elasticidad/resistencia estructural y su habilidad para soportar los distintos tipos de esfuerzos aplicados sobre ella (Verduzco, 2015). También se debe al desgaste y pérdida de capacidad hidráulica, relacionados a las condiciones de operación. En un sistema por tandeo la vida útil de las tuberías se reduce



*Figura 10 Reemplazo de tubería. (MAPAS)*



### II.3 Campaña de eliminación de fugas en casa

En este escenario se establece una campaña de reparación de fugas en cisternas o tinacos; también se consideran las fugas y goteos en inmuebles sanitarios, medidores, lavamanos y otros elementos dentro de los hogares. Esta campaña es motivada para que los usuarios cuenten con las instalaciones correctas o la infraestructura necesaria que permita el menos desperdicio de agua en las casas. En este tercer escenario se considera la evaluación de fugas en tomas domiciliarias, donde se pretende recuperar un porcentaje de fugas del 5%.

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) en su labor de mantener y cuidar el manejo de agua ha implementado ciertas acciones de las cuales destacan la instalación de 847 sectores, de esta manera se espera que se puedan recuperar 2000 lps.

Con respecto a la atención de fugas se cuenta con 14 campamentos que trabajan tiempo completo, así como 18 brigadas para la detección y reparación de fugas, esto con base en información que proporciona SACMEX.



# CAPITULO III

## ANALISIS DE LA OPERACIÓN DE UN SECTOR CON TANDEO Y CON SERVICIO CONTINUO



### III. Análisis de la operación de un sector con tandeo y con servicio continuo

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos de la modelación a partir de datos de medición en los sectores y los posibles escenarios que se presentarían si se pusieran en marcha las acciones para pasar de un servicio intermitente a un servicio continuo en 4 sectores de la alcaldía Venustiano Carranza.

Actualmente el gobierno se propone reorganizar la red de agua potable de la Ciudad de México con la finalidad de garantizar un mejor servicio de agua potable, construyendo 847 sectores con el fin de detectar y atender fugas con mayor rapidez, realizar la medición de gastos, así como el control de presiones en cada uno de los sectores. Se tiene conocimiento que el servicio que proporciona el organismo operador a estas colonias es por tandeo de 6 horas de las 6:00 horas hasta medio día.

#### III.2 Marco físico

##### III.2.1 Localización

La zona de estudio se encuentra dentro de la delegación Venustiano Carranza (figura 11 y 12), una de las 16 alcaldías que conforman la CDMX: representa una superficie de 33.4 km<sup>2</sup> y ocupa el 2.24% del territorio. Se localiza entre las coordenadas geográficas 19° 28' y 19° 24' de latitud Norte y 99° 02' y 99° 08' de longitud Oeste. La alcaldía limita al norte con la alcaldía Gustavo A. Madero, al sur con la alcaldía Iztacalco, al oeste con la alcaldía Cuauhtémoc y al este con el Estado de México.

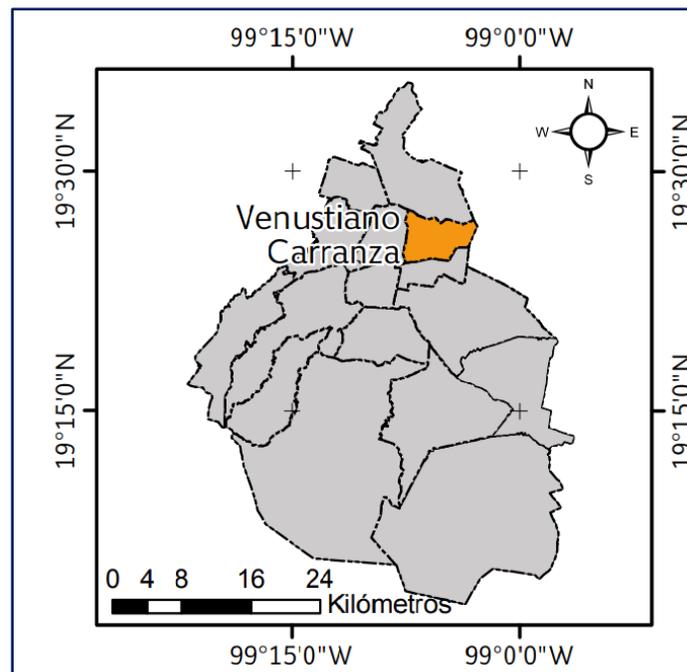


Figura 11 Mapa de localización de la alcaldía Venustiano Carranza. (Mapas de Riesgo, 2014)

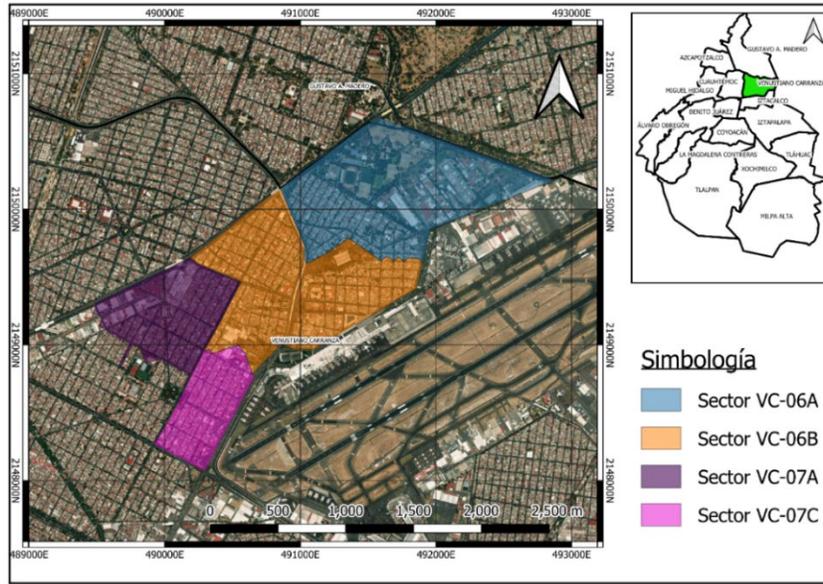


Figura 12 Mapa de localización de los sectores en la alcaldía Venustiano Carranza, Fuente: elaboración propia.

### III.2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, la alcaldía Venustiano Carranza predominan dos tipos de clima: el semiseco templado con lluvias en invierno (BS1kw) como se muestra en la figura 13 es el que mayormente predomina en la porción oriente. El templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw0w) se presentan en menor proporción al occidente del límite de la alcaldía. La temperatura media anual es de 16° centígrados y la precipitación promedio es de 600 mm anuales.

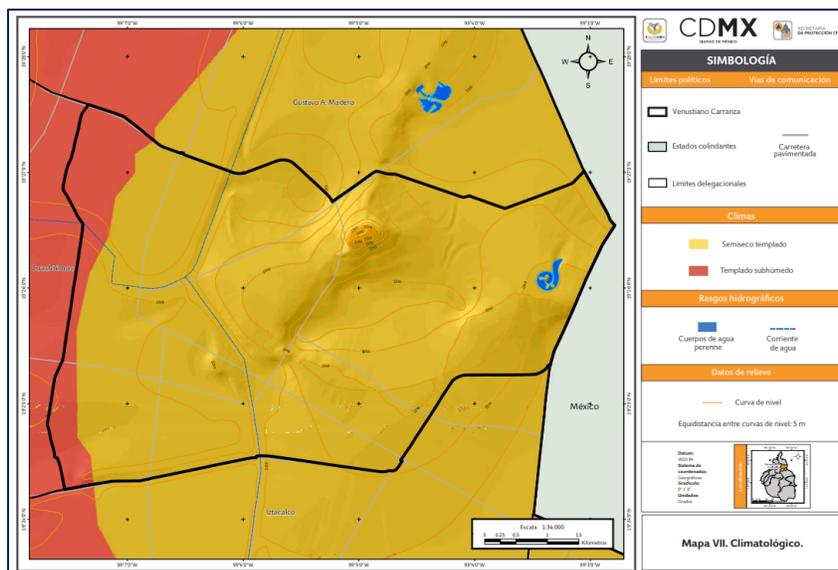


Figura 13 Mapa de Climatológico en la alcaldía Venustiano Carranza. (Mapas de Riesgo, 2014)

### III.2.3 Hidrografía

La zona de análisis se encuentra dentro de la Región Hidrológica 26 del Pánuco (RH26), correspondiente a la cuenca del río Moctezuma (figura 14), con una longitud de 1,490 km (Mapas de Riesgo, 2014). La subcuenca perteneciente a la alcaldía recibe el nombre de Lago de Texcoco-Zumpango, una subcuenca endorreica. Se tienen cuatro flujos entubados y dos canales superficiales que conforman la hidrografía de la alcaldía. El colector Churubusco superficialmente fluye en sentido sureste-noroeste, y se intercepta con el canal del desagüe de la alcaldía, cuyo flujo sigue la dirección suroeste-noreste. El canal entubado de la Piedad escurre al sur de la alcaldía hasta incorporarse con el canal entubado Churubusco. El canal Consulado se conecta con el Canal de Guadalupe. Los cuatro canales entubados fluyen de acuerdo con los límites de la alcaldía.

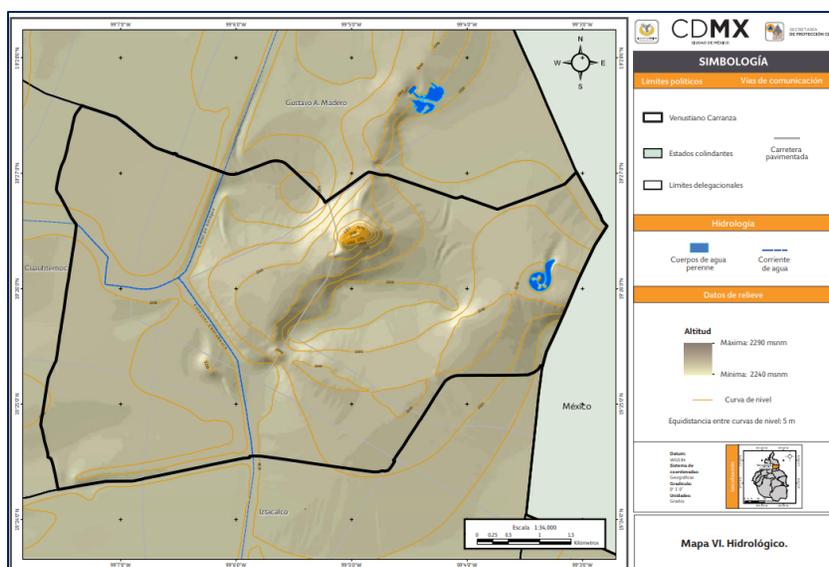


Figura 14 Mapa Hidrológico en la alcaldía Venustiano Carranza. (Mapas de Riesgo, 2014)

### III.2.4 Topografía

La delegación Venustiano Carranza presenta en la zona centro-norte una estructura de origen volcánico conocida como Peñón de los Baños (figura 15). Presentando una altitud máxima de 2,279 m y una media de 2,230 metros sobre nivel de mar.

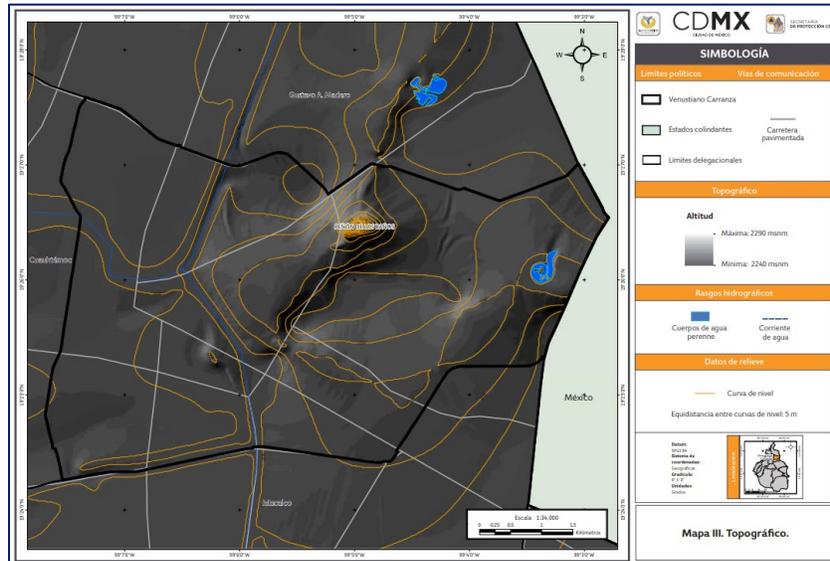


Figura 15 Mapa Topográfico en la alcaldía Venustiano Carranza. (Mapas de Riesgo, 2014)

### III.2.5 Uso de suelo

La mayor parte de la delegación se conforma por área urbana, en la cual predominan las zonas habitacionales (34%), con un 28% se encuentran la zona urbana correspondiente a uso de suelo mixto (figura 16). El aeropuerto internacional Benito Juárez se encuentra dentro de los límites de la delegación con un 22% de extensión respecto al área total, el 8% corresponde a áreas de servicios como escuelas, mercados y deportivos.

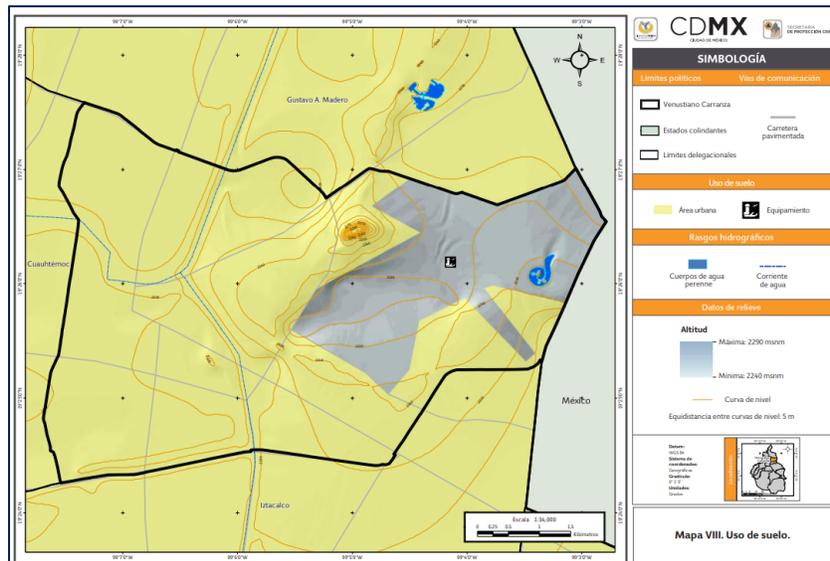


Figura 16 Mapa de uso de suelo en la alcaldía Venustiano Carranza. (Mapas de Riesgo, 2014)

### III.3 Descripción de los sectores Venustiano Carranza

#### III.3.1 Sector VC-06-A

- límites

El sector VC-06-A se encuentra delimitado al este por la avenida Texcoco, dando vuelta a la derecha por Av. Capitán Carlos León, siguiendo por la calle Cuernavaca hacia el oeste, siguiendo los límites con las calles Soles y Emiliano Zapata hasta dar vuelta a la derecha en circuito Interior hacia al norte hasta Av. Oceanía y dar vuelta por la avenida 602. En la figura 17 se muestra el mapa con los límites del sector VC-06-A.

- Área

El sector tiene un área de 1.05 km<sup>2</sup>.

- Población

El sector cuenta con una población de 7,367 habitantes (2019).

- Consumos

Se tiene un consumo de 11.95 lps, teniendo un consumo per cápita de 140 l/hab/día. Este sector es alimentado por el tanque el Peñón, la entrada del suministro al sector se encuentra en la calle Norte 194 esquina con Soles. Se tiene un suministro medio de 23.90 lps.

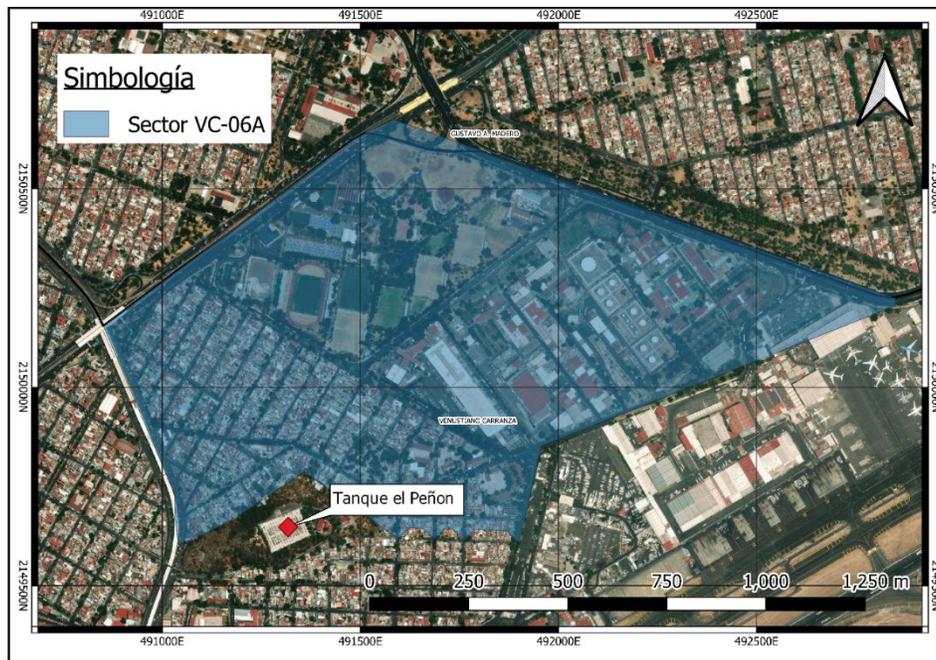


Figura 17 Mapa de límites del sector VC-06A, Fuente: elaboración propia.

### III.3.2 Sector VC-06-B

- Límites

El sector se encuentra delimitado por la av. Capitán Carlos León hasta incorporarse por circuito interior, dando vuelta en c. Nte. 33., sube por la calle Ote. 172 en dirección a Av. Del Peñón, en dirección al norte da vuelta en Av. Oceanía hasta llegar a circuito interior siguiendo los límites con la línea 5 del metro hasta dar vuelta hacia el este por la calle Cuernavaca. En la figura 18 se muestra el mapa con los límites del sector VC-06-B.

- Área

El sector tiene un área de 0.93 km<sup>2</sup>.

- Población

El sector cuenta con una población de 13,056 habitantes (2019).

- Consumos

El sector recibe 42.30 lps de suministro, teniendo una eficiencia del 50% se tiene un consumo de 21.15 lps. Este sector es alimentado por el tanque el Peñón, la entrada al sector se localiza entre la calle Morelos y Matilde Márquez. Este sector tiene un consumo per cápita de 139.96 l/hab/día.



Figura 18 Mapa de límites del sector VC-06B, Fuente: elaboración propia.

### III.3.3 Sector VC-07-A

- Límites

El sector se encuentra delimitado por la av. Oceanía hasta incorporarse por Av. Del Peñón y doblar hacia el sur por la calle Ote. 172 dar vuelta hacia la derecha por la calle Nte. 29. En la figura 19 se muestra el mapa con los límites del sector VC-07-A.

- Área

El sector tiene un área de 0.64 km<sup>2</sup>.

- Población

El sector cuenta con una población de 11,785 habitantes (2019).

- Consumos

El sector recibe 38.20 lps de suministro, teniendo una eficiencia del 50% se tiene un consumo de 19.1 lps. Este sector es alimentado por la red primaria, la entrada al sector se localiza entre la calle Siberia y la Av. Norte 172. Para el sector VC-07-A se tiene un consumo per cápita de 140.03 l/hab/día.

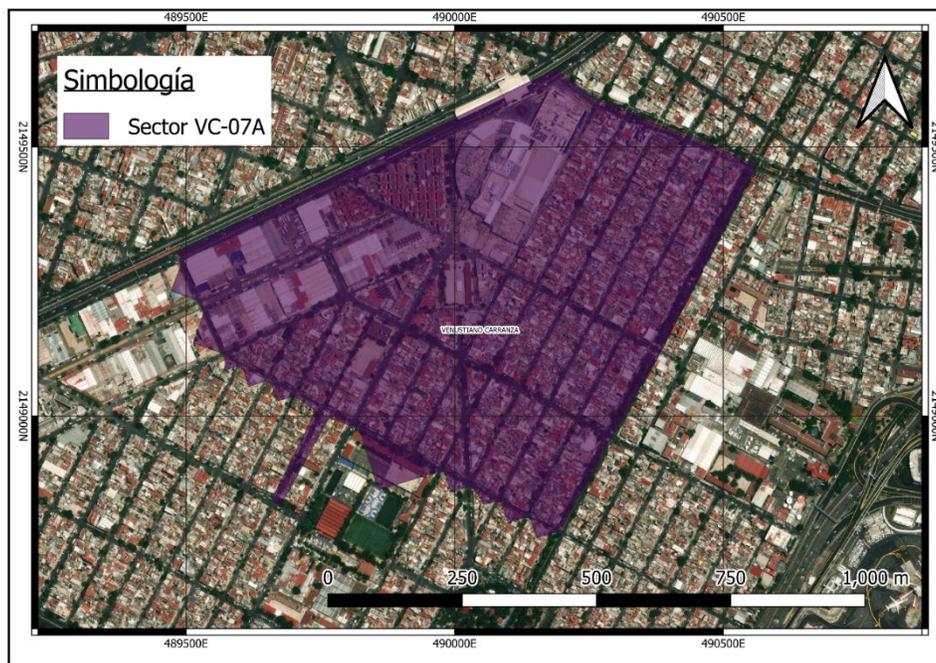


Figura 19 Mapa de límites del sector VC-07A, Fuente: elaboración propia.

### III.3.4 Sector VC-07-C

- Límites

El sector se encuentra delimitado por el Aeropuerto Benito Juárez con el Blvd. Puerto Aéreo, dando vuelta en Eje 1 Norte, enseguida da vuelta a la derecha por la calle Ote. 172 y termina dando vuelta por la calle Nte. 33. En la figura 20 se muestra el mapa con los límites del sector VC-07-C.

- Área

El sector tiene un área de 0.30 kilómetros cuadrados

- Población

El sector cuenta con una población de 5,164 habitantes

- Consumos

El sector recibe 16.70 lps de suministro, teniendo una eficiencia del 50% se tiene un consumo de 21.15 lps. Este sector es alimentado por la red primaria localizada entre 1 Norte y Oriente 178. De acuerdo con la población se tiene un consumo per cápita de 139.71 l/hab/día para el sector VC-07-C.

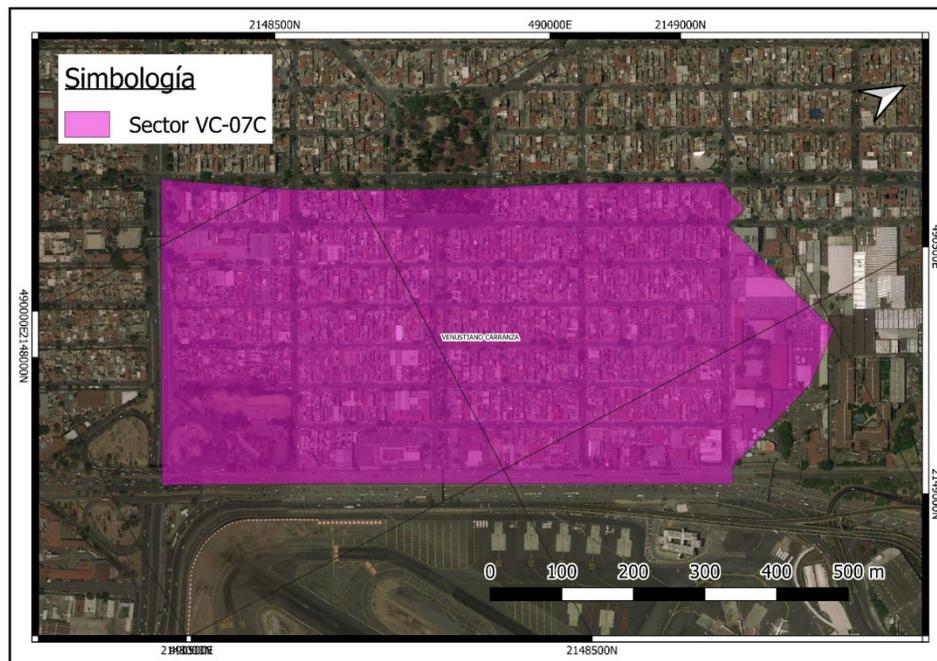


Figura 20 Mapa de límites del sector VC-07-C, Fuente: elaboración propia.



En la tabla 2 se presenta un resumen de la información antes mencionada de cada sector a analizar en este trabajo, como se observa los sectores en cuestión de área se encuentran en un rango menor a 1 kilómetro cuadrado, en los sectores VC-06-A y VC-06-B se tiene un servicio por tandeo, mientras que los sectores VC-07-A y VC-07-C funcionan de manera continua.

Tabla 2 Resumen de datos de sectores

Sector	VC-06-A	VC-06-B	VC-07-A	VC-07-C
Fuente	Tanque "El Peñón"	Tanque "El Peñón"	Red primaria de 36"	Red primaria de 36"
Alcaldía	Venustiano Carranza	Venustiano Carranza	Venustiano Carranza	Venustiano Carranza
Población [Hab]	7367	13056	11785	5164
Consumo [lps]	11.95	21.15	19.1	8.35
Consumo per cápita [L/hab/d]	140.00	139.96	140.03	139.71
Long [km]	18.01	21.62	19.72	7.95
Diámetro de alimentación [pulg]	-	-	36	36
Diámetro de entrada [pulg]	12	12	12	12
Entrada del sector	Norte 194 y Soles	Morelos y Matilde Márquez	Siberia y Av. Norte 172	1 Norte y Oriente 178
Área [km2]	1.05	0.93	0.64	0.30
Suministro [lps]	23.90	42.30	38.20	16.70
Suministro per cápita [L/hab/d]	280	279	280	279
Fugas [lps]	11.95	21.15	19.10	8.35
Población/km	409.03	603.81	597.64	649.71

Fuente: *Elaboración propia.*

Una vez identificadas las condiciones iniciales de cada sector, se lleva a cabo la modelación de diferentes escenarios en donde se busca analizar las condiciones de cada uno si se implementan acciones para recuperar el gasto que se tiene en fugas, la primera acción que se consideraría para recuperar el agua que se pierde en fugas es la implementación de reparación de fugas en cada sector que trabaja mediante tandeo, con esta acción se puede recuperar alrededor de un 5%, en un segundo escenario se propone analizar la implementación de un reemplazo de las tuberías de cada sector, como se mencionó es una acción que se requiere una gran inversión pero se pueden establecer porcentajes de fuga menores al 20% incluso 15% y en el tercer y último escenario se simula el escenario 2 considerando además una campaña de reparación de fugas por parte de los usuarios en sus instalaciones, pudiendo recuperar un porcentaje de fugas del 5% en cada sector, es importante mencionar que a partir del escenario 2 los 4 sectores ya estarían trabajando con un servicio continuo.



### III.4 Modelación hidráulica

Partiendo de un escenario en donde se sabe que el 50% del agua suministrada se pierde, teniendo los archivos EPANET donde se tienen cargado la localización de los nodos con elevaciones y demandas distribuidas. Para modelar la situación actual del sector se tomaron las siguientes consideraciones hidráulicas:

#### Características de las tuberías

Los diámetros que se presenta en la infraestructura actual son tubos de Asbesto Cemento de 4, 6 y 12 pulgadas para el cálculo de las pérdidas por fricción se considera utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach, y se propone la rugosidad de 0.025(Fig. 21) para las condiciones actuales de la tubería se considera que se tiene una conducción de más de 20 años de servicio.

Material	$\epsilon$ (mm)
<b>No metálicos</b>	
Asbesto-cemento nuevo	0.025
Asbesto-cemento, con protección interior de asfalto	0.0015

Figura 21 Rugosidad absoluta de algunos materiales (Sotelo, 2002)

#### Efectos de la edad en tubería

La Rugosidad absoluta varía con los años debido a que las paredes se dañan por los efectos corrosivos del fluido o porque se pegan incrustaciones en las paredes de conducción de sustancias químicas que transporta el fluido. El criterio de Genijew, expuesto por G. SoteloA. (1982), parece ser el más efectivo para modificar la rugosidad absoluta del tubo nuevo, usando la siguiente ecuación:

$$\epsilon_t = \epsilon_0 + at \tag{Ecuación (3)}$$

$\epsilon_t$  rugosidad del tubo despues de t años de servicio, en mm

$\epsilon_0$  rugosidad del tubo nuevo, en mm

$a$  coeficiente, depende del grupo al que se clasifique el agua que va a suministrar.(Tabla 3)

$t$  número de años de servicio de la tubería



Tabla 3 Coeficientes  $a$  de la fórmula de Genijew.

Grupo	Tipo de agua	$a$
I	Agua con poco contenido mineral que no ocasiona corrosión. Agua con un pequeño contenido de materia orgánica y de solución de hierro.	$0.005 < a < 0.055$ Valor medio = 0.025
II	Agua con poco contenido mineral que origina corrosión. Agua que contiene menos de 3 mg/l de materia orgánica y hierro en solución.	$0.055 < a < 0.18$ Valor medio = 0.07
III	Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfatos (menos de 100 a 150 mg/l). Agua con un contenido de hierro de mas de 3 mg/l.	$0.18 < a < 0.40$ Valor medio = 0.20
IV	Agua que origina corrosión, con un gran contenido de cloruros y sulfatos (mas de 500 a 700 mg/l). Agua impura con una gran cantidad de materia orgánica.	$0.4 < a < 0.6$ Valor medio = 0.51
V	Agua con cantidades importantes de carbonatos, pero de dureza pequeña permanente, con residuo denso de 2000 mg/l.	$a$ varía de 0.6 a mas que 1.

Fuente: Sotelo A., 1982.

$$\varepsilon_{20 \text{ años}} = 0.025 + .025 * 20 = 0.5 \text{ mm}$$

La rugosidad absoluta de la tubería considerando 20 años de servicio y que transporta un tipo de agua I con poco contenido mineral se obtiene un valor de 0.5 mm en todas las tuberías.

### Demanda base

Para distribuir el consumo en toda la red del sector se consideró que sería dependiendo del área de influencia de cada nodo que conforman al sector por lo cual se dividió el consumo de cada sector entre el área correspondiente a cada nodo de los 4 sectores.

### Fuente de abastecimiento

Con el objetivo de que se tenga un buen funcionamiento, como se explica en el capítulo de sectorización, se recomienda que solo se tenga una sola entrada a cada sector de la alcaldía, permitiendo tener un solo punto de suministro y medición. La única fuente de abastecimiento o entrada que se tiene identificada en los sectores VC-06-A y VC-06-B es el tanque El Peñón ubicado en el cerro que lleva el mismo nombre, se estableció una carga de 10 m.c.a a partir de la elevación de desplante del tanque que está a 2299.47 m y en los sectores VC-07-A y VC-07-C la fuente es la conexión a la red primaria de 12 pulgadas con una carga de simulación de 15 m.c.a. En el programa las fuentes se simularon con reservorios.



### III.1.1 Calibración de Modelos

Una vez teniendo los datos de entrada de la red se procede a configurar las opciones hidráulicas en el software, como por ejemplo la selección de las ecuaciones de cálculo para determinar las pérdidas por fricción en tuberías mediante la ecuación de Darcy Weisbach como se mencionó en las características de las tuberías, en este escenario inicial se tiene un servicio con tandeo por 6 horas para los sectores VC-06A y VC-06B.

#### Coefficiente de emmiter

Se añadió a cada nudo de la red un emisor, es decir, una salida de gasto dependiente de la presión que permite modelar el flujo de salida a través de una tubería u orificio descargado a la atmósfera. Mediante ellos se puede simular de modo natural el efecto de una fuga en la red.

#### Patrón de demanda

De acuerdo con la información proporcionada el horario de suministro por tandeo es de 6 horas, con datos proporcionados por SACMEX se tienen mediciones de gasto y presión en los 4 sectores, para simular el suministro registrado se propone que el coeficiente de demanda será de 3.5 para el sector VC-06A (figura 22) y de 6 para el sector VC-06B (figura 23) como se muestra en la gráfica. Estos valores fueron propuestos de acuerdo con la calibración realizada con los datos de SACMEX para representar los valores medidos de gasto suministrado. Para el caso de los modelos con servicio continuo se tomó en cuenta el patrón de demanda que tiene el Manual de CONAGUA para la Ciudad de México como se muestra en la figura 24.

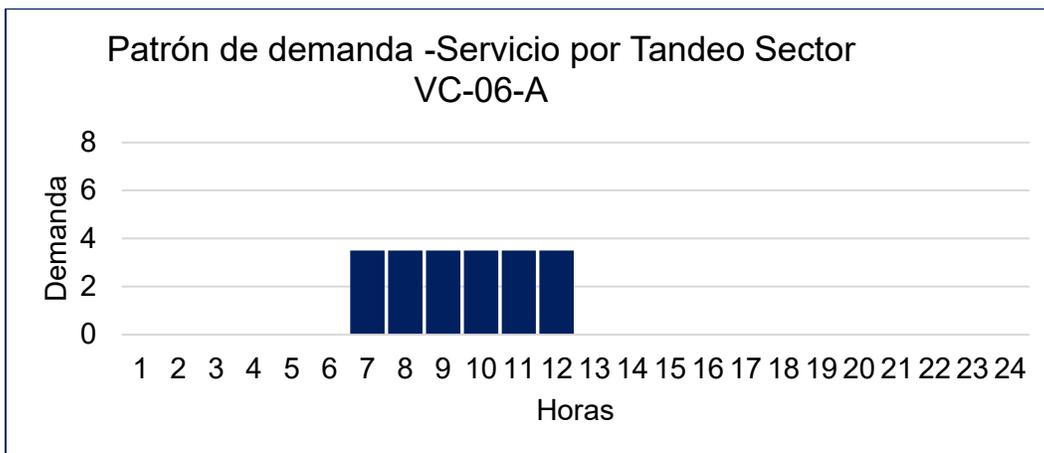


Figura 22 Patrón de demanda para servicio por tandeo sector VC-06-A, Fuente: elaboración propia.

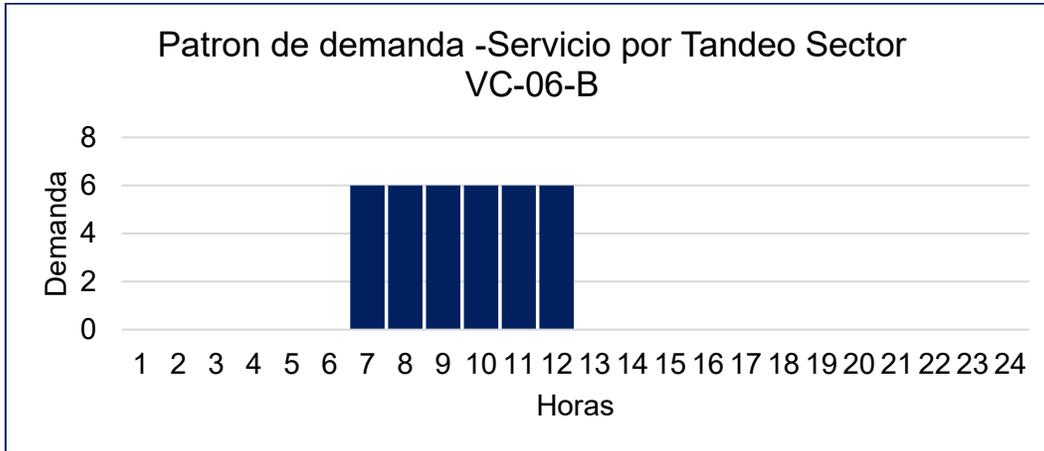


Figura 23 Patrón de demanda para servicio por tandeo sector VC-06B, Fuente: elaboración propia.



Figura 24 Patrón de demanda para servicio continuo MAPAS, Fuente: elaboración propia.

Para modelar las condiciones actuales de la red se tomó en cuenta la información disponible de suministro y presiones medidas por SACMEX, en la imagen se muestra las mediciones tomadas, así como la ubicación de los puntos de medición de cada uno de los sectores descritos. En las figuras 25, 26, 27 y 28 se muestran al menos tres puntos de medición de la presión y la ubicación del sitio de alimentación de cada sector.

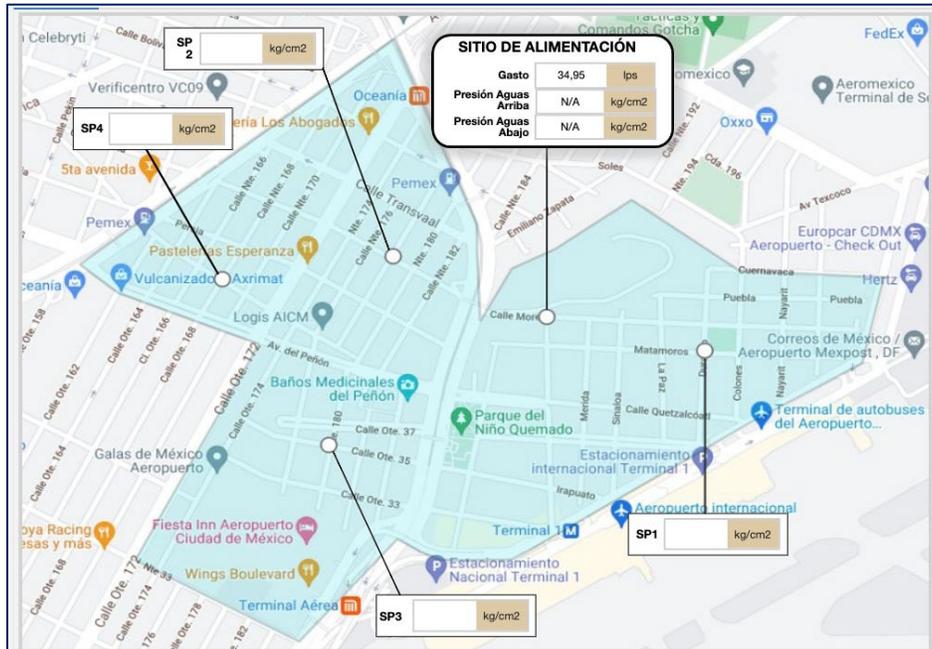


Figura 25 Puntos de medición Sector VC-06-B. (SACMEX)



Figura 26 Puntos de medición Sector VC-06-A. (SACMEX)

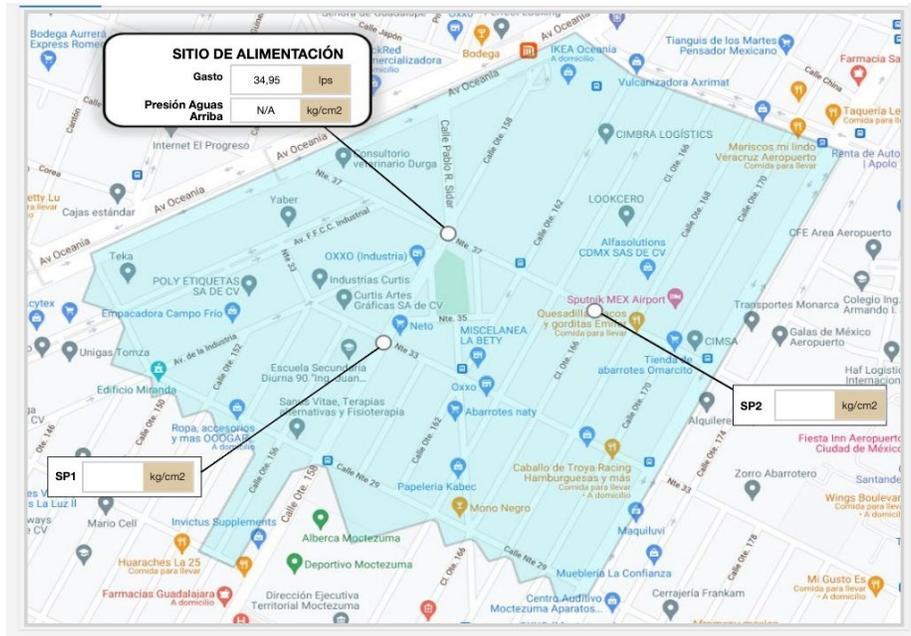


Figura 27 Puntos de medición Sector VC-07-A. (SACMEX)



Figura 28 Puntos de medición Sector VC-07-C. (SACMEX)

De acuerdo a la información obtenida del registro de medición de gasto y presión para el sector VC-06-A en la figura 30 se tiene un gasto de 49.68 m<sup>3</sup>/s, para el sector VC-06-B (figura 31) un gasto de 150.82 m<sup>3</sup>/s, en el sector VC-07-A (figura 32) el gasto medido fue de 38.05 m<sup>3</sup>/s y por último en el sector VC-07-C (figura 33) se midió un gasto de 28.42 m<sup>3</sup>/s. En la tabla 4 se muestran los resultados de la calibración inicial de los 4 sectores de la



alcaldía Venustiano Carranza, que será el punto de partida para el análisis que se pretende desarrollar más adelante. De igual manera se muestra la determinación del porcentaje de fugas en las condiciones iniciales de cada sector tratando de simular los gastos medidos, en este proceso, como se mencionó anteriormente cada sector tiene un patrón de demanda y diferente coeficiente de emmiter.

En los sectores VC-06A y VC-06B al tener un servicio de tandeo el porcentaje de fugas establecido para la modelación es menor, ya que esa es una de las ventajas del tandeo, que se reduce el porcentaje de fugas en las horas suministradas, en el caso de los sectores con servicio continuo se observa que los sectores presentan porcentajes superiores al 45% en fugas, el sector VC-07C tiene un porcentaje de fugas superior del 60%, sin duda es uno de los sectores que menor eficiencia tiene a la hora de operar, que implica que se desperdicia más el recurso de lo que se está consumiendo. Los sectores que operan por tandeo son abastecidos por el Tanque el Peñón, y los que operan con servicio continuo son abastecidos por la red primaria.

En el siguiente capítulo se mostrará los resultados obtenidos con los modelos implementados solo en los sectores que tienen un servicio con tandeo, ya que el objetivo de este trabajo se enfoca en los sectores con tandeo para migrar a un servicio continuo. Sin embargo, se mostró el comportamiento de los otros sectores para comparar el comportamiento de las fugas en ambos casos.

Tabla 4 Calibración de condiciones iniciales de los sectores Venustiano Carranza en los modelos.

Sector	VC-06-A	VC-06-B	VC-07-A	VC-07-C
Consumo (m <sup>3</sup> /s)	41.75	126.60	18.93	8.36
Suministro (m <sup>3</sup> /s)	49.18	150.13	35.87	21.48
Fugas (m <sup>3</sup> /s)	7.43	23.54	16.94	13.12
Fugas	15.1%	15.7%	47.2%	61.1%
Emmiter	0.0012	0.0041	0.0085	0.0190

Fuente: Elaboración propia.

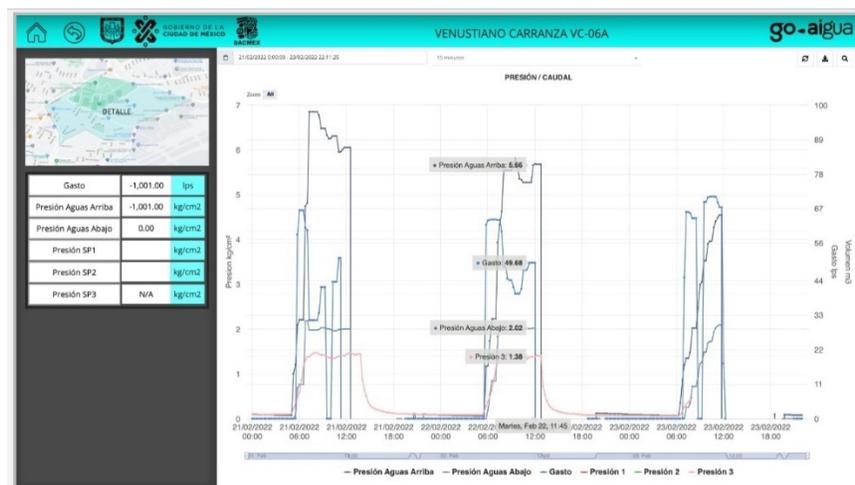


Figura 29 Mediciones de gasto y presión en sector VC-06-A. (SACMEX)





### III.6 Comportamiento hidráulico

Una vez que están calibrados los modelos de los sectores VC-06-A y VC-06-B, se realiza un balance con los modelos modificando el coeficiente de emmiter para reducir el porcentaje de fugas de la condición inicial hasta que represente las condiciones de la implementación de reparación de fugas con tandeo de un 15 a un 10% de fugas. En un segundo análisis se modifican nuevamente el coeficiente de emmiter, pero ahora los sectores VC-06-A y VC-06-B reciben suministro continuo siguiendo el patrón de demanda de 24 horas propuesto por el MAPAS, en estos modelos se considera establecer un porcentaje de fugas del 15%, estos 2 nuevos modelos pretenden simular la acción de un reemplazo de tuberías; como último análisis se establecen porcentaje de fugas de 5% en los 2 sectores ya con servicio continuo.

Uno de los elementos que se debe tener en consideración para el análisis de funcionamiento es las presiones dentro de la red, relacionadas al servicio brindado y las condiciones topográficas de la zona. Para brindar un buen servicio se requiere de una carga mínima para evitar un mal funcionamiento de las instalaciones que impida a los usuarios realizar sus actividades domésticas. Pero también se presenta el caso en que las presiones son tan altas que se requiere de la instalación de tuberías y accesorios que resistan esas cargas, que implica un costo mayor.

A continuación, se presentan los modelos de los sectores VC-06-A y VC-06-B antes descritos en las condiciones iniciales, mostrando el comportamiento cuando se aplica la acción de reemplazo de tubería donde se reduce considerablemente el porcentaje de fugas a un 15%, analizando el comportamiento de las presiones en los nodos en los 2 sectores se observa un aumento de la presión, como se mencionó en los capítulos anteriores, cuando se tienen grandes pérdidas en una red de abastecimiento, se presenta una disminución de la carga de presión, corrigiendo o implementado una campaña de reemplazo de tuberías se mejora el funcionamiento de red de cada uno de los sectores que trabajan independientes uno de otro.

### III.6.1 Sector VC-06-A

En el sector VC-06-A (figura 33) presenta un rango de presiones entre 3 y 4.8 kg/cm<sup>2</sup>, se tiene una VRP consignada a 20 m.c.a después de que sale del tanque el Peñón. En el escenario de reparación de fugas se presentan presiones menores a 4.4 kg/cm<sup>2</sup> en la zona intermedia cuando funciona con un servicio por tandeo (figura 34), mientras que la imagen a la derecha representa las presiones que se tiene cuando se ha cambiado a un servicio continuo, en donde, se tiene una red con un rango de presiones más constante, solo los puntos cercanos a la válvula presentan presiones menores a la media.

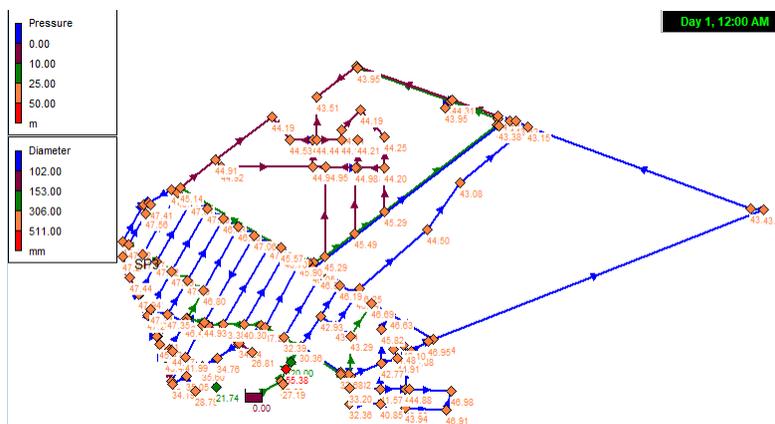


Figura 33 Modelo de Epanet del sector VC-6-A. Fuente: EPANET

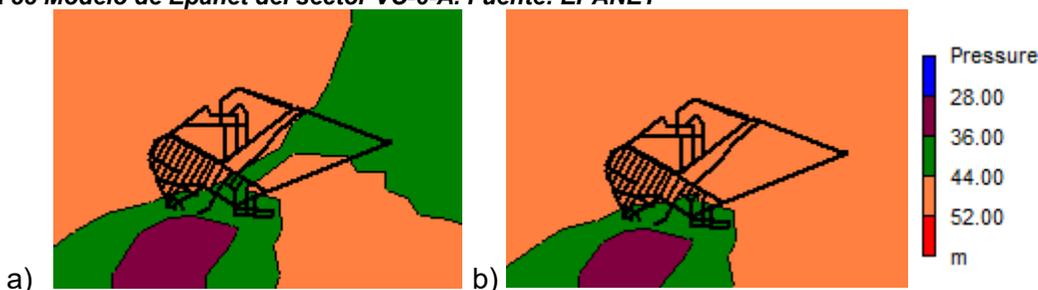


Figura 34 Distribución de presiones del sector VC-06-A a) Tandeo b) Hora de mayor demanda, servicio continuo. Fuente: EPANET

En este sector se tuvo una reducción de 12.8% a 10.5% en las fugas, modificando el coeficiente de emmter inicial de 0.001 a .0008 como se muestra en la tabla 5, recuperando un gasto de 1.26 lps en el primer escenario, en el segundo caso, ya con un servicio continuo se manejó un porcentaje de fugas de 16% con un coeficiente de 0.0006 teniendo un suministro de 14.21 lps, por último, en el tercer escenario, siguiendo un servicio continuo se consideró una reducción al 5.6% recuperando 1.57 lps.

Tabla 5 Gastos de suministro y fugas en el sector VC-06-A

Escenario	Condición inicial	Detección fugas	Sustitución de red secundaria	Eliminación de fugas en casa
Consumo (m <sup>3</sup> /s)	41.75	11.93	11.93	11.93
Suministro (m <sup>3</sup> /s)	49.18	46.65	14.21	12.64
Fugas (m <sup>3</sup> /s)	7.43	4.90	2.28	0.71
Fugas	15.1%	10.5%	16.0%	5.6%
Emmter	0.0012	0.0008	0.0006	0.0003

Fuente: Elaboración propia

### III.6.2 Sector VC-06-B

En el sector VC-06B (figura 35) se observó una disminución de las zonas con baja presión en la zona centro del sector, aumentando el rango de presión en esas zonas a mayor de 2.4 kg/cm<sup>2</sup>. La imagen a la izquierda (figura 36) representa las presiones que se tienen con una reducción del 2.5% de las condiciones iniciales, mientras que la imagen a la derecha representa las presiones que se tiene cuando se ha cambiado a un servicio por tandeo a la hora de mayor demanda.

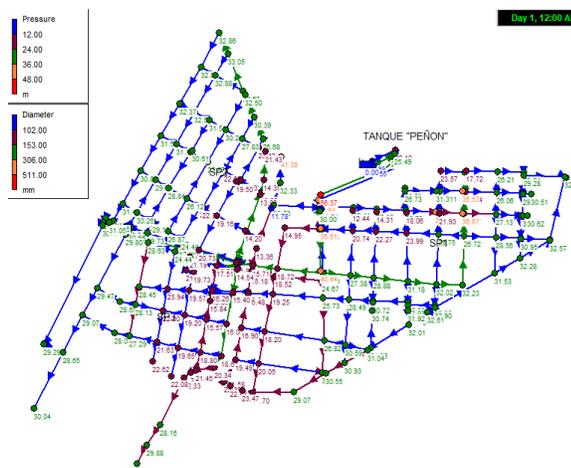


Figura 35 Modelo de Epanet del sector VC-06B. Fuente: EPANET

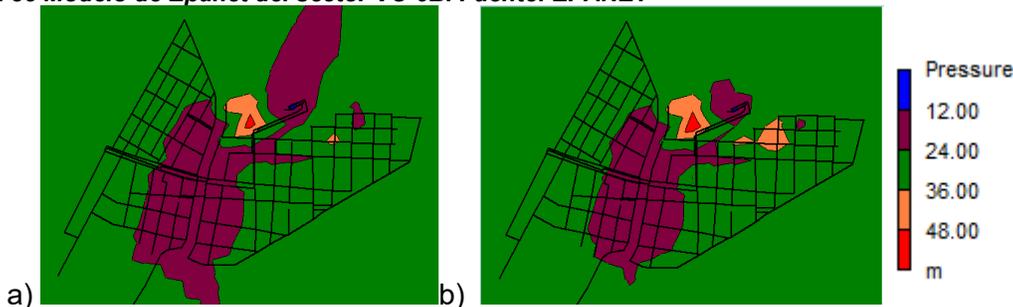


Figura 36 Distribución de presiones del sector VC-06B a) Tandeo b) Hora de mayor demanda, servicio continuo. Fuente: EPANET

En este sector se consideró como condición inicial un porcentaje de fugas de 12.6% que al implementar la acción de detección de fugas se recupera un gasto de 3.35 lps, modificando el coeficiente de emmter de 0.0031 a 0.025 como se muestra en la tabla 6. En el escenario de reemplazo se obtuvo un 15% de fugas con un coeficiente de 0.001, reduciendo a un 5% las fugas se puede recuperar un gasto de 2.69 lps en este sector.

Tabla 6 Gastos de suministro y fugas en el sector VC-06-B

Escenario	Condición inicial	Detección fugas	Sustitución de red secundaria	Eliminación de fugas en casa
Consumo (m <sup>3</sup> /s)	126.60	126.60	21.10	21.10
Suministro (m <sup>3</sup> /s)	150.13	141.43	24.85	22.16
Fugas (m <sup>3</sup> /s)	23.54	14.84	3.75	1.06
Fugas	15.7%	10.5%	15%	5%
Emmter	0.0041	0.0025	0.0010	0.0005

Fuente: Elaboración propia.



### III.7 Volumen requerido en diferentes escenarios

A partir de las corridas realizadas de la simulación en los 2 sectores de la alcaldía Venustiano Carranza se puede obtener el volumen requerido en un día con servicio por tandeo y cuando trabajan con un servicio continuo como se muestra en la tabla 7 . Reducir el volumen de suministro permite que aquellos sectores en donde no se cuenta con el recurso suficiente, el agua que ya no se requiera sea destinada a ellos. De esta manera se hace un mejor uso y se aumenta la eficiencia de operación de la red de abastecimiento.

Tabla 7 Volumen requerido en un día en diferentes escenarios, Sector VC-06-A y VC-06-B,

Volumen requerido al día, en m<sup>3</sup>

Sector	VC-06-A	VC-06-B
Condición inicial	1110.24	3,242.4
Escenario 1 detección fugas	1,007.6	3,050.4
Escenario 2 sustitución de red secundaria	1,359.3	2,375.5
Escenario 3 campaña de eliminación de fugas casa	1,218.9	2,131.5

Fuente:Elaboración propia.

Para observar con detalle la reducción del volumen requerido al día en cada uno de los escenarios planteados partiendo de las condiciones iniciales, se presenta en la figura 37 las siguientes gráficas en cada uno de los sectores. Como se muestra en el sector VC-06B hay una reducción de los volúmenes de agua requerida cuando se implementan las acciones para migrar a servicio continuo, si bien de las condiciones iniciales a la reparación de fugas el volumen recuperado es menor al que se tiene si se realiza una sustitución de la red, en el caso del sector VC-06-A se observa que hubo una disminución en el volumen cuando se reparan las fugas existentes de la red, sin embargo se presenta un aumento en el volumen requerido cuando se hace el cambio a un servicio continuo.

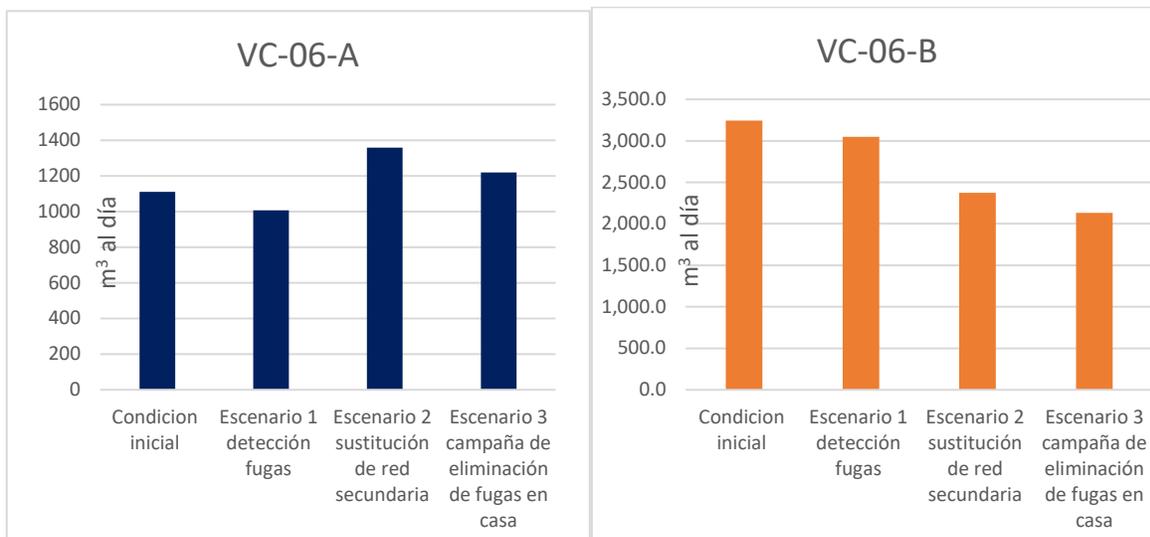


Figura 37 Volumen requerido en un día en diferentes escenarios, Sector VC-06A y VC-06B, Fuente: elaboración propia.



De estos resultados se puede observar las ventajas del tandeo, es decir los volúmenes de agua requeridos se encuentran dentro del rango comparado con el escenario de un servicio continuo; en el sector V-06-B el volumen con tandeo en las condiciones iniciales es mayor al volumen del escenario 3, lo que indica que se está requiriendo menos agua y se está recuperando gasto en fugas. Aunque en el sector VC-06A se presentó un aumento en el volumen, al realizar la simulación el coeficiente de variación propuesto era inferior al coeficiente requerido para satisfacer la demanda en las 6 horas de tandeo, el propuesto tuvo un valor de 3.5, el valor que correspondería de acuerdo a las horas de suministro debería ser de 4, es decir que hay un déficit y no se está cumpliendo con la demanda, o que se está consumiendo menos agua de lo esperado .



# CAPITULO IV

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



## IV. Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos con las simulaciones en el Sector VC-06A se requiere un volumen mayor de agua para mantener el servicio continuo ya que los datos obtenidos del volumen de agua requerida al día indican que hay un déficit en las condiciones iniciales.
- En el sector VC-06B se observó que se está entregando más agua, esta condición se puede deber a que se le esté dando más agua de la que requieren en el sector o que las fugas son mayores de las consideradas. Otra condición podría ser que el sector no esté bien cerrado y exista algún tubo que salga del sector del cual no se tenga control.
- En el sector VC-06B sí se observó una disminución del volumen, en el cual se podrían recuperar alrededor de 992.5 m<sup>3</sup> de las condiciones iniciales a un servicio continuo con un porcentaje de fugas del 5%.
- En este trabajo se pretende reconocer la importancia de la sectorización para el mejoramiento de la eficiencia que conlleva a un mejor manejo y control de las fugas. Es importante mencionar que las simulaciones se realizaron con los sectores ya delimitados, hubiera sido diferente comportamiento el que se presentaría si estos 4 sectores estuvieran conectados entre ellos.

### Recomendaciones

De acuerdo con las observaciones hechas en el sector VC-06B sería importante llevar a cabo un trabajo de campo para verificar las fronteras del sector ya que el factor horario calculado fue de 6, un valor mayor al esperado de 4, que es factor que se esperaría tener para un tandeo de 6 horas.

En los sectores con servicio continuo VC-07A y VC-07C se observó un porcentaje de fugas mayor al 40%, en ellos sería importante llevar a cabo la detección y reparación de fugas para mejorar la eficiencia en ellos. Reducir las pérdidas no solo aumenta las probabilidades de suministrar agua diariamente a toda la población de manera continua, sino que, de esta forma también se está ayudando a detener la sobreexplotación de pozos que abastecen a la Ciudad de México u otras fuentes de abastecimiento.



## Referencias

- Escolero, O., Kralisch, S., Martinez, S., & Perevochtchikova, M. (2016). Factores que influyen en las fuentes. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 409-427.
- IMTA. (2021). *PIGOO*. Obtenido de [www.pigoo.gob.mx](http://www.pigoo.gob.mx)
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2001). *Reducción integral de pérdidas de agua potable* (2a ed.). (V. J. Bourguett Ortiz, & L. H. Ochoa Alejo, Edits.) México.
- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (s.f.). *Mejora de Eficiencia Física*. México: CONAGUA.
- Mapas de Riesgo*. (2014). Obtenido de [http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/docpub/atlasriesgo/MR\\_Venustiano\\_Carranza.pdf](http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/docpub/atlasriesgo/MR_Venustiano_Carranza.pdf)
- Soto Montes de Oca, G. (2008). *Diagnostico sobre la situación de riesgo y vulnerabilidad de los habitantes del Distrito Federal al no contar con el servicio de agua potable, como base para el análisis del derecho humano al agua y los derechos colectivos de los habitantes*. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal.
- Tzatchkov, V. G. (2014). *Avances en la hidráulica de redes de distribución de agua potable*. Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Verduzco, V., Garatuza, J., & Díaz, S. (2015). *Priorización de necesidades de reemplazo de tuberías usando SIG y evaluación multicriterio*. Instituto Tecnológico de Sonora, Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Jiutepec.