



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**OPTIMIZACIÓN Y MEDIOS DE MEJORA EN EL DISTRITO FÉLIX IRETA DE  
LA CIUDAD DE MORELIA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

PRESENTA  
**EDUARDO RAHI GARCÍA VALDEZ**

DIRIGIDA POR  
**DR. BENJAMÍN LARA LEDESMA**

CODIRECTOR  
**M.C. IVÁN GONZÁLEZ ARREGUÍN**

SEPTIEMBRE 2020

## AGRADECIMIENTOS

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial mi Madre Francisca Valdez Soto y mi Padre Nicolás García Landaverde que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies. Ellos son mis pilares de la vida, les dedico este trabajo de titulación.

A mi hermana Anahí García Valdez por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias.

Agradezco a mi director de tesis el Dr. Benjamín Lara Ledesma quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación.

De igual forma, agradezco a mi codirector de tesis el M.C. Iván González Arreguín que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo, también que me ha visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento.

A la Dra. Sonia Tatiana Sánchez Quispe por haberme dado la confianza y la motivación para mejorar de manera académica y como persona, le estoy muy agradecido por todo el apoyo y debo decir que sin ella esta tesis no sería posible de presentar.

A mis amigos: Diego Morales, Michael Estrella y Gualberto Moya, con los que compartí momentos dentro y fuera de las aulas, aquellos amigos de la preparatoria que se convierten en amigos de vida, gracias por todo su apoyo y diversión.

Y por supuesto a mi querida Universidad por permitirme concluir con una etapa de mi vida.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
DEFINICIONES DE AGUA POTABLE.....	6
INTRODUCCIÓN.....	10
JUSTIFICACIÓN.....	15
OBJETIVO.....	15
LA SECTORIZACIÓN DE LA RED.....	18
CONSUMO DOMÉSTICO.....	21
SECTORIZACIÓN.....	24
DIAGNÓSTICO DE EFICIENCIA FÍSICA.....	27
OOAPAS.....	29
DISTRITO HIDROMÉTRICO FÉLIX IRETA.....	31
METODOLOGÍA.....	35
RESULTADOS.....	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXO 1. INFORMACIÓN DE LA RED.....	53
ANEXO 2. TRABAJO DE CAMPO.....	61

## RESUMEN

Morelia ubicada en el estado de Michoacán se encuentra dividida por 190 distritos hidrométricos en los cuales trataremos de subdividir, con el propósito de incrementar su eficiencia hidráulica y ejercer un mayor control operativo de parámetros como la presión, la cantidad de agua, detección de fugas así como la calidad del agua e iniciar un programa de control de pérdidas con base a un análisis hidráulico de alto nivel, aplicando simuladores hidráulicos de redes de agua potable (EPANET) y tecnología sobre sistemas de control automático de medición.

Como primer paso para este proyecto deberemos utilizar un distrito piloto el cual será el distrito Félix Ireta, donde sabemos que el problema que se presenta en este distrito es respecto a las presiones y fugas ocasionadas por el desnivel topográfico del tanque superficial de la planta potabilizadora Vista Bella con respecto al distrito hidrométrico. A pesar que en este distrito cuenta con una válvula reguladora de presión se tiene problema con el punto más favorable y el más desfavorable, donde, el más favorable tiene la mejor presión, pero por las noches presentará presiones muy altas generando grandes fugas ya que en esta parte más baja la tubería es de asbesto y sabemos que las presiones mayores a 30 mca generan fugas y por otra parte si reducimos la presión de llegada al distrito no podremos abastecer a la zona alta.

Por esta razón se pretende realizar una subdivisión del distrito donde se pueda regular la presión de las diferentes zonas y no llegar a presiones tan altas que nos generen fugas en la red.

En Morelia se maneja de acuerdo al Manual de eficiencia física, hidráulica y energética CONAGUA, 2009, donde aclara que un sector puede contener varios distritos hidrométricos dentro de su área.

Los distritos hidrométricos son elementos que se aíslan hidráulicamente con movimiento de válvulas en forma temporal para realizar pruebas de consumos, detectar fugas y evaluar la eficiencia física del agua. El diseño se basa en las especificaciones concretas, para que las pruebas de campo resulten confiables, así, por ejemplo, se maneja un número de usuarios, con la idea de que la medición de los caudales registrados en la entrada del distrito no tenga errores significativos.

En cambio, la sectorización de redes de agua potable tiene otra connotación en su diseño ya que se trata de formar elementos separados físicamente unos de otros, interconectados hidráulicamente sólo mediante líneas de conducción o circuitos primarios de la red que entreguen agua en bloque. Para esta solución se propone la implementación de válvulas reductoras de presión para el control del distrito, serán colocadas de manera estratégica y de forma simple de ubicar, también se tratará de usar un menor presupuesto posible.

## **DISTRITO, HIDROMETRICO, SECTORIZACION, AGUA, POTABLE**

## ABSTRACT

Morelia located in the state of Michoacán is divided by 190 hydrometric districts in which we try to subdivide, in order to increase its hydraulic efficiency and exercise greater operational control of parameters such as pressure, water quantity, leak detection as well as water quality and starting a loss control program based on high-level hydraulic analysis, applying hydraulic simulators for drinking water networks (EPANET) and technology on automatic measurement control systems.

As a first step for this project we must use a pilot district which will be the Félix Ireta district, where we know the problem that arises in this district is regarding the pressures and leaks caused by the topographic drop in the surface tank of the Vista Bella water treatment plant. with respect to the hydrometric district. Despite the fact that in this district it has a pressure regulating valve, there is a problem with the most favorable and the most unfavorable point, where the most favorable has the best pressure but at night it will present very high pressures, generating large leaks since in this lower part of the pipe is asbestos and we know that pressures greater than 30 mca generates leaks and, on the other hand, if we reduce the arrival pressure to the district, we will not be able to supply the upper zone.

For this reason, it is intended to make a subdivision of the district where the pressure of the different zones can be regulated and not reach such high pressures that they generate leaks in the network.

In Morelia, it is managed according to the 2009 CONAGUA Physical, Hydraulic and Energy Efficiency Manual, where it is clear that a sector may contain several hydrometric districts within its area.

Hydrometric districts are elements that are hydraulically isolated with valve movement on a temporary basis to perform consumption tests, detect leaks and evaluate the physical efficiency of the water. The design is based on the specific specifications, so that the field tests are reliable, so, for example, a number of users are managed, with the idea that the measurement of the flows registered at the entrance of the district do not have significant errors.

On the other hand, the sectorization of drinking water networks has another connotation in its design, since it is about forming elements physically separated from each other, hydraulically interconnected only by conduction lines or primary network circuits that deliver block water.

For this solution the implementation of pressure reducing valves for the control of the district is proposed, they will be placed in strategic ways and in a simple way to locate, it will also be tried to use in the least possible budget.

## DEFINICIONES DE AGUA POTABLE

### **Coeficiente de fricción**

Parámetro de diseño hidráulico que permite determinar las pérdidas de energía en una línea de conducción.

### **Consumo de agua**

Volumen de agua utilizado para cubrir las necesidades de los usuarios. Hay diferentes tipos de consumos: doméstico, no doméstico (dividido en comercial e industrial) y público. Este se puede obtener directamente de las mediciones en la toma domiciliaria.

### **Demanda**

Cantidad de agua requerida en las tomas para consumo de una localidad o área de proyecto, considerando los diferentes usuarios (domésticos, comerciales, industriales, turísticos, entre otros) que ahí tienen lugar, más las pérdidas físicas del sistema.

### **Distrito hidrométrico**

Sección de la red de agua potable en la que se controlan las entradas y salidas, para realizar mediciones de consumo y hacer el balance de volúmenes de agua.

### **Dotación**

Cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda de la población en un día medio anual. (Es el cociente de la demanda entre la población de proyecto). Volumen asignado de agua en fuentes al día por habitante, considerando todos los usuarios.

### **Estación de bombeo**

Sitio en donde se instalan equipos mecánicos para elevar la carga hidráulica por medio de bombas, con el objetivo de conducir el agua desde un sitio hasta otro punto de la red con cierta carga hidráulica y gasto determinado.

## **Fuente de abastecimiento**

Cuerpo de agua, subterráneo o superficial, desde la cual se toma el agua para suministro al sistema de distribución.

## **Fuga**

Pérdida de agua a través de cualquiera de los elementos o uniones de un sistema de agua potable, toma domiciliaria o alcantarillado sanitario.

## **Gasto**

Volumen de agua medido en una unidad de tiempo, generalmente se expresa en litros por segundo (L/s).

## **Golpe de ariete**

Fenómeno transitorio consistente en variaciones rápidas de presión y velocidad que acompañan a cualquier cambio repentino en las condiciones de flujo. Las dos causas más frecuentes de estos cambios son el paro no programado de un equipo de bombeo y el cierre brusco de una válvula.

## **Hermeticidad**

Característica de una red de conductos de no permitir el paso del agua a través de sus juntas.

## **Junta**

Sistema de unión entre tubos y piezas especiales.

## **Línea de conducción**

Elemento que sirve para transportar el agua de un lugar a otro de manera continua y puede trabajar a presión en el caso de tuberías o a superficie libre, en caso de canales y tuberías.

## **Organismo operador**

Instancias de las entidades federativas o municipales encargadas de la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

## **Pérdida física**

Volumen de agua que se extrae en la fuente de agua y que no es consumido por los usuarios.

## **Periodo de diseño**

Lapso para el cual se diseña el sistema.

## **Planta de bombeo**

Es el conjunto motor eléctrico, bomba, conductos que se instalan para la extracción y manejo de cualquier tipo de aguas.

## **Planta potabilizadora**

Sitio en el cual se eliminan del agua los elementos nocivos para la salud humana. La calidad del agua que debe extraerse de una planta potabilizadora debe cumplir con los parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

## **Red de distribución**

Conjunto de tubería, piezas especiales, válvulas y estructuras que conducen el agua desde los tanques de regulación hasta las tomas domiciliarias o hidrantes públicos.

## **Toma domiciliaria**

Instalación que se conecta a la tubería de la red de distribución y permite el suministro de agua potable a los usuarios.

## **Usuario**

Quien recibe el servicio de suministro de agua potable para su consumo, a través de una toma domiciliaria.

## **Válvula**

Accesorio que se utiliza en los sistemas de agua para seccionar y controlar el paso del agua.

## **Consumo**

El consumo es la parte del suministro de agua potable que generalmente utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. Se expresa en unidades de  $m^3/d$  o  $L/d$ , o bien cuando se trata de consumo per cápita se utiliza  $L/hab/día$ . Los organismos operadores lo manejan regularmente en  $m^3/toma/mes$ .

El consumo en zonas rurales varía con respecto a la región. Las condiciones climatológicas e hidrológicas, las costumbres locales y la actividad de los habitantes tienen una influencia directa en la cantidad de agua consumida. Para zonas rurales se recomienda considerar un consumo promedio diario de  $100 L/hab$ , el cual esta en función del uso doméstico.

## INTRODUCCIÓN

Morelia fue fundada el 18 de mayo de 1541 por Juan de Alvarado el viejo, Juan de Villaseñor y Luis de León Romano, por mandato del primer virrey de la Nueva España, Antonio de Mendoza y Pacheco. Su nombre en la época prehispánica fue Guayangareo, en la época virreinal primeramente recibió el nombre de Ciudad de Mechuacán, que cambió en 1545 por ciudad de Valladolid en honor a la ciudad homónima en España. En 1828 cambió de nombre por Morelia en honor al héroe de la independencia de México José María Morelos y Pavón, quien nació en esta ciudad. El gentilicio de su población es moreliano.

La ciudad se encuentra situada en un amplio valle antiguamente llamado Valle de Guayangareo, en el centro-norte del municipio, el cual se encuentra rodeado de lomas y colinas entre las que destacan al este el cerro del Punhuato, al oeste el pico del Quinceo, al sur las lomas de Santa María y el pico de El Águila. Su altura en el centro es de 1,920 metros sobre el nivel medio del mar (msnm), variando desde 1881 msnm en la zona de Ciudad Industrial, al noreste, hasta 2,167 msnm en la zona de Altozano al sur de la ciudad.

Morelia colinda en la parte norte con los municipios de Tarímbaro, Chucándiro y Huaniqueo; al este con Charo y Tzitzio; al sur con Villa Madero y Acuitzio; y al oeste con Lagunillas, Coeneo, Tzintzuntzán y Quiroga. Así mismo Morelia se encuentra físicamente en medio del trayecto de las ciudades más importantes del país Guadalajara, Jalisco y Ciudad de México.

Morelia es la ciudad más poblada y extensa del estado de Michoacán con una población de 675,973 en el año 2020 (según el CONAPO) mientras que el municipio cuenta con 825,585 habitantes y su zona metropolitana con 962,555 habitantes, que incluye el municipio de Morelia, Tarímbaro y Charo. Es la cuarta zona metropolitana más poblada de la Región Bajío (después de León de los Aldama, Santiago de Querétaro y Aguascalientes). Su tasa de crecimiento anual es del 2%.

Morelia es una de las más importantes ciudades en el país desde el punto de vista cultural e histórico. Es sede de varios festivales internacionales como el de música “Miguel Bernal Jiménez” y el festival internacional de cine de Morelia, entre otros. El festival de cine ha ido adquiriendo importancia a nivel internacional: con cineastas, guionistas y actores presentando sus obras.

En el ámbito histórico Morelia es considerada cuna ideológica del movimiento de independencia de México. En 1809 ocurrió el hecho histórico conocido como la Conspiración o Conjura de Valladolid una de las reuniones donde se planeó el movimiento. De la ciudad son originarios varios de los impulsores de la primera causa independentista entre los que se encuentran José María Morelos y Pavón, Mariano Michelena. Asimismo, Agustín de Iturbide realizador y consumidor de la independencia nacional y posterior Emperador Constitucional de los mexicanos es originario de la misma. En la ciudad llegó a estudiar y fue rector del antiguo Colegio de San Nicolás Miguel Hidalgo y Costilla. La antigua Valladolid hoy Morelia en la época novohispana destacó como una importante

ciudad al ser sede de la Provincia y Obispado de Michoacán, una antigua jurisdicción política-eclesiástica de las más grandes y prosperas de la Nueva España. Actualmente la ciudad es sede de la Arquidiócesis de Morelia.

Morelia ofrece una gran variedad de atractivos para el visitante: desde la admiración, tranquilidad y armonía de sus edificaciones ancestrales de cantera rosa, su amplia variedad gastronómica (una de las cocinas más ricas y diversas de México), hasta su vasta gama de leyendas, tradiciones, bailes y artesanías, que hacen de esta ciudad uno de los mejores destinos para ir de viaje.

Cristóbal de Olid pasó por el lugar en 1522 cuando fue a sostener una entrevista pacífica con el gobernante purépecha, siendo la primera vez que un europeo visitaba el Valle de Guayangareo. Entre 1525 y 1526, Gonzalo Gómez tomó posesión de terrenos pertenecientes al Valle de Guayangareo. Entre 1530 y 1531 los franciscanos Antonio de Lisboa y Juan de San Miguel llegaron al lugar para construir una capilla dedicada a San Francisco de Asís y el primitivo colegio de San Miguel Guayangareo, a fin de facilitar la evangelización de los naturales del lugar. En 1537 la reina Juana I de Castilla envió una real cédula para ordenar el establecimiento de una ciudad española en Michoacán que debería llevar por nombre “Valladolid”.

El virrey Antonio de Mendoza conoció el Valle de Guayangareo en 1540 y al año siguiente ordenó la fundación de una ciudad en el lugar, siendo ésta fundada, el miércoles 18 de mayo de 1541 a las 8 de la mañana por Alonso de Toledo, Juan de Alvarado El Viejo, Juan de Villaseñor y Luis de León Romano, bajo el nombre de “Ciudad de Mechuacán” y no “Valladolid”, como había sido ordenado por la reina. Debido a disputas con la ciudad de Pátzcuaro, que entonces era capital de la provincia y también ostentaba el título de “Ciudad de Mechuacán”, el nombre se cambió a Valladolid (6 de febrero de 1545) y se le concedió el título de ciudad.

El escudo de armas le fue concedido en 1553. Entre 1575 y 1580 fueron trasladados los poderes e instituciones gubernamentales de Pátzcuaro hacia Valladolid, con lo que se aceleró su crecimiento durante el resto del período colonial. Durante la segunda mitad del siglo XVIII en esta ciudad nacieron o vivieron algunas de las figuras más importantes de la guerra de Independencia de México (Morelos, Josefa Ortiz de Domínguez, Iturbide e Hidalgo).

Durante este periodo en el año de 1794 la ciudad recibe su primera nomenclatura formal, esto obedeciendo a la ordenanza establecida por el gobierno virreinal, la cual se caracterizó por asignar nombre a la mayoría de las calles existentes en la ciudad, hoy en día centro histórico de la misma.

## **Siglo XIX**

En 1809, en plena efervescencia política en la Nueva España se llevó a cabo la Conspiración de Valladolid, liderada por José María García Obeso en la que buscaba lograr la independencia de la Nueva España e iniciar el movimiento de Independencia en esta ciudad el 21 de diciembre de 1809 con el establecimiento del Congreso Mexicano. Debido a un delator la conspiración fue descubierta y sus participantes fueron hechos prisioneros. Durante la Guerra de Independencia, Miguel Hidalgo entró a la ciudad con el ejército insurgente. En 1810 el cura Hidalgo entró a la ciudad y se decretó la abolición de la esclavitud. Posteriormente, en 1813 el cura Morelos intentó conquistar la plaza, pero fue derrotado por Agustín de Iturbide en las Lomas de Santa María. Más tarde, Iturbide consumaría la independencia nacional el 27 de septiembre de 1821, con la entrada triunfal del Ejército Trigarante a la Ciudad de México.

Agustín de Iturbide, oriundo de la entonces Valladolid, fue proclamado emperador de los mexicanos el 19 de mayo de 1822 por el Congreso Nacional, con el respaldo de la mayoría de los diputados, del pueblo, la iglesia y el ejército; fungió como cabeza del primer gobierno formal independiente de la nación, hasta su posterior abdicación en marzo de 1823. El Congreso de Michoacán determinó cambiar el nombre a la ciudad por Morelia el 12 de septiembre de 1828 para honrar a José María Morelos, originario de la ciudad. El municipio de Morelia fue establecido el 10 de diciembre de 1831.

Durante la Revolución de Ayutla (1854), la ciudad fue tomada por los rebeldes Epitacio Huerta y García Pueblita, pero en 1855 fue reconquistada por el ejército de Antonio López de Santa Anna.

Durante la intervención francesa la ciudad fue tomada por tropas imperialistas, por lo cual la capital republicana de Michoacán fue trasladada a Uruapan hasta que terminó este conflicto. A finales del siglo XIX la ciudad inicia su incorporación a la modernidad con la operación de las primeras factorías (1870), la inauguración de la línea telegráfica, la llegada del servicio ferroviario a Morelia (1883), la operación del sistema tranviario, y la inauguración del alumbrado eléctrico (1888) y la primera institución bancaria (1897).

## **Siglo XX**

Las fuerzas revolucionarias maderistas entraron triunfalmente a la ciudad en 1911. Tres años después Morelia fue tomada por tropas revolucionarias, por lo que la capital se cambió provisionalmente a Tacámbaro. La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo fue creada en 1917 a partir del antiguo Colegio de San Nicolás. Morelia fue tomada y saqueada en enero de 1924 por las tropas rebeldes huertistas. La economía de la ciudad se vio seriamente afectada entre 1926 y 1929 durante la Rebelión Cristera, ya que Michoacán fue una de las entidades con mayor actividad cristera.

En 1940, durante las elecciones para presidente de la República y gobernador del Estado hubo disturbios en la ciudad que tuvieron como resultados múltiples muertos y heridos. Durante 1966 se produjo una revuelta estudiantil universitaria que fue contenida mediante la actuación del ejército. La ciudad fue propuesta para formar parte del "Patrimonio Cultural de la Humanidad" en 1990, y al año siguiente recibió esta distinción por parte de la UNESCO. La ciudad estuvo a punto de perder su carácter de Patrimonio Cultural de la Humanidad por la gran cantidad de comercio ambulante informal en su zona centro, hasta que en el 2001 este fue reubicado a diversas plazas comerciales.

## **Siglo XXI**

En la noche del 15 de septiembre de 2008, ocurrió un atentado terrorista en el centro de la ciudad, durante la ceremonia del Grito de la Independencia, con saldo final de 8 personas fallecidas y más de un centenar heridas, atribuidas a una organización criminal nacional. Esto retrasó en buena medida el desarrollo de la ciudad en los últimos años de la primera década del siglo XXI.

El contexto histórico de los inicios de siglo ha estado marcado por un crecimiento urbano sostenido, por lo que los esfuerzos relevantes de la ciudad han sido enfocados en ordenar la acelerada expansión de la mancha urbana. Debido al impulso del crecimiento vertical en la ciudad, así como la extensión horizontal, al grado de llegar a otros municipios, el Ayuntamiento de la ciudad se vio en la necesidad de crear en diciembre de 2013 el Instituto municipal de planeación de Morelia.

A pesar de que la ciudad se ha visto envuelta en diferentes eventos de carácter social, ha resurgido un clima de estabilidad que ha permitido a la ciudad la visita de celebridades y personalidades de carácter internacional, destacando entre ellas la visita de los actuales Reyes de España en 2008, así como la visita del Papa Francisco en 2016, siendo la primera y única ocasión en la historia, en la que un Sumo Pontífice ha visitado la ciudad.

Actualmente se encuentra en desarrollo el proceso de peatonalización del centro histórico, que pretende lograr una ciudad más amigable con el turismo, a su vez de la modernización de la infraestructura vial, que permite una mayor fluidez, especialmente en el periférico de la ciudad.

## **Patrimonio cultural de la humanidad**

El 12 de diciembre de 1991, la UNESCO inscribió a Morelia en la lista del patrimonio histórico. El centro histórico es la ciudad mexicana con más edificios catalogados como monumentos arquitectónicos (posee 1,113 y de ellos 260 fueron señalados como relevantes), de tal manera que visitarla ofrece la garantía de un recorrido enriquecedor por su valor histórico y arquitectónico amplio y variado. Estos inmuebles se asientan sobre una suave loma de cantera que abarca 390 hectáreas distribuidas en 219 manzanas con 15 plazas que se convierten en remansos para el visitante.

Otra característica es su ornamentación exterior conocida como “barroco moreliano”, donde los elementos decorativos escultóricos y vegetales dominan los planos y las líneas de tableros y molduras. Las calles y plazas de la capital michoacana se apegan a la forma de retícula irregular y muchas de ellas rematan con un monumento que origina espectaculares perspectivas.

En su declaración, la UNESCO consideró que algunas de las perspectivas urbanas del centro histórico de Morelia constituyen “un modelo único en América”. Estimó también que la arquitectura monumental de la ciudad se caracteriza por su estilo calificado como “barroco moreliano”, por la originalidad de sus expresiones locales que se plasman en el Acueducto, la Catedral Metropolitana, en el conjunto de la iglesia de la Compañía y el ex Colegio Jesuita, así como en las fachadas y las arcadas de los corredores y patios de las casas Vallisoletanas.

Por otra parte, señaló que la diversidad de estilos va desde tipologías arquitectónicas de finales del siglo XVI, donde el aspecto de fortaleza medieval convive con elementos renacentistas, barrocos y el neoclásico hasta llegar al eclecticismo y afrancesamiento del periodo de Porfirio Díaz.

## JUSTIFICACIÓN

Es necesario llevar a cabo este proceso de sectorización para la mayor optimización del distrito hidrométrico Félix Ireta, con estas mejoras podremos asegurar una mayor funcionalidad en el servicio proporcionado a los usuarios. Una vez realizado este análisis se pretende llegar a una o varias soluciones donde tengamos en cuenta un mínimo ingreso de presupuesto para las mejoras realizadas.

## OBJETIVO

El objetivo de este proyecto es el presentar algunas mejoras para la funcionabilidad de la red de agua potable en el distrito hidrométrico Félix Ireta, la cual tiene presencia de fugas en algunas de las zonas más bajas, ya que las presiones son mayores a las capacidades que presenta el material de la tubería.

Una vez realizadas las mejoras se propondrán varios casos como solución al problema presentado desde cierres de tuberías hasta la sustitución de la totalidad de la tubería de asbesto, todo en base a que capacidades podemos mejorar en la red y que no se presenten presiones demasiado altas para no presentar fugas en la red.

### Ubicación geográfica y datos de la zona de estudio

Se localiza en la zona centro-norte del Estado. Su cabecera es la capital del Estado de Michoacán. Se ubica en las coordenadas 19° 42' de latitud norte y 101° 11.4' de longitud oeste, a una altura de 1,951 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Tarímbaro, Chucándiro y Huaniqueo; al este con Charo y Tzitzio; al sur con Villa Madero y Acuitzio; y al oeste con Lagunillas, Coeneo, Tzintzuntzán y Quiroga. Su distancia a la capital de la República es de 315 km. Su superficie es de 1,197 km<sup>2</sup> y representa el 2.03 por ciento del total del Estado

### Orografía

La superficie del municipio es muy accidentada, ya que se encuentra sobre el Eje Neo volcánico Transversal, que atraviesa el centro del país, de este a oeste, sin embargo, el creciente desarrollo urbano de la ciudad de Morelia ha derivado en la población de las montañas, cerros y lomas aledañas al casco histórico de la ciudad, lo que ha fomentado a su vez la necesidad de acrecentar la infraestructura existente para dar integración a los nuevos asentamientos urbanos.

En el municipio se encuentran tres sistemas montañosos: por el este diversas montañas que forman la sierra de Otzumatlán y las cuales se extienden desde el norte hacia el suroeste, destacando el cerro de “El Zacatón” (2,960 msnm), el cerro “Zurumutal” (2,840 msnm), el cerro “Peña Blanca” (2,760 msnm) y el “Punhuato” (2,320 msnm), que marca el límite

oriental de la ciudad de Morelia, así como el cerro “Azul” (2,625 msnm) y el cerro “Verde” (2,600 msnm) un poco más hacia el sureste. La fisiografía del municipio tiene la siguiente composición.

Por el poniente sobresalen el pico de “Quinceo” (2,787 msnm), el cerro “Pelón” (2,320 msnm) y el más alto del municipio, el cerro del “Águila” (3,090 msnm) que se encuentra un poco más al suroeste. Por el sur el parteaguas que delimita la zona presenta una dirección aproximada de poniente a oriente y los accidentes orográficos corresponden al alineamiento de los cerros “Cuanajo” y “San Andrés”, cuyos remates cónicos sirven como límite a los valles de Lagunillas y Acuitzio. Por este sector destacan la “Peña Verde” (2,600 msnm), el cerro de “Cuirimeo” (2,540 msnm) y el cerro “La Nieve”, que se localiza hacia el extremo suroccidental. Por el norte, y dentro del área urbana de la cabecera municipal, se extiende un lomerío en la dirección oeste-este desde la colonia Santiaguito, el cual continúa hasta enlazarse con los cerros del “Punhuato”, “Blanco”, “Prieto” y “Charo”, que forman el límite oriental y van disminuyendo su elevación hasta formar lomeríos bajos hacia Quirio. El límite norte queda marcado por los lomeríos bajos como el cerro “La Placita” (2,100 msnm) que se localizan hacia el norte del Valle de Tarímbaro, así como el sector más sureños de los valles de Queréndaro y Álvaro Obregón.

## **Hidrografía**

El municipio se ubica en la región hidrográfica número 12, conocida como Lerma-Santiago, particularmente en el distrito de riego Morelia-Queréndaro. Forma parte de la cuenca del lago de Cuitzeo. Sus principales ríos son el Grande y el Chiquito. Estos dos ríos llegaron a rodear la ciudad hasta mediados del siglo XX. El río Grande fue canalizado a finales del siglo XIX debido a los frecuentes desbordamientos. El río Grande tiene su origen en el municipio de Pátzcuaro y tiene un trayecto de 26 km por el municipio de Morelia (atraviesa la cabecera municipal), y desemboca en el lago de Cuitzeo (el segundo más grande del país). Los principales escurrimientos que alimentan a este río son el arroyo de Lagunillas, los arroyos de Tirio y la barranca de San Pedro. El río Chiquito, con 25 km de longitud, es el principal afluente del Grande y se origina en los montes de la Lobera y la Lechuguilla, y se une posteriormente con los arroyos la Cuadrilla, Agua Escondida, el Salitre, el Peral, Bello, y el Carindapaz.

Con relación a los cuerpos de agua en el municipio se tienen la presa de Umécuaro y de la Loma Caliente, así como las presa de Cointzio, las más importante del municipio, con una capacidad de 79.2 millones de metros cúbicos. Otro recurso importante de abastecimiento de agua en el municipio de Morelia son los manantiales, destacando por su aprovechamiento el manantial de la Mintzita, utilizado para el abastecimiento de agua potable para importante parte de la población de la ciudad, así como para usos industriales. También son importantes los manantiales de aguas termales que son aprovechados como balnearios, figurando Cointzio, El Ejido, El Edén y Las Garzas. Volviendo al río Chiquito era uno de los ríos más destacados en el municipio pero con el paso de los años ha dejado de tener aguas limpias, ahora el río está muy sucio y no hay animales como solía haber antes de que la población en general lo contaminara, los ríos, lagos y mares son muy importantes para los municipios, ciudades, estados, países y hasta para los continentes, los

manantiales son una fuente muy buena para obtener agua potable para la población de un municipio, estado, etc.

## **Clima**

Predomina el clima del subtipo templado de humedad media, con régimen de lluvias en verano de 700 a 1,000 milímetros de precipitación anual y lluvias invernales máximas de 5 milímetros anuales promedio. La temperatura media anual es de 14 a 18 grados centígrados (°C), aunque ha subido hasta 38°C. Los vientos dominantes provienen del suroeste y del noroeste, con variables en julio, agosto y octubre, con intensidad de 2 a 14.5 km/h.

## **Flora**

El municipio de Morelia cuenta con diez tipos de vegetación o agrupaciones vegetales primarias, además se tienen extensiones de uso agrícola y pastizales, que se desarrollan sobre áreas alteradas por el hombre y los animales domésticos, generalmente a partir del bosque de encino o del matorral subtropical que fueron expuestos a un pastoreo intenso, las cuales son mezquite, huisache y maguey, se ubica en la zona norte del municipio. Matorral subtropical (nogalillo, colorín, casahuate, parotilla, yuca, zapote prieto, puchote), se localiza sobre terrenos poco empinados muy pedregosos o sobre roca volcánica a altitudes que oscilan entre 1,800 y 2,000 msnm, en las zonas norte, noreste.

## **Fauna**

En el municipio de Morelia se tienen identificadas 62 especies de aves, 96 de mamíferos, 20 de reptiles y 9 de anfibios. Entre ellas están: aves, cuervo común, urraca, pinzón mexicano, búho cornudo, tecolote, zopilote, tórtola cola blanca, jilguero pinero, jilguero dominico, colorín, chipe, gorrión ceja blanca, gorrión casero, tecolote oriental, colibrí berilo, colibrí pico ancho, papamoscas cenizo. Mamíferos: coyote, zorra gris, armadillo, zarigüeya (tlacuache), tuza, murciélago, rata de campo, comadreja, rata parda, rata gris, zorrillo de una banda, mapache, tejón, musaraña, ardilla. Reptiles: falsa coralillo, alicante, hocico de puerco, cascabel oscuro mexicana, cascabel acuático, casquito, llanerita, jarretera. Anfibios: salamandra, salamandra michoacana, sapo meseta, ranita ovejera, ranita de cañada.

## **Características y uso de suelo**

La ciudad se encuentra asentada en terreno firme de piedra dura denominada “riolita”, conocida comúnmente como “cantera”, y de materiales volcánicos no consolidados o en proceso de consolidación, siendo en este caso el llamado tepetate. El suelo del municipio es de dos tipos: el de la región sur y montañosa pertenece al grupo podzólico, propio de bosques subhúmedos, templados y fríos, rico en materia orgánica y de color café “forestal”; la zona norte corresponde al suelo negro “agrícola”, del grupo Chernozem. El municipio tiene 69,750 hectáreas de tierras, de las que 20,083 son laborables (de temporal, de jugo y de riego); 36,965 de pastizales; y 12,234 hectáreas de bosques; además, 460 hectáreas son incultas e improductivas.

## **Economía**

De acuerdo al documento Indicadores de Comercio al Mayoreo y al Menudeo, Estadísticas Económicas INEGI, publicado en julio de 1997, las actividades económicas del municipio, por sector, dentro de las actividades no especificadas, se contempla un 3.77%. De esta forma, las principales actividades económicas de la ciudad son el comercio y el turismo (sector terciario) y después la industria de la construcción y la manufacturera. Por otra parte, la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) del INEGI arroja los siguientes valores absolutos de población ocupada, subocupada y desocupada mayor de 14 años ocupada en los trimestres de los años 2005 y 2006. Y se distribuyen de la siguiente manera: sector primario (agricultura, ganadería, caza y pesca), 6.64%. Sector secundario (industria manufacturera, construcción, electricidad), 25.91%. Sector terciario (comercio, turismo y servicios), 63.67%.

## **LA SECTORIZACIÓN DE LA RED**

En 1980 la industria del agua potable de Reino Unido propuso una técnica para dividir la red de distribución de agua potable en áreas más pequeñas, aisladas unas de otras hidráulicamente, con la intención de mejorar la gestión del control de las fugas. El documento oficial de esta propuesta fue el report 26 Leakage Control Policy & Practice (UK Water Authorities Association, 1980). Las áreas divididas fueron llamadas “District Metered Area” en el idioma español se les conoce como “Distritos Hidrométricos”. En la Figura 1 se muestra un esquema de una red que presenta el principio básico de los distritos hidrométricos.

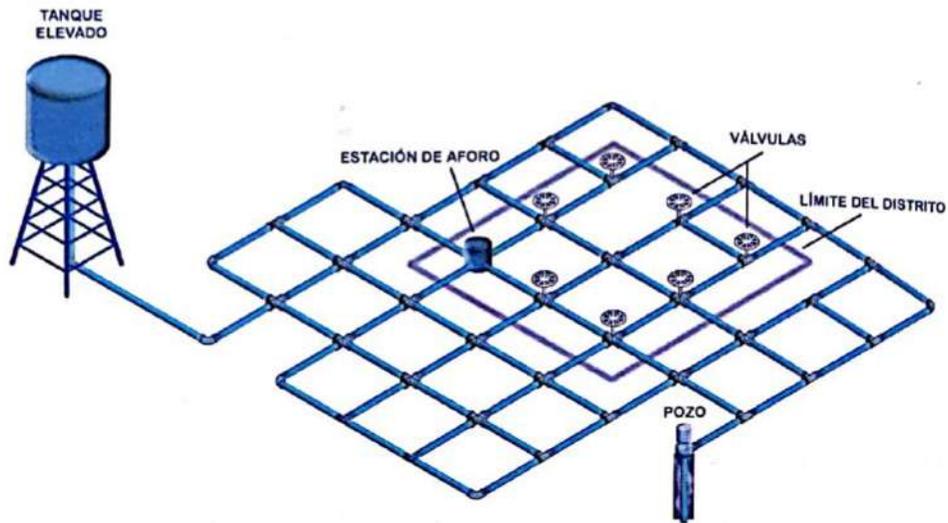


Figura 1. Distrito hidrométrico típico, CONAGUA, 2009

Los distritos hidrométricos se aíslan del resto de la red mediante el cierre de las válvulas o desconexiones de tuberías (Figura 2). El suministro de agua a los distritos hidrométricos se realiza por una sola tubería, en la cual se coloca un medidor que registra el caudal que ingresa en el. El comportamiento del flujo se analiza para estimar el nivel de fugas de la red de cada distrito. En ocasiones, el distrito hidrométrico puede tener hasta tres tuberías para suministrar el agua y una o dos salidas hacia otros distritos, simultáneamente.

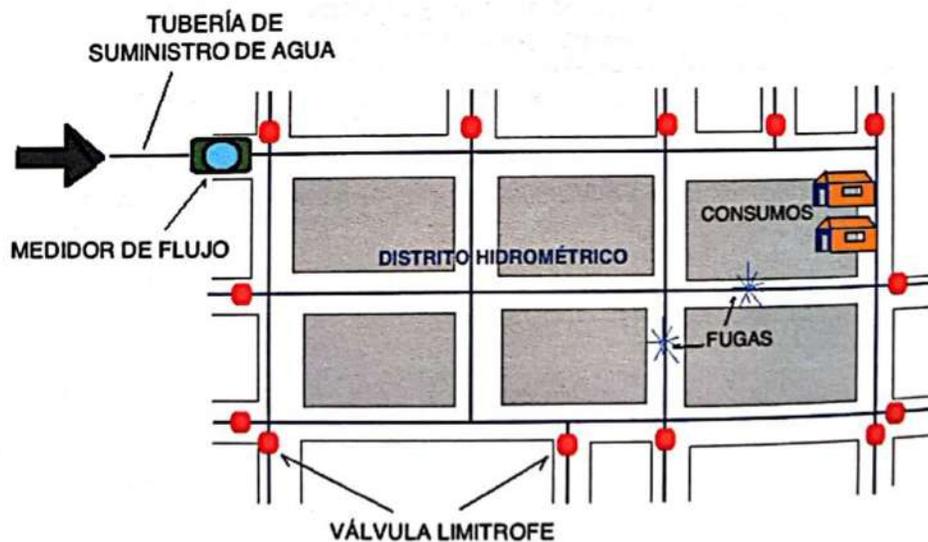


Figura 2. Funcionamiento de un distrito hidrométrico en una red, CONAGUA, 2009

Actualmente, los distritos hidrométricos de una red de agua potable se definen y diseñan en un contexto más amplio para conformar sectores, de tal forma que en cada uno de ellos se tenga un equilibrio entre los volúmenes de agua disponibles y los requeridos por los usuarios. Esta forma de diseño y la operación de las redes con sectores, denominada “sectorización de redes de agua potable”, se efectúa con la finalidad de lograr el incremento y estimación de las eficiencias volumétrica, hidráulica y energética integralmente; es decir, controla fugas, redistribuir el agua en la red y ahorrar energía eléctrica en forma simultánea.

Por lo tanto, hoy en día la sectorización de redes de abastecimiento de agua potable se considera una técnica de diseño y operación hidráulica que consiste en separar una gran red en pequeñas redes aisladas unas de otras, abastecidas por sus propias captaciones de agua, o mediante un sistema primario de suministro de agua en bloque, con el fin de mejorar el control de su operación y el servicio de agua a los usuarios, como se observa en la Figura 3.

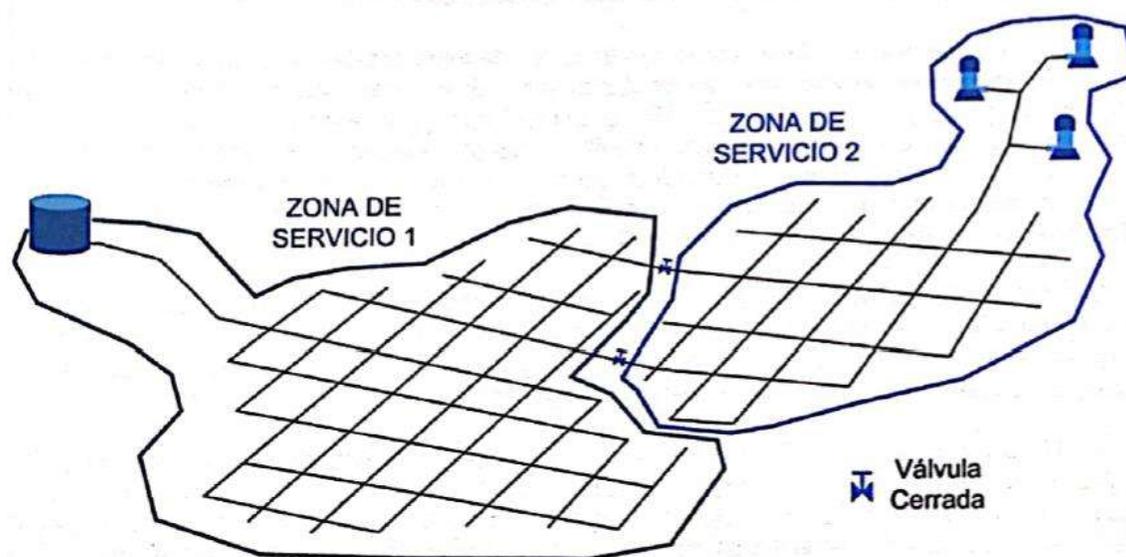


Figura 3. Sectorización de una red de distribución de agua potable, CONAGUA, 2009

A diferencia de los sectores hidrométricos, los cuales son aislados física y permanentemente en la red y cuentan con un abastecimiento de agua propio, los distritos hidrométricos se conforman temporalmente con movimientos de válvulas, sólo con la finalidad de realizar evaluaciones de fugas, consumos y pérdidas de agua. En este contexto, dentro de los sectores hidrométricos se podrán establecer algunos distritos hidrométricos, pero es necesario analizar su funcionamiento hidráulico, en conjunto, para prevenir fallas en el servicio de agua durante su aislamiento ocasional.

El esquema de redes de abastecimiento de agua potable sectorizadas es una práctica mundial de ingeniería de los sistemas hidráulicos urbanos que va aumentando día a día, debido a que las ciudades crecen continuamente y han alcanzado proporciones enormes con una inherente complejidad social, económica y tecnológica de los servicios a sus

pobladores. En esta perspectiva, una red de agua potable convencional es más complicada en su mantenimiento, operación y administración comercial e institucional, que una conformada por sectores.

El principio de subdividir cualquier infraestructura compleja en partes más pequeñas ofrece una manera de establecer un mejor control de todo el sistema e identificar y corregir errores en alguna parte de su proceso productivo. Entonces, el beneficiario general de una red de agua potable sectorizada es disponer de una infraestructura que pueda ser observada y controlada confiablemente, con el fin de otorgar un servicio más eficiente y efectivo de la comunidad, independiente de la magnitud de la ciudad.

Hablar de la sectorización de una red de agua potable es pensar en un rediseño de la infraestructura existente, debido a que con ese nuevo esquema se modificara el diseño original de la red, que ha permanecido desde su inicio, con sus ampliaciones y rehabilitaciones a lo largo de los años. Inmediatamente que se plantea transformar la red actual en una red con sectores, es necesario resolver el problema de su rentabilidad, a través de un análisis costo-beneficio.

Los costos que ocasiona la sectorización de la red de agua potable, en general, son más altos que los que genera un proyecto convencional, principalmente por las inversiones de la construcción y las ampliaciones operacionales y sociales que traerá hacia el interior del organismo operador y hacia los usuarios del sistema de abastecimiento. Ante esta realidad, un proyecto de sectorización difícilmente competirá en costo contra un proyecto convencional. Por esta razón, es indispensable hacer un análisis más profundo donde se incluyan los beneficios derivados del incremento de las eficiencias volumétrica, hidráulica y energética.

Las facilidades para lograr ahorros de agua por reducción de fugas, la optimización de la distribución de las presiones y caudales en las tuberías, y los ahorros económicos por el mejoramiento energético en los equipos de bombeo, son algunos de los parámetros que se deben incluir en los beneficios de un proyecto de sectorización de la red de agua potable.

Es importante mencionar que se debe tener cuidado con esta técnica de ingeniería. Una aplicación desmedida con o sin elementos sustentados y completos pueden conducir a construir una red con un excesivo número de sectores hidrométricos, resultando más compleja operacionalmente y sin los resultados de eficiencia esperados. Este es uno de los riesgos más importantes de los proyectos de sectorización de redes de agua potable.

## **CONSUMO DOMÉSTICO**

Se refiere al agua usada en las viviendas. Este consumo depende principalmente del clima y la clase socioeconómica de los usuarios. El consumo doméstico medio de una clase socioeconómica puede presentar diferencias, por diversas causas, entre las que sobresalen: la presión en la red, la intermitencia en el servicio, la suficiencia del abastecimiento de agua, la existencia de alcantarillado sanitario y el precio del agua. Cuando el análisis se

realiza para una red de distribución existente, preferentemente se debe utilizar información de usuarios por tipo de toma y sus respectivos consumos; la obtención del consumo se realiza a través de un análisis de los consumos del organismo operador considerando las tomas con medición y sin tandeo, ya que representa el agua que la población está dispuesta a consumir a la tarifa actual.

En zonas urbanas el consumo de agua se determina de acuerdo con el tipo de usuarios, se divide según su uso en: doméstico y no doméstico; el consumo doméstico, se subdivide según la clase socioeconómica de la población en alto, medio y bajo. El consumo no doméstico incluye el comercial, el industrial y de servicios públicos; a su vez, el consumo industrial se clasifica en industrial de servicio e industrial de producción (fábricas).

Se refiere al agua usada en las viviendas. Este consumo depende principalmente del clima y la clase socioeconómica de los usuarios. El consumo doméstico medio de una clase socioeconómica puede presentar diferencias, por diversas causas, entre las que sobresalen: la presión en la red, la intermitencia en el servicio, la suficiencia del abastecimiento de agua, la existencia de alcantarillado sanitario y el precio del agua.

Cuando el análisis se realiza para una red de distribución existente, preferentemente se debe utilizar información de usuarios por tipo de toma y sus respectivos consumos; la obtención del consumo se realiza a través de un análisis de los consumos del organismo operador considerando las tomas con medición y sin tandeo, ya que representa el agua que la población está dispuesta a consumir a la tarifa actual.

Este valor se puede extrapolar con motivos de diseño al resto de las tomas para determinar el consumo que se demanda en el sistema. De no ser el caso, se puede proceder a analizar consumos de una ciudad similar en clima y nivel tarifario y aplicar la información del padrón del organismo operador sobre el número de tomas.

En caso de que no se cuente con esta información, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través del Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), desarrolló un estudio de sobre consumos de agua potable en zonas urbanas denominado “Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México” en localidades mayores de 20,000 habitantes para determinar cuáles son los factores que intervienen en la determinación del consumo de agua potable y sus variaciones de acuerdo al clima, del cual se pueden utilizar los datos de la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1. Promedio del consumo de agua potable estimada por clima predominante

Clima	Consumo l/hab/d			Subtotal por Clima
	Bajo	Medio	Alto	
Cálido Húmedo	198	206	243	201
Cálido Subhúmedo	175	203	217	191
Seco o Muy Seco	184	191	202	190
Templado o Frío	140	142	145	142

Tabla 2. Promedio del consumo de agua potable estimado según su nivel socioeconómico y clima

Clima	Nivel Socioeconómico		
	Bajo	Medio	Alto
	m <sup>3</sup> /toma/mes		
Cálido Húmedo	24	25	28
Cálido Subhúmedo	20	23	26
Seco o Muy Seco	22	22	22
Templado o Frío	15	16	14

### Consumo no doméstico

Es el que se utiliza en industrias, comercios y servicios por personas que no habitan en ellas. Para la estimación consumo unitario de este tipo de usuario, se deben utilizar los datos de medición históricos del organismo operador.

### Estudio sobre el consumo

Dada la magnitud e importancia del proyecto aunado a una carencia significativa de información, para dar precisión a los estudios y definición del proyecto es recomendable, siempre que sea posible, hacer un estudio para definir los consumos de agua potable en la zona de interés, para lo cual se podrían desarrollar las siguientes actividades, los cuales se muestran en forma enunciativa más no limitativa y deberán ajustarse a cada caso en particular.

### El agua

Del latín aqua, el agua es una sustancia cuyas moléculas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Se trata de un líquido inodoro (sin olor), insípido (sin sabor) e incoloro (sin color), aunque también puede hallarse en estado sólido (hielo) o en estado gaseoso (vapor).

El agua es el componente que aparece con mayor abundancia en la superficie terrestre (cubre cerca del 71% de la corteza de la Tierra). Forma los océanos, los ríos y las lluvias, además de ser parte constituyente de todos los organismos vivos. La circulación del agua en los ecosistemas se produce a través de un ciclo que consiste en la evaporación o transpiración, la precipitación y el desplazamiento hacia el mar.

Se conoce como agua dulce al agua que contiene una cantidad mínima de sales disueltas (a diferencia del agua de mar, que es salada). A través de un proceso de potabilización, el ser humano logra convertir el agua dulce en agua potable, es decir, apta para el consumo gracias al valor equilibrado de sus minerales. Es importante destacar que la escasez de agua potable en numerosas regiones del planeta genera más de cinco millones de muertes al año.

El agua mineral, como su nombre indica, contiene minerales y otras sustancias disueltas, de modo tal que se le agrega un valor terapéutico o se altera el sabor. Este tipo de agua es el que se comercializa envasado en todo el mundo para el consumo humano.

### ¿Cómo se usa el agua?

En México los usos del agua se han clasificado en dos grandes grupos: el uso consuntivo, que en términos sencillos se refiere al consumo de agua por parte de los diferentes sectores, y el uso no consuntivo, que involucra el uso de la energía motriz del agua para producir electricidad (hidroeléctricas).

Año con año, la autoridad responsable de la administración del agua en México, la CONAGUA emite un informe en el que analiza el volumen de agua autorizado por tipos de uso. Aun cuando estos son los datos oficiales, el volumen autorizado en una concesión no representa el volumen real de uso, pero sí permite hacer inferencias y comparaciones entre sectores y usos en el país.

En el último informe de Estadísticas del Agua en México 2016, el volumen total concesionado para usos consuntivos, a 85,665 millones de metros cúbicos.

## SECTORIZACIÓN

La palabra sectorización no es reconocida por la Real Academia de la Lengua Española y no existe en el diccionario; la palabra sector está definida como: una parte de una ciudad, o como subdivisión de una red. Dentro del subsector de agua potable, el término sectorización es conocido como la formación de zonas de suministro autónomas, mas no independientes, dentro de una red de distribución; en palabras simples, es la partición de la red en muchas pequeñas redes, con el fin de facilitar su operación. De este modo, será mucho más sencillo controlar los caudales de entrada en cada sector, las presiones internas de la tubería, la demanda y el consumo, así como las pérdidas de agua, tanto en fugas como en usos no autorizados. Aún más, puede conducirse el agua por la red primaria, sin exceso de conexiones con la secundaria, desde la fuente de alimentación hasta los puntos más lejanos, generalmente sacrificados en la distribución del agua. Un sector es una porción de la red de distribución bien delimitada geográficamente, la cual cuenta con una fuente de abastecimiento definida y con capacidad suficiente para cubrir la demanda de los usuarios y sus variaciones en el tiempo. A continuación, se presentan las etapas para definir la conformación de sectores.

Distrito hidrométrico = sector hidrométrico = sector

Debe estar perfectamente delimitada por medio de válvulas de seccionamiento, adecuadamente instrumentada para aforar el caudal de entrada, para medir y controlar la presión de operación, a fin de brindar la misma calidad del servicio de suministro a la totalidad de los usuarios contenidos en esta red. Ante tales ventajas, cualquier organismo

operador desearía llevar a cabo la sectorización; no obstante, se requiere una serie de condiciones que permitan realizarla con cierto nivel de confiabilidad y obtener los resultados esperados.

Contar con la información completa del sistema de distribución (catastro) y la forma de operación real para poder utilizar un software o modelo numérico que permita simular el funcionamiento hidráulico del sistema, el mismo que deberá verificarse mediante algunas mediciones estratégicas y realizar así una calibración del modelo.

### **Etapas de la sectorización**

El proceso de esta acción es largo y requiere gran cantidad de recursos humanos y económicos, por lo que debe partir de una planeación precisa y sobre todo comprometida por parte de los responsables de la prestación del servicio de agua potable de la localidad, más aún si se considera que los resultados no se obtienen en el corto plazo y tampoco ofrece las bondades que representan las obras visibles que ganan popularidad entre la comunidad. Por ello, cobra gran importancia mantener informada a la ciudadanía sobre la necesidad de llevar a cabo estas acciones.

No está de más el acercamiento a los organismos que de alguna manera ya han vivido la experiencia de este proceso con éxito, por lo que en el siguiente apartado se abordarán algunos casos destacados en la materia y cuyos resultados han dejado suficiente evidencia de su progreso.

Resumen las etapas que deben seguirse durante la sectorización:

1. Catastro del sistema de distribución de agua potable;
2. Anteproyecto del sistema, puntos de alimentación definidos y posibles interconexiones controladas para protección de eventualidades;
3. Diseño e implementación de un sector piloto, incluyendo las válvulas de seccionamiento necesarias, los mecanismos para el control de las presiones, la medición de gastos de alimentación, así como la variación diaria de la demanda, ya sea que ésta sea supuesta o inferida por algunas mediciones;
4. Calibración de un modelo de simulación hidráulica con base a las mediciones del punto anterior;
5. Ajuste del proyecto piloto a partir de la modelación, controlando las presiones, midiendo los gastos y evaluando la relación entre presión y fugas;
6. Ampliación de la experiencia piloto a dos o tres sectores más; y,

7. Con los resultados obtenidos, puede evaluarse el proyecto integral de sectorización, con una muy buena aproximación sobre los costos y los beneficios que pueden esperarse, así como los tiempos necesarios.

### **Redes de distribución**

Definición una red de distribución de agua potable es el conjunto de instalaciones que la empresa de abastecimiento tiene para transportar desde el punto o puntos de captación y tratamiento hasta hacer llegar el suministro al cliente en unas condiciones que satisfagan sus necesidades.

Este grado de satisfacción tiene un elevadísimo número de componentes, unos medibles y otros no, y entre los que podemos destacar la calidad, el caudal, la presión, la continuidad del suministro y el precio. Naturalmente todos estos componentes tienen unos antecedentes a la red de distribución, por lo que los parámetros iniciales vienen prefijados. Por tanto, debemos crear es una red de distribución que altere lo menos posible las características de los componentes, minimizando la variación de satisfacción de las necesidades de los clientes.

### **Gestión de la presión**

La gestión de la presión tiene un enorme potencial para ayudar a mejorar la eficiencia y aliviar los problemas relacionados con la escasez de agua. De hecho, la gestión de la presión se reconoce hoy en día como la base para una gestión óptima de los sistemas de distribución y suministro de agua. Actualmente, los beneficios demostrados de la gestión de la presión en los sistemas de abastecimiento incluyen no solo las ventajas de reducir las tasas de caudal de fuga para la conservación de agua, sino también para los clientes y empresas de servicio de agua derivadas de un menor número de reventones y fugas.

Entre estas destacan, por ejemplo, menos costes de reparación y reinstalación, reducción de la responsabilidad pública y la publicidad negativa, menos costos de control de fugas activas, aplazamiento de la renovación de infraestructuras y mayor duración de las conexiones de redes y servicios. Entre las ventajas también se incluyen menos problemas en las conexiones de servicio de los clientes y sistemas de fontanería, todo lo cual conlleva menos reclamaciones de los clientes.

## DIAGNÓSTICO DE EFICIENCIA FÍSICA

La eficiencia física se refiere a la conservación del agua en el sistema de abastecimiento y se calcula en porcentaje (CONAGUA, 2005) como:

$$\eta = \frac{V_c}{V_s} \times 100$$

Donde:

$\eta$  = eficiencia física en por ciento

$V_c$  = volumen consumido en metros cúbicos, cantidad de agua, medida o no (cuota fija), que reciben los usuarios en sus tomas, estén o no registradas por el organismo operador

$V_s$  = volumen suministrado en metros cúbicos, cantidad de agua producida o extraída de las fuentes de abastecimiento

La eficiencia física determinada con la ecuación anterior refleja, en buena medida, la capacidad que tiene un sistema de abastecimiento para entregar el agua inyectada de la red hasta los usuarios y la magnitud del volumen de las fugas existentes. Sin embargo, el valor de la eficiencia física no manifiesta de manera exacta el nivel de deterioro de la tubería, tomas domiciliarias y otros elementos del sistema.

Por esta razón, recientemente se promueve la aplicación de indicadores relativos que dependen de la longitud, la presión media, el tiempo de servicio y el número de tomas domiciliarias que tiene la red de distribución.

La International Water Association (*IWA*) recomienda la utilización del Indicador de Fugas Estructural (*IFE*) que se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$IFE = \frac{VIF}{UMF} = \frac{\frac{V_f}{t NT}}{(A L_r + B NT + C L_t) P_m} = \frac{V_f}{t (A L_r + B NT + C L_t) P_m}$$

Donde:

$VIF$  = indicador del volumen de fugas, m<sup>3</sup>/toma/día

$UMF$  = umbral mínimo de fugas (referencia óptima), m<sup>3</sup>/toma/día

$V_f$  = volumen de fugas en el sistema, m<sup>3</sup>

$t$  = tiempo de operación del sistema (días)

$NT$  = número total de tomas domiciliarias registradas

$A, B, C$  = constantes que ponderan la variable que acompañan y que han sido determinadas con un análisis estadístico de 20 países:  $A = 18$ ,  $A = 0.8$ ,  $A = 25$

$L_r$  = longitud total de la tubería de la red de distribución (km)

$L_t$  = suma de las longitudes de todas las tomas domiciliarias (km)

$P_m$  = carga de presión media en la red de distribución (m)

Un valor del *IFE* igual a uno deberá ser interpretado como el estado físico óptimo deseable en una red de abastecimiento. En la medida en que este valor se incremente, se interpretará como que la red se encuentra más deteriorada.

El objetivo del diagnóstico de eficiencia física es precisamente determinar los valores del indicador de eficiencia y del *IFE* de la ecuación e identificar y cuantificar las pérdidas reales o fugas, así como proporcionar las bases para la elaboración de un proyecto de incremento de la eficiencia física del sistema. El diagnóstico de la eficiencia física de un sistema de agua potable se elabora con base en el balance de agua, que es una técnica para auditar detalladamente la forma de administrar el suministro y el consumo de agua de un sistema de agua potable y discriminar las pérdidas reales de las aparentes. En la Figura 4 se presenta la estructura del balance de agua, que es una herramienta útil de “buenas prácticas” que permite identificar como se distribuye el volumen en el sistema.

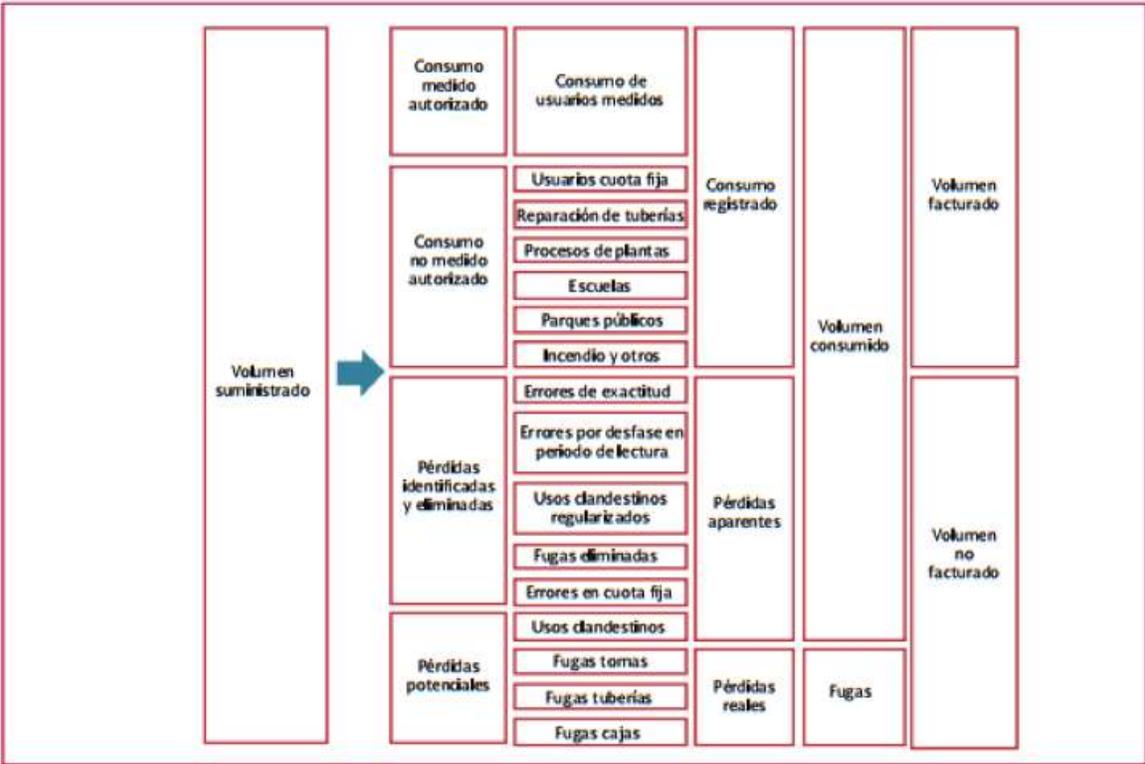


Figura 4. Estructura estándar del balance de agua Ochoa y Reyes (2008)

Como se observa el uso agrícola ocupa el primer lugar con el 68.2% de este volumen, le siguen en importancia el uso público con el 14.5%, el uso industrial con el 7.4%, el uso múltiple con 6.5% y los demás usos que no alcanzan el 2%.

Adicionalmente, en el mismo año se concesionó un volumen de 180,895 millones de metros cúbicos para la hidroeléctrica (uso no consuntivo). Ver Figura 5.

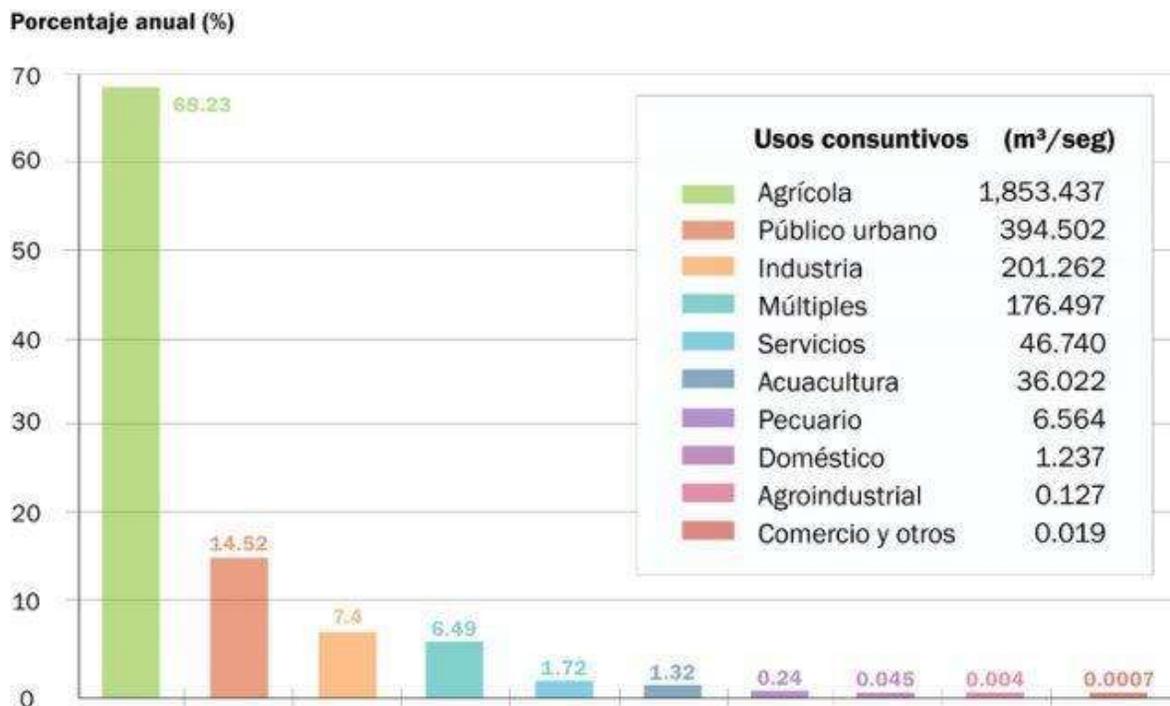


Figura 5. Gráfica elaborada con datos de CONAGUA, 2016

## OOAPAS

El Organismo Operador de Agua Potable y Saneamiento del municipio de Morelia (OOAPAS), se crea el 17 de agosto de 1994, a través del decreto 44, tomo CXIX, publicado en el periódico oficial del Gobierno Constitucional del estado de Michoacán de Ocampo, por el Honorable Ayuntamiento de Morelia, Michoacán.

El OOAPAS es un organismo operador con características y funciones de un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propios. Y asume la responsabilidad de operar, administrar, mantener, conservar, rehabilitar, ampliar y mejorar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento del municipio de Morelia, Michoacán.

### Misión

Prestar los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario, saneamiento y manejo de aguas pluviales, con calidad, eficiencia y rostro humano y honesto, a los habitantes de Morelia, para contribuir a su calidad de vida, dentro de un marco de desarrollo integral sustentable.

## Visión

Ser un OOAPAS integrado, competitivo rentable y altamente eficiente, con eficiente, excelente atención a los usuarios, comprometidos con la calidad de los servicios y la sustentabilidad ambiental, y promotor del uso eficiente y racional del agua.

## Valores

Honestidad, responsabilidad, calidad, innovación, consciencia económica y consciencia ecológica.

## Distribución

Dentro de este organismo operador se encuentra el área de distribución de agua potable de la ciudad de Morelia la cual está dividida en ocho sectores, Figura 6, cada uno de los sectores cuenta con diferente personal especializado para su óptimo funcionamiento.

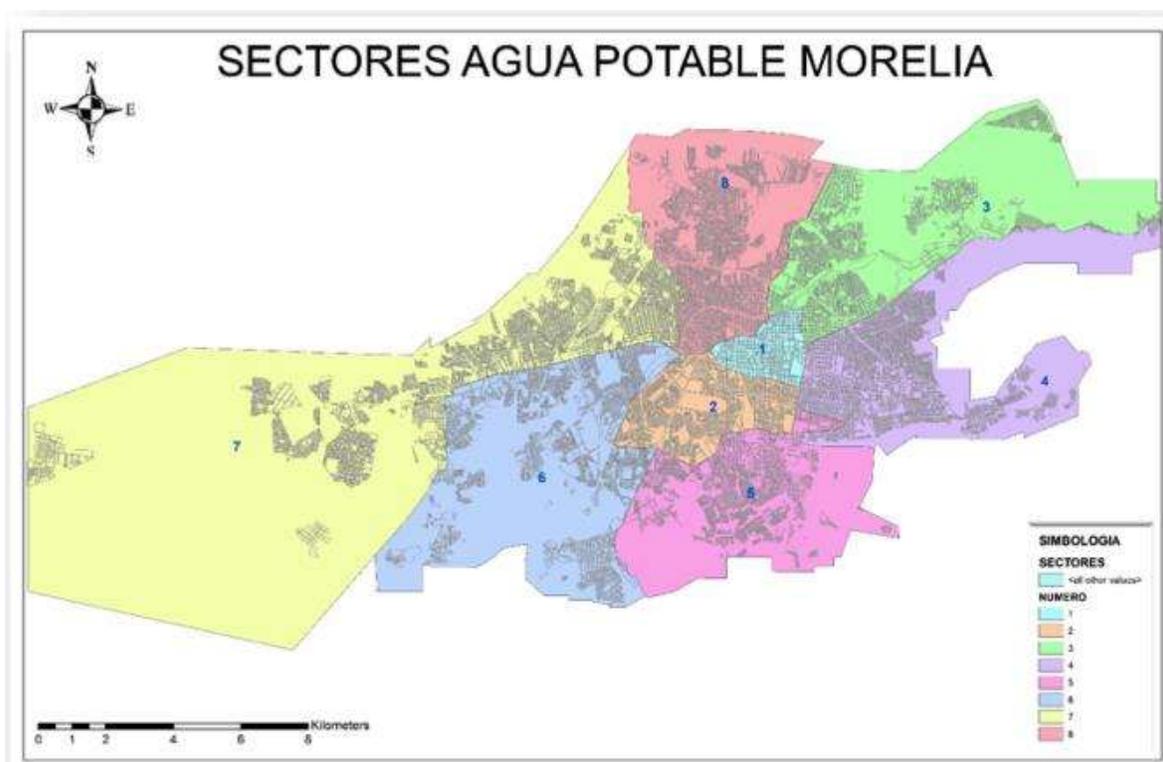


Figura 6. Sectores de agua potable en Morelia

Además de los ocho sectores en los que se divide la ciudad de Morelia también está dividida por alrededor de 190 distritos hidrométricos.

## DISTRITO HIDROMÉTRICO FÉLIX IRETA

Es una de las primeras colonias formadas en el municipio de Morelia cuenta con una superficie alrededor de 32 hectáreas, este distrito hidrométrico está habitado en su totalidad, tiene 26,444.5 m de tubería en total y 3,775 usuarios, en la Tabla 3 se puede observar el total de tubería en el distrito y sus usuarios

Tabla 3. Tubería existente en el distrito hidrométrico Félix Ireta

DIAMETRO	PVC	AC	DI	FoFo	ACERO	PeAD
1"						
1.5"						
2"	2118.42					
2.5"	1509.16	661.66				
3"	5936.46	5051.45	3.97			
4"	2041.31	1367.14				
6"	528.54	2084.73				
8"	63.76	2898.82				
10"						
12"						
14"						
16"						
18"						
20"		944.05				
24"		147.83	1087.2			
60"						
<b>TOTAL:</b>	<b>12197.65</b>	<b>13155.68</b>	<b>1091.17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL DE TUBERIA EXISTENTE</b>					<b>26444.5 M</b>	

Como se observa en la Tabla 4 son necesarios 21.75 L/s para abastecer el distrito Félix Ireta.

Tabla 4. usuarios del distrito hidrométrico Félix Ireta

TIPO DE USO	USUARIOS	DEMANDA
ASISTENCIAL	5	0.05362654
COMERCIAL	540	4.17341821
DOMESTICO	2958	14.9679784
INDUSTRIAL	34	1.56963735
MIXTO	0	0
OFICIAL	22	0.98167438
SIN CONTRATO	216	0
<b>TOTAL</b>	<b>3775</b>	<b>21.74633488</b>

En Figura 7 se observa el total de la tubería del distrito y todos los diámetros con la que opera, el distrito está en buenas condiciones ya que se encuentra totalmente independiente de los demás distritos, tiene un desnivel de 21 metros un perímetro de 5,061 metros y un área de 146 hectáreas.

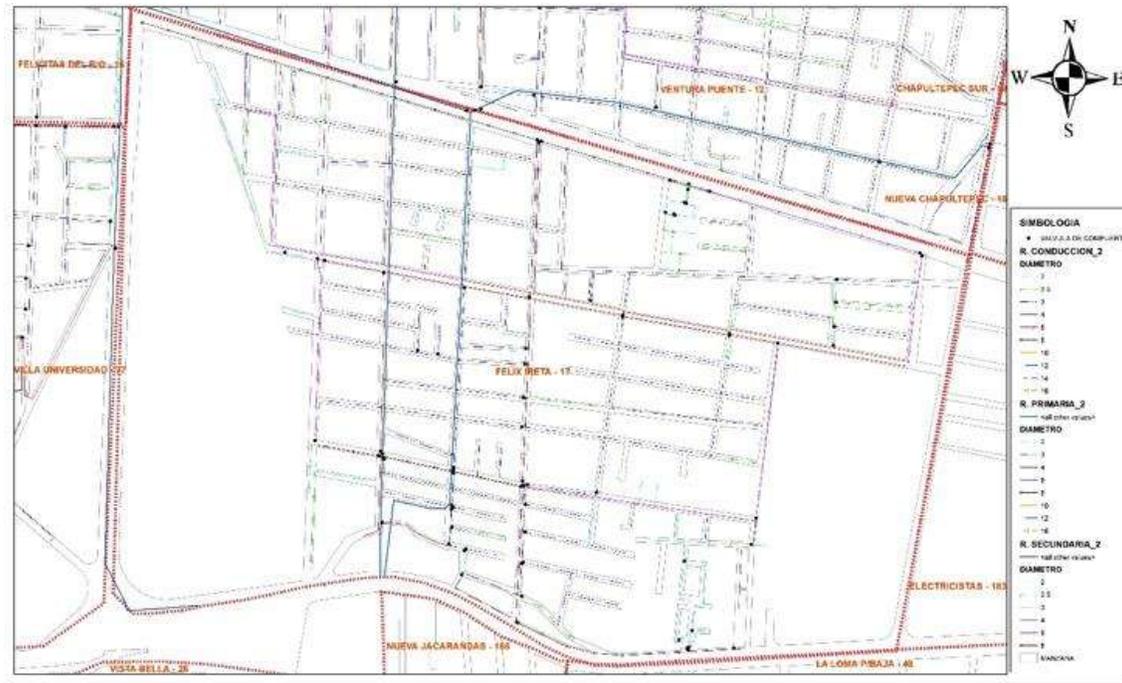


Figura 7. Distrito hidrométrico Félix Ireta

## Población

La población en el municipio de Morelia según el último censo poblacional es de 784,776 habitantes.

## Sexo de la población

En la ciudad de Morelia el porcentaje de hombres es del 47% y el de las mujeres del 53% de acuerdo al censo población del año 2015.

## Población por edad

Por otra parte, la población establecida por grupos quinquenales de edad y sexo se muestra en la Figura 8 donde se observa que la mayoría de la población se encuentra en edades de 20 a 24 años esto de acuerdo al censo realizado en 2015.

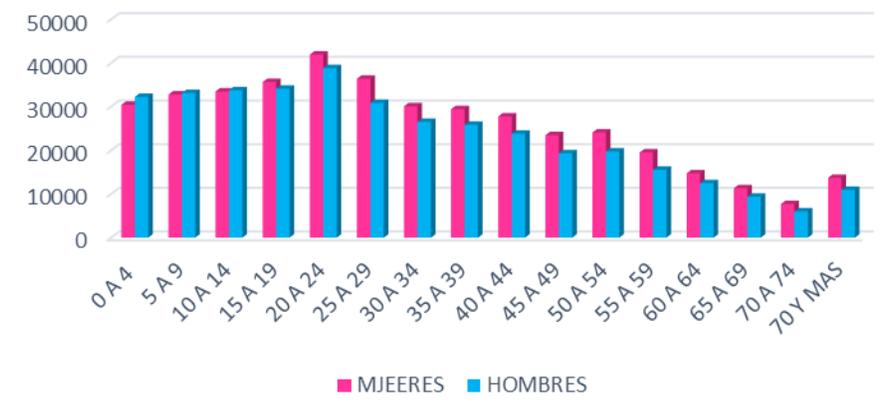


Figura 8. Población de Morelia por edades en el censo poblacional 2015

## Relación hombres-mujeres

Como resultados también se puede observar una gráfica de una relación hombres-mujeres en esta se expresa el número de hombres por cada cien mujeres. Permite identificar cambios en la distribución de los sexos de la población y facilita la lectura de género de eventos relacionados con la salud y otros de naturaleza social y económica, ver Figura 9.

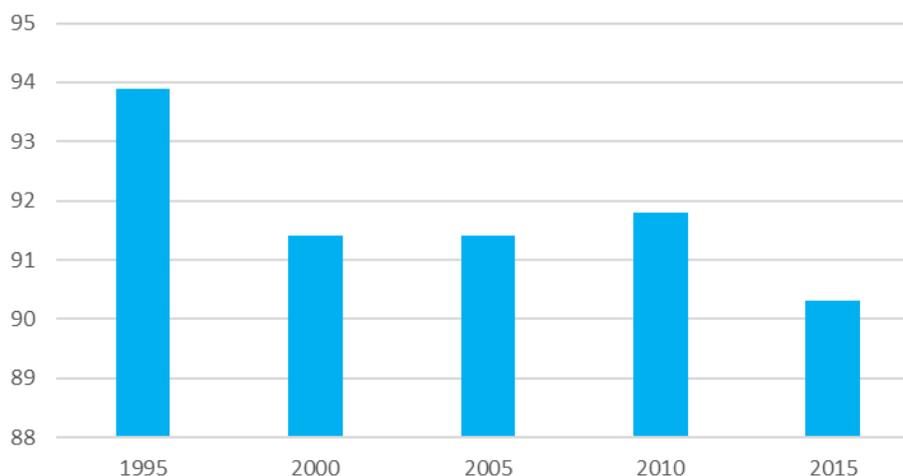


Figura 9. Relación hombres por ca cien mujeres en Morelia, censo de 2015

## Edad media

Es un indicador del grado de envejecimiento de la estructura por edades de la población. Divide en dos partes iguales a la población cuyos habitantes han sido ordenados según la edad. Es más variable que la edad media, pero es menos sensible a los cambios estructurales propios de cada población, ver Figura 10.

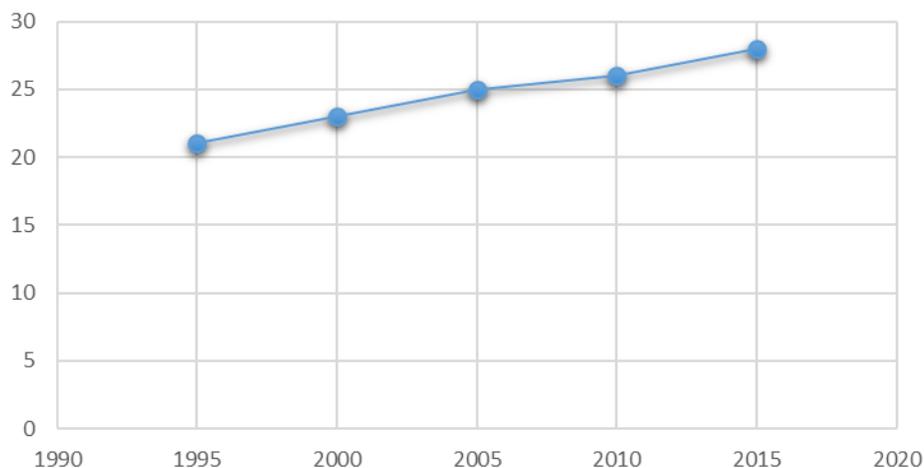


Figura 10. Edad media de la población de Morelia

## Índice de envejecimiento

Indicador sintético del grado de envejecimiento de la población. Se define como el número de personas adultas mayores de sesenta y cinco años de edad, por cada cien personas menores de quince años, ver Figura 11.

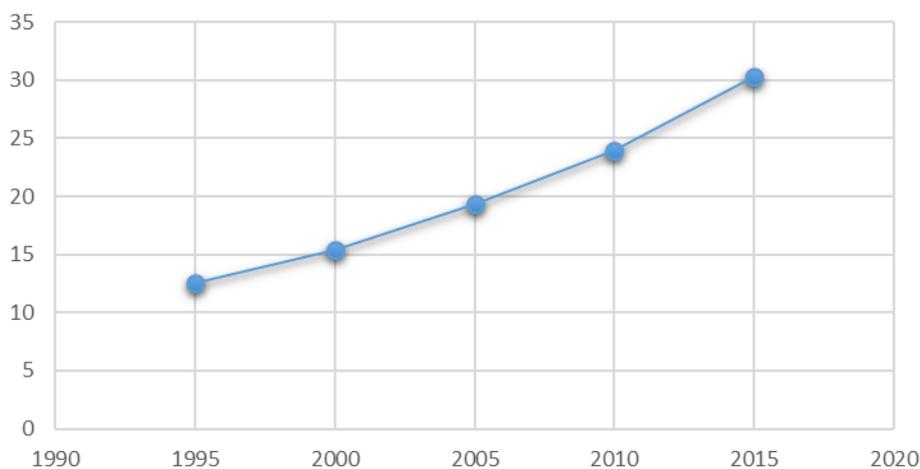


Figura 11. Índice de envejecimiento en Morelia

# METODOLOGÍA

## Levantamiento topográfico

En un levantamiento topográfico lo que se necesita comúnmente son las curvas de nivel que en este caso fueron obtenidas haciendo uso el programa Global Mapper el cual es un sistema de información geográfica que permite acceder diversas fuentes en línea de imágenes, mapas topográficos y los datos DEM/DSM, en este caso se utilizó una carta topográfica el formato Shape (Shp) que en su base de datos contiene los atributos y el MDE (Modelo Digital de Elevaciones). Una vez generados todos los procesos del programa se generan las curvas de nivel con un mallado, y le solicitamos al programa que las curvas estén a una equidistancia de un metro, terminamos este proceso y se crea nuestro archivo DWG para AutoCad, Figura 12.



Figura 12. Curvas de nivel del distrito hidrométrico Félix Ireta

## Cálculo de población

Como primer paso se realiza el cálculo de población de la zona de estudio, aunque nos encontramos en las colonias de una ciudad podemos decir que no habrá más población ya que además ser una parte de la ciudad en su mayoría ya está toda el área cubierta por habitantes, ya no habría una cantidad significativa de crecimiento.

En el distrito Félix Ireta se encuentra una población calculada de 14,345 habitantes aproximadamente.

En la Figura 13 se muestra la distribución de la población existente en la zona donde los recuadros representan un usuario y los lugares en blanco son áreas que son utilizadas para servicios de diferentes tipos como son el zoológico de Morelia ubicado en el área izquierda, el centro de convenciones José María Morelos y Pavón a la derecha.



Figura 13. Distrito hidrométrico Félix Ireta visto desde un satélite

En la división realizada por recuadros contamos con dos categorías la que es el color azul y rojo y representan los usuarios que tiene contrato con OOAPAS y los que no cuentan con contrato, Figura 13.

### Área de estudio

Posteriormente debemos de reconocer el área de trabajo, así que comienza con verificar todas las tuberías de la zona ya que se tendrá que revisar que concuerden tanto en el sistema de información como en la realidad cosa que se verifico, la tubería en su mayoría es de asbesto cemento ya que es una de las primeras colonias formadas en Morelia y aun no se han cambiado.

En la Figura 14 se muestra la zona de estudio donde tenemos la tubería de todo el distrito sus válvulas y sus conexiones, como se observa no se ve a la vista un tanque elevado o

superficial cercano esto es debido a que la alimentación del distrito es proporcionada por la planta de tratamiento Vista Bella ubicada en Santa María y ofrece un servicio de 24 horas.

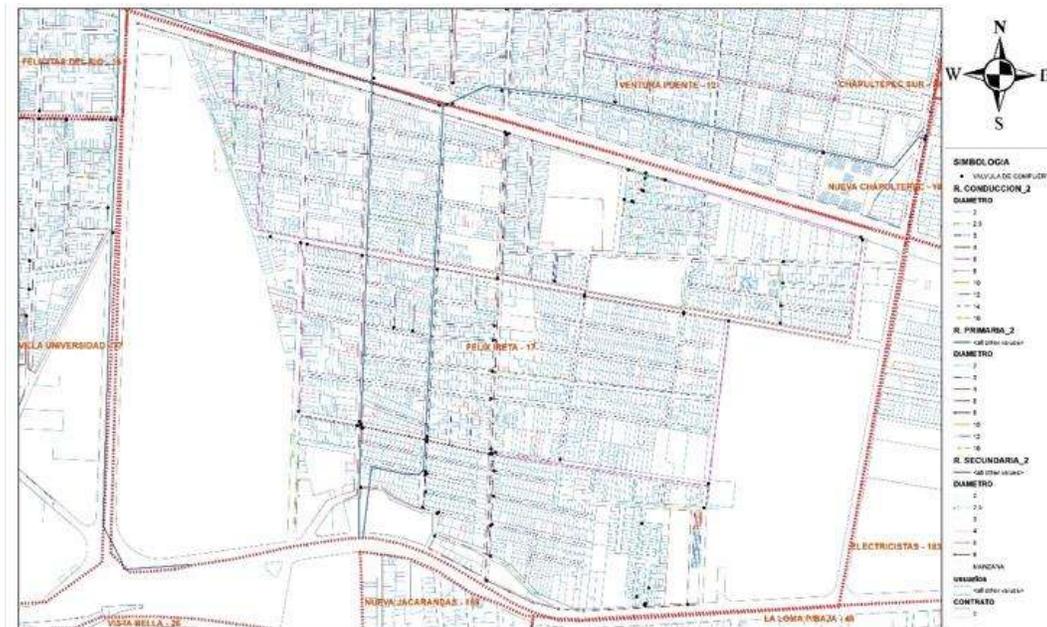


Figura 14. Usuarios del distrito hidrométrico Félix Ireta

### Cálculo de demanda

Definimos demanda como la cantidad de agua requerida en las tomas para consumo de una localidad o área de proyecto, considerando los diferentes usuarios (domésticos, comerciales, industriales, turísticos, entre otros) que ahí tienen lugar, más las pérdidas físicas del sistema.

Como lo vimos en el capítulo de “consumo doméstico” se refiere en la definición existen diferentes tipos de usos en el agua potable, algunos usuarios generan más demanda que otros, por lo tanto, no podríamos tomar solo un parámetro de dotación porque nos generara variantes en lo que realmente se necesita para el distrito.

Tomando en cuenta esto y revisando la Tabla 5, Morelia que tiene un clima templado está en un promedio de 142 litros por habitante al día.

Tabla 5. Promedio del consumo de agua potable estimado por clima predominante

Clima	Consumo l/hab/d			Subtotal por Clima
	Bajo	Medio	Alto	
Cálido Húmedo	198	206	243	201
Cálido Subhúmedo	175	203	217	191
Seco o Muy Seco	184	191	202	190
Templado o Frío	140	142	145	142

Pero tomando un margen de seguridad se tomará una dotación de 150 litros por habitante y por día, teniendo uso de la siguiente ecuación

$$D_e = \frac{N_u F_h D}{86,400} = \frac{3,775 \times 3.8 \times 150}{86,400} = 24.90 \text{ L/s}$$

Donde:

$D_e$  = demanda en L/s, 24.90

$N_u$  = número de usuarios, 3,775

$F_h$  = factor de habitantes, 3.8

$D$  = dotación en L/hab/día, 150

86,400 = factor de conversión

De esta manera se tiene un resultado de la demanda que es necesaria en el distrito tomando en cuenta todos los usuarios que se encuentran teniendo o no contrato con el OOAPAS y teniendo un margen de seguridad en el cálculo.

Por otra parte, se tiene el acceso a la información del OOAPAS que tiene el consumo real de cada mes o bimestre según sea el caso en cada uno de los usuarios del distrito que tienen contrato, con esto podemos tener una nueva manera de calcular la demanda.

La Tabla 6 que se muestra es un ejemplo de la base de datos que tiene el OOAPAS con una capa llamada usuarios, esta capa cuenta con varios datos en ella y que son colonia, servicio, zona, tipo de cuota, consumo por m<sup>3</sup>, giro entre otras.



1,000 = factor de conversión

Entonces haciendo uso de la ecuación anterior quedaría de la siguiente manera.

Cálculo de una demanda bimestral:

$$D_e = \frac{1,000 \times 34}{86,400 \times 60} = 0.0066 \text{ L/s}$$

Cálculo de una demanda mensual:

$$D_e = \frac{1,000 \times 80}{86,400 \times 30} = 0.0309 \text{ L/s}$$

Por este método nuestro cálculo de la dotación resultó ser de 21.75 L/s.

Realizando una comparación entre los dos métodos resulta una diferencia de 3.15 L/s.

### **Gasto medio**

El gasto medio diario ( $Q_m$ ), es el agua que un usuario o población necesita en un día de consumo promedio y para una localidad. Se obtiene multiplicando la población por la dotación dividida entre los segundos que tiene un día.

$$Q_m = 21.75 \text{ L/s}$$

### **Gasto máximo diario**

El gasto máximo diario ( $Q_{md}$ ), es el gasto máximo que se consume en un día. Se obtiene al multiplicar el gasto medio diario por un coeficiente de variación diaria ( $CVD$ ) que tiene un valor de 1.20 para poblaciones rurales y 1.40 para las poblaciones urbanas. Por lo que utilizaremos el segundo de ellos.

$$Q_{md} = CVD Q_m$$

$$Q_{md} = 1.40 \times 21.75 = 30.45 \text{ L/s}$$

## Gasto máximo horario

El gasto máximo horario ( $Q_{mh}$ ), es el gasto máximo que se consume en una determinada hora. Se obtiene al multiplicar el gasto máximo diario por un coeficiente de variación horaria ( $CVH$ ) que tiene un valor de 1.50 para poblaciones rurales y 1.55 para las poblaciones urbanas. Por lo que utilizaremos el segundo de ellos.

$$Q_{mh} = CVH Q_{md}$$

$$Q_{md} = 1.55 \times 30.45 = 47.20 \text{ L/s}$$

## Coefficiente de rugosidad

La rugosidad de las paredes de los canales y tuberías se determina en función del material con que están construidos, el acabado de la construcción y el tiempo de uso, Tabla 8. Los valores son determinados en mediciones tanto de laboratorio como en el campo. La variación de este parámetro es fundamental para el cálculo hidráulico.

Tabla 8. Coeficientes de rugosidad de diferentes materiales

<i>Material</i>	<i>C Hazen-Williams (universal)</i>	<i><math>\epsilon</math> Darcy-Weisbach (mm)</i>	<i>n Manning (universal)</i>
fundición	130 – 140	0.26	0.012 – 0.015
hormigón	120 – 140	0.3 – 3.0	0.012 – 0.017
hierro galvanizado	120	0.15	0.015 – 0.017
plástico	140 – 150	0.0015	0.011 – 0.015
acero	140 – 150	0.045	0.015 – 0.017
cerámica	110	0.3	0.013 – 0.015

Como en el distrito contamos con gran variedad de tuberías como son asbesto-cemento, fierro y PVC tendremos que variar los coeficientes (Figura 15). Para nosotros los coeficientes a utilizar son los del método de Darcy-Weisbach.



Figura 15. Material de la tubería en el distrito hidrométrico Félix Ireta

### Cálculo de la demanda base

Con el dato de la demanda que tiene todo el distrito en la base de datos del OOAPAS sabemos que son necesarios 21.75 L/s y calculando la longitud de la tubería que es de 44,783 m podremos realizar el cálculo de la demanda base, sin embargo, tendremos que restar la tubería superior a 20 pulgadas (508 mm) ya que ésta no cuenta acometidas y la consideraremos como una línea de conducción, entonces el total de la tubería es de 38,867 m (Tabla 9).

Tabla 9. Propiedades de la tubería utilizadas en el modelo matemático de EPANET

[PIPES]									
;ID	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	MinorLoss	Status		longitud
s111		242 N1_693	56.26	76.2	0.0015	0	OPEN	;	56.26
s112		252 N1_1947	123.58	101.6	0.0015	0	OPEN	;	123.58
s113		543 N1_2340	11.76	609.6	0.0015	0	OPEN	;	0
s114		720 N1_2221	10.57	76.2	0.0015	0	OPEN	;	10.57
s115		775 N1_48	113.08	63.5	0.0015	0	OPEN	;	113.08
s116		776 N1_1811	121.53	76.2	0.0015	0	OPEN	;	121.53
s117		777 N1_257	326.81	152.4	0.0015	0	OPEN	;	326.81
s118	N1_1193	N1_1194	123.35	76.2	0.0015	0	OPEN	;	123.35
s119	N1_1193	N1_388	120.5	76.2	0.0015	0	OPEN	;	120.5

Por lo tanto y teniendo en cuenta lo anterior tenemos que nuestro gasto específico ( $q$ ):

$$q = \frac{21.75}{38,867} = 0.00056 \text{ L/s/m}$$

Por lo que los gastos de consumo de cada nodo se obtienen como se indica en la Figura 16.

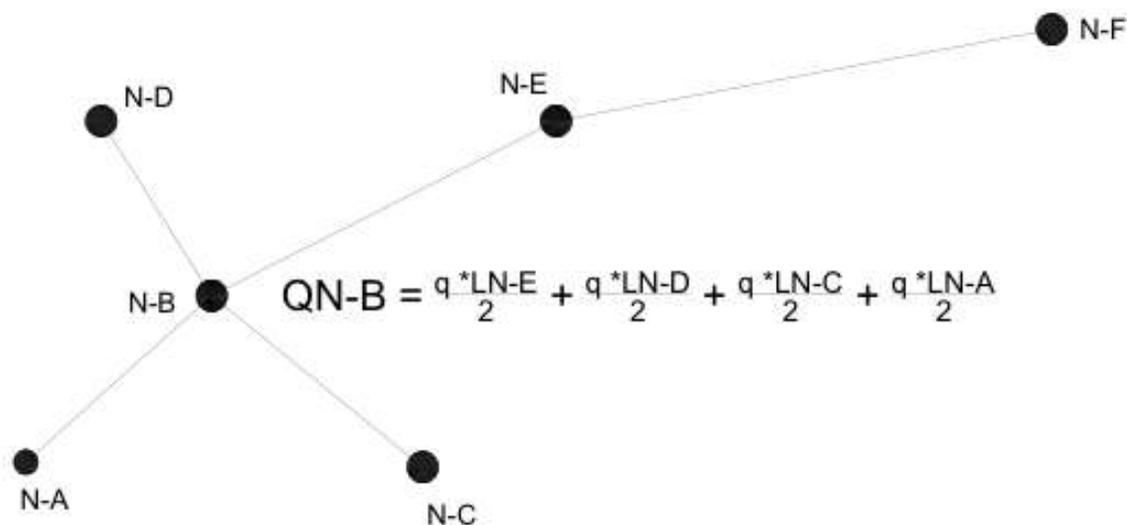


Figura 16. Cálculo de los gastos de consumo en cada uno de los nodos de la red

Este proceso se tendrá que repetir para cada uno de los nodos de la red de distribución de agua potable.

Una vez realizado este proceso exportamos los puntos al simulador de EPANET, Figura 17.

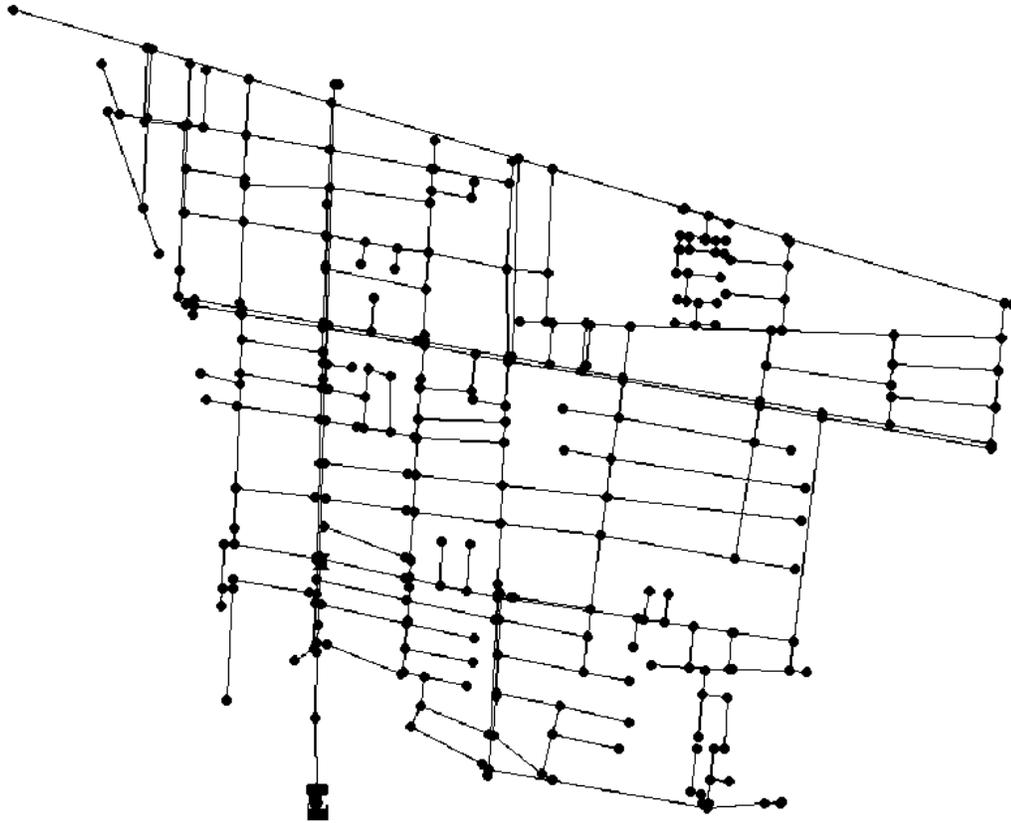


Figura 17. Red de agua potable cargada a EPANET

## RESULTADOS

Una vez cargada la red al programa procederemos a realizar diferentes simulaciones para su estudio y posteriormente elegir la opción más viable para su aplicación en el distrito hidrométrico, se tiene un total de seis simulaciones realizadas.

**Primera simulación:** es la situación actual que se tiene en el distrito hidrométrico, su cálculo de demanda proviene desde la base de datos del OOAPAS donde se tiene un promedio de lo que consumen los usuarios mensual o bimestralmente, en este primer caso se tiene una válvula reguladora de presión.

Las válvulas reguladoras de presión limitan la presión en un punto de la red de tuberías. EPANET diferencia tres estados en los que pueden trabajar: parcialmente abierta (es decir activa) para mantener una presión aguas abajo siempre que la presión aguas arriba sea superior a esta. Totalmente abierta cuando la presión aguas abajo está por debajo de la de tarado. Cerrada, si la presión aguas abajo es superior a la presión aguas arriba, para impedir el flujo inverso.

En ese mismo punto se mide el gasto que entra al distrito hidrométrico, entonces como se usa la base de datos del OOAPAS sólo se está contando con los usuarios contratados en el organismo dejando a 216 usuarios que no tienen contrato.

**Segunda simulación:** es un caso muy similar al anterior, pero en este caso se utiliza una demanda calculada por fórmula y en esta parte si se consideran a los 216 usuarios que no se tomaban en cuenta anteriormente, pero también sabemos que es un área comercial y existen grandes consumidores en la zona.

**Tercera simulación:** para este caso tenemos una demanda calculada con la base de datos del OOAPAS, pero aquí existen algunas modificaciones, en este caso ya hay tres distritos hidrométricos en lugar de uno y por lo tanto se tienen tres válvulas reguladoras de presión. Las válvulas están colocadas en las siguientes intersecciones de calles: esquina Virrey de Mendoza con Rey Caltzontzin. Esquina Rey Caltzontzin con Vicente Santa María. Esquina Vicente Santa María con Iretitcateme

Esas válvulas quedan reguladas en diferentes presiones para cumplir con los parámetros esperados.

En esta simulación se toma en cuenta que la línea de distribución de ocho pulgadas de diámetro tiene tomas domiciliarias, porque en el estado actual se encuentra de esa manera, pero no se deja ninguna conexión a alguna sola tubería simplemente para las válvulas.

**Cuarta simulación:** al igual que la simulación anterior comparten los mismos datos simplemente que el cálculo de la demanda será diferente porque en este caso se calcula con la fórmula.

**Quinta simulación:** en esta simulación tenemos un cálculo de la demanda con la base de datos del OOAPAS, en este caso se propone el cambio de tubería de asbesto-cemento por PVC en su totalidad, en este caso tendríamos un gran cambio en la red y una gran inversión ya que la mayoría de la tubería presente en el distrito hidrométrico es de asbesto-cemento.

En este caso se siguen conservando los tres distritos hidrométricos nuevos y con sus respectivas válvulas las cuales serán alimentadas por la tubería de ocho pulgadas de diámetro que se encontraba, sólo que en este caso consideramos la tubería de ocho pulgadas de diámetro libre de tomas domiciliarias o conexiones a la red y la acompañara una tubería de tres pulgadas de diámetro de PVC para que ésta alimente las conexiones que la tubería de ocho pulgadas de diámetro deje en su camino.

**Sexta simulación:** para esta simulación son las mismas condiciones que la anterior, pero con un cálculo de demanda por medio de la fórmula.

Conociendo esta parte procedemos a colocar una válvula que se encontrará en un estado parcialmente abierta donde las condiciones serán las siguientes: para el transcurso de la mayor demanda que comprende de las 06:00 a las 20:00 horas, la presión alcance en todos sus nodos como mínimo 15 metros de columna de agua (mca), Figura 18. Por la noche y

mañana de 20:00 a las 06:00 horas, la presión llegue como mínimo en cada nodo a 5 mca, Figura 19.

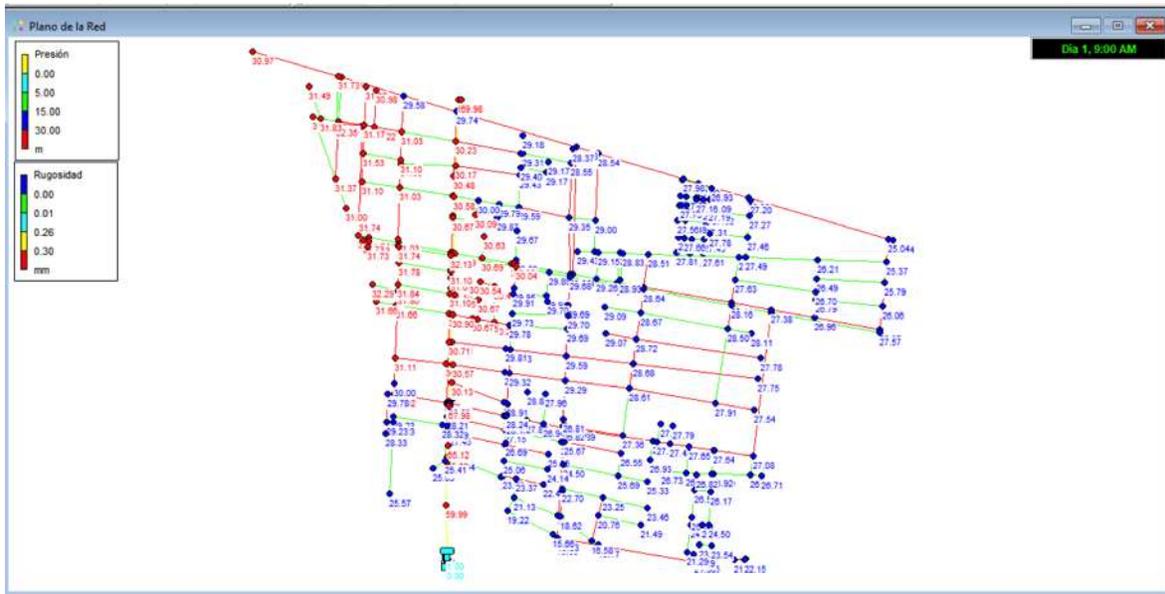


Figura 18. Simulación de la condición real de la red en la hora de mayor demanda

Estas condiciones se colocan con el propósito de que por la noche tengamos una menor pérdida de agua en fugas ya que la mayoría del material es de asbesto-cemento y a una presión mayor de los 30 mca puede presentar fugas, y que en el horario de mayor demanda se pueda garantizar una buena presión para cada toma domiciliaria.



Figura 19. Simulación de la condición real de la red en la hora de menor demanda

Al realizar la simulación presento la hora de mayor demanda que es a las 09:00 horas en este horario se debe de cumplir con los 15 mca como mínimo, la válvula se encuentra regulada a 29.5 mca para cumplir con este parámetro.

Las tuberías de asbesto-cemento se encuentran en color rojo, las de PVC en azul y las tuberías de acero en color amarillo, entonces si se observa podemos notar que en la zona más baja de la red las presiones son mayores a los 30 mca donde nos estaría generando fugas en las tuberías de asbesto-cemento y en efecto la mayoría de la tubería es de este tipo.

A las 00:00 h, que es la hora más desfavorable, no se presentan presiones superiores a 30 mca ya que la válvula se encuentra regulada a 14.2 mca dejando un poco a lado las posibles fugas.

Simulación de red en estado actual con demanda de usuarios en la hora con menor demanda.

### **Tercera simulación**

En un segundo estado de simulación se subdividirá el distrito hidrométrico para generar un mejor comportamiento en la red, ésta deberá cumplir con los parámetros anteriores adicionando la siguiente condición: deberá de tener un máximo de 10 metros entre la cota más alta y la cota más baja del distrito hidrométrico. Un máximo de 1,000 usuarios por distrito hidrométrico.

Como la tubería de ocho pulgadas de diámetro se utilizará para abastecer a los nuevos distritos hidrométricos no debe tener tomas domiciliarias en esta tubería por lo que se agregará una tubería de tres pulgadas de diámetro y 622 m de longitud para que a esta tubería se coloquen las tomas domiciliarias y dejar el flujo libre a las válvulas de cada distrito hidrométrico.

Los cierres de tubería se tendrán que realizar para separar los nuevos distritos propuestos y están ubicados en las siguientes calles: Morelos Sur esquina con Iretitcateme tubería de seis pulgadas de diámetro. Iretitcateme esquina con Naraxan tubería de cuatro pulgadas de diámetro. Iretitcateme esquina con Segunda de Naraxan tubería cuatro pulgadas de diámetro. Rey Caltzontzin esquina con Tecuen tubería de tres pulgadas de diámetro. Rey Caltzontzin esquina con Vicente Santa María tubería de tres pulgadas de diámetro. Rey Caltzontzin esquina con Naraxan tubería de dos pulgadas de diámetro. Rey Caltzontzin esquina con Pirindas tubería de seis pulgadas de diámetro.

En la Figura 20 tenemos los nuevos distritos generados que los llamaremos: distrito hidrométrico norte, distrito hidrométrico centro y distrito hidrométrico sur; donde los colocaremos una válvula reguladora de presión a cada uno, las nuevas válvulas estarán reguladas como se muestra en la Tabla 10.



Figura 20. Nuevos distritos hidrométricos en colonia Félix Ireta

Tabla 10. Regulación de los distritos hidrométricos propuestos

DISTRITO	VALVULA	REGULACION DE 6:00 A 20:00 HRS.	REGULACION DE 20:00 A 6:00 HRS.
NORTE	84	20.7	9.8
CENTRO	52	19.2	8.9
SUR	83	28.5	17.2

Teniendo las válvulas calibradas y reguladas a la presión necesaria se procede a simular la red, Figura 21.

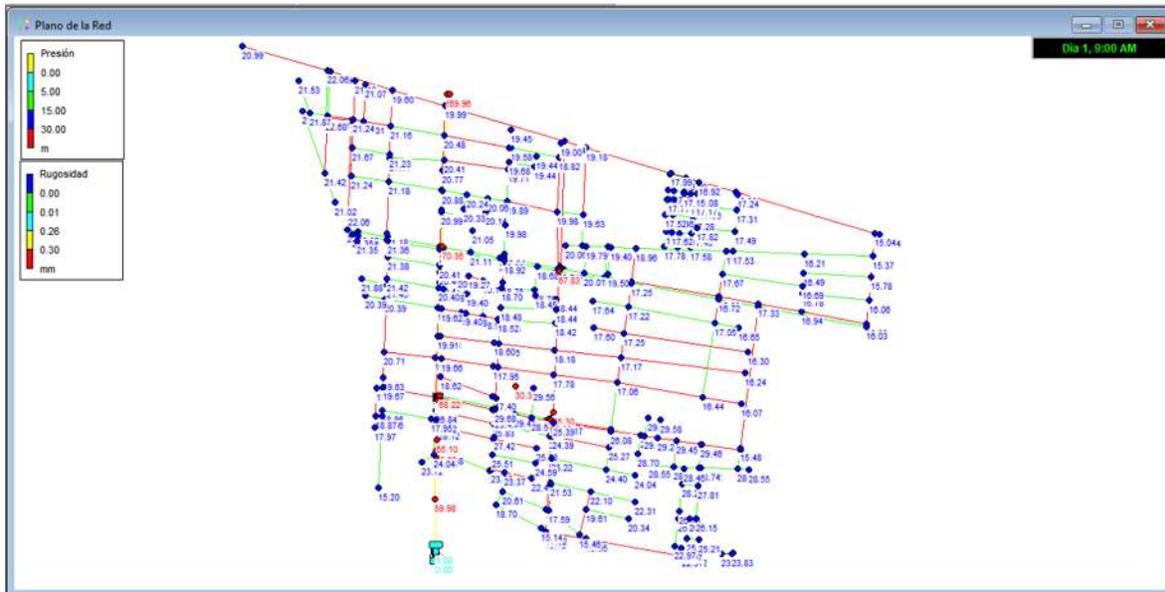


Figura 21. Simulación de la red de agua potable con nuevos distritos hidrométricos, en la hora de mayor demanda

Como se observa en la red ahora contamos con una red más regulada donde no tenemos presiones mayores a los 30 mca como en la simulación pasada, y además de garantizar una presión mayor a los 15 mca, así evitamos las fugas que se presentan en el modelo anterior.

Lo que se puede observar en la red es una clara mejora por parte de las presiones presentes en las zonas más bajas donde anteriormente se tenía presiones por encima de lo necesario.

En la hora con menor demanda, Figura 22, se garantiza una presión mayor a los 5 mca y en la zona centro del distrito hidrométrico sur se llegan a tener presiones de 19 mca, pero también se podría tener seguridad de no tener fugas además de que en este distrito hidrométrico tenemos un porcentaje mayor de PVC.

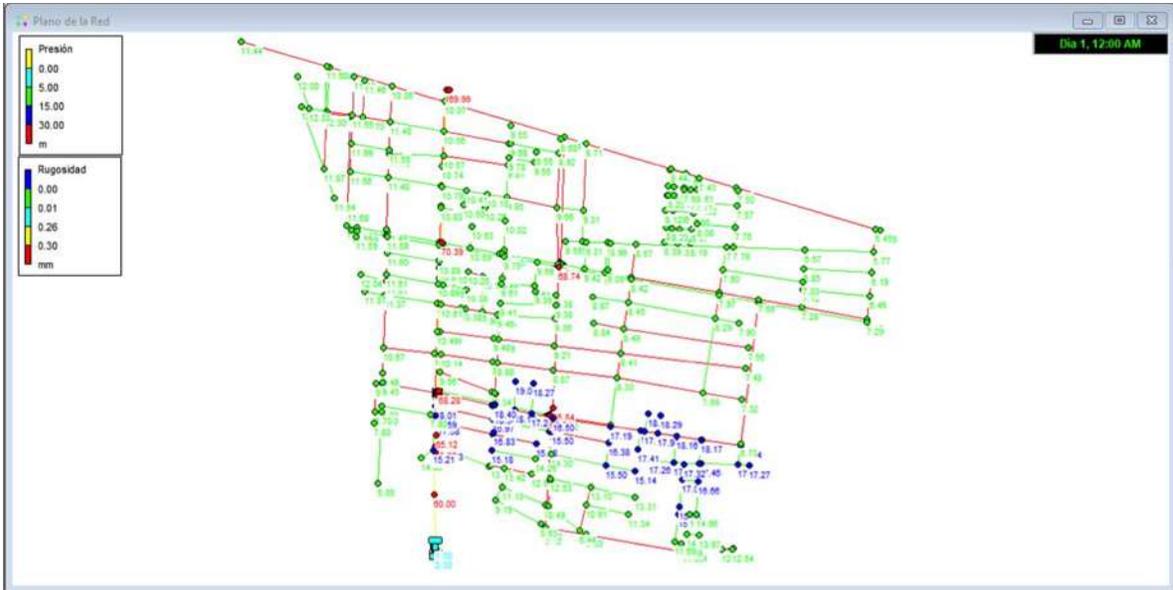


Figura 22. Simulación de la red de agua potable con los nuevos distritos hidrométricos, en la hora de menor demanda

### Tercera simulación

Por último tendremos una simulación similar a la anterior, Figura 23, pero donde se cambiará la tubería; es decir, en este caso será modelado con toda la tubería de PVC, y una nueva tubería de tres pulgadas de diámetro adicional a la tubería de ocho pulgadas de diámetro porque esta tubería tiene tomas domiciliarias.

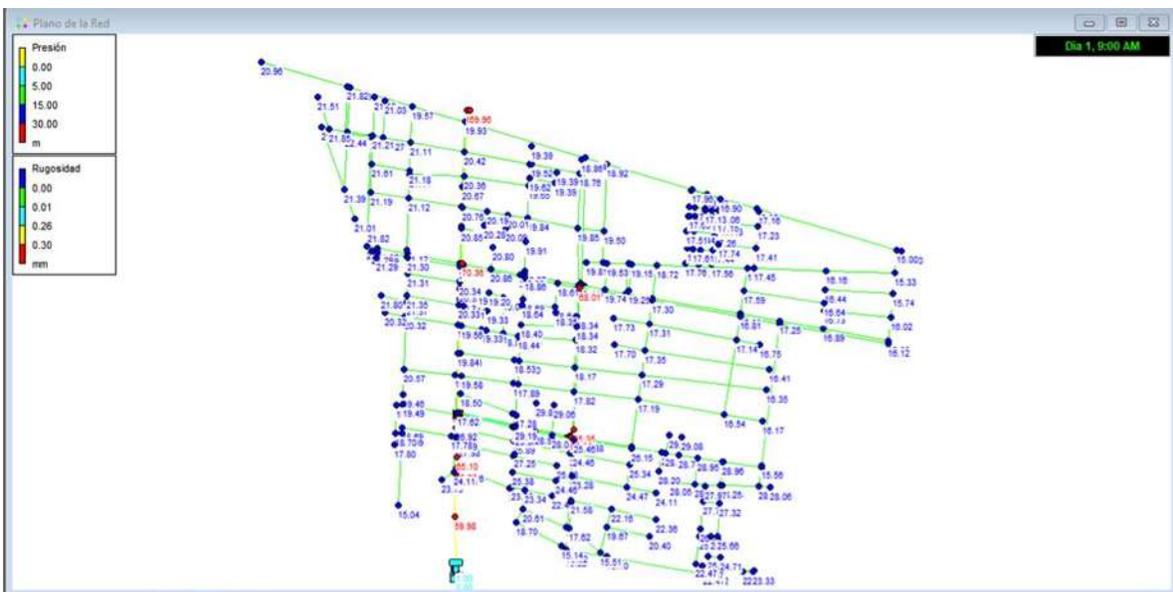


Figura 23. Simulación de la red con toda la tubería de PVC, en la hora de mayor demanda

Como se observan en los valores de las dos simulaciones con los dos nuevos distritos hidrométricos nos podemos dar cuenta de que no existe una gran diferencia de presiones; sin embargo, como se sabe el material de asbesto-cemento en agua potable ha quedado obsoleto al paso de los años ya que los nuevos materiales que se utilizan son capaces de resistir presiones mucho más altas, además que su rugosidad es mucho menor y tiene más durabilidad.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En general tenemos tres casos simulados donde se muestran su hora de mayor y menor demanda, basándonos en esto podemos aclarar las grandes diferencias que tiene cada uno de estos casos.

El primer caso es el caso real en el que se encuentra el distrito hidrométrico actualmente por eso es que presentan presiones mayores a las que resiste el material lo que nos genera un problema. Como solución a la que se llegó es la de utilizar tres distritos hidrométricos en lugar de uno y así regular las presiones por medio de válvulas reductoras de presión y que no llegue toda la presión que se genera por los desniveles topográficos.

Se colocaron tres válvulas además de la ya existente en el distrito hidrométrico, con esa propuesta se notan cambios en toda la red, sin necesidad de agregar más tubería y con un costo mínimo de inversión para poner en marcha esta división del distrito hidrométrico.

En general mi propuesta sería quedarse con el segundo caso donde se tiene la tubería actual y con cambios mínimos sobre la red, ya que lo ideal sería cambiar la tubería de asbesto-cemento, lo que implica una gran cantidad de presupuesto, ya que es en la mayoría del distrito hidrométrico donde se encuentra este tipo de material, y donde la zona se encuentra pavimentada y actualmente tiene mejoras en sus calles, así que sólo se dejaría la propuesta de que en una nueva pavimentación, también se cambiará la tubería de asbesto-cemento y las tomas domiciliarias.

## BIBLIOGRAFÍA

Crecimiento Poblacional 1900-2015. Población total del municipio de Morelia por año censal. <https://implanmorelia.org/virtual/poblacion/>.

Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>.

Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México (s/f). Estado de Michoacán de Ocampo. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16053a.html>.

EPANET Manual de Usuario. [https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual\\_esp\\_v20012\\_ext.pdf](https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_esp_v20012_ext.pdf).

Estudios técnicos para proyectos de agua potable, alcantarillado y saneamiento: topografía y mecánica de suelos. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro5.pdf>.

Norma Oficial Mexicana: NOM-001-CONAGUA-2011. Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-hermeticidad-especificaciones y métodos de prueba. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4647/semarnat/semarnat.htm>.

Ochoa, A.L. (2014). Modelación hidráulica y sectorización de redes de agua potable. XVII Convención anual y expo ANEAS. Yucatán. [https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/2015/ANEAS\\_PRESENTACIONES2014/Presentaciones%20C%20y%20T/17%20Sectorizaci%C3%B3n%20de%20Redes/Sesion%201-Curso%20Sectorizacion%202014.pdf](https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/2015/ANEAS_PRESENTACIONES2014/Presentaciones%20C%20y%20T/17%20Sectorizaci%C3%B3n%20de%20Redes/Sesion%201-Curso%20Sectorizacion%202014.pdf).

Organismo Operador de Agua Potable, alcantarillado y Saneamiento de Morelia (s/f). <https://www.ooapas.gob.mx/>.

Visión general del agua en México (s/f). <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico/>.

## ANEXO 1. INFORMACIÓN DE LA RED

En la Tabla 11 se encuentra la información de la red del distrito hidrométrico Félix Ireta.

Tabla 11. Exportación		de la red a EPANET
[JUNCTIONS]		
ID	Elev	Demand
252	1896.00	0.07967859
775	1908.87	0.05425797
776	1902.15	0.05657147
777	1899.90	0.31759251
N1_1193	1896.00	0.18001114
N1_1194	1896.79	0.08588362
N1_1197	1897.26	0.05580806
N1_1198	1897.48	0.07426955
N1_120	1898.00	0.10679826
N1_1200	1898.15	0.18879501
N1_1212	1898.00	0.10016963
N1_1213	1898.03	0.10333499
N1_1214	1899.00	0.24298315
N1_1268	1906.11	0.06421023
N1_127	1905.13	0.01337364
N1_1387	1895.84	0.11733704
N1_1388	1896.00	0.11158354
N1_152	1899.22	0.03618749
N1_1520	1899.06	0.04413347
N1_1521	1899.20	0.01435118
N1_1522	1899.00	0.01454203
N1_1523	1899.09	0.00683811
N1_1524	1899.32	0.01289884
N1_1525	1899.51	0.0226649
N1_1526	1899.33	0.04935166
N1_1527	1899.27	0.02412189
N1_1528	1899.16	0.03350625
N1_153	1899.16	0.02657505
N1_1530	1899.00	0.01830787
N1_1531	1899.93	0.04610717
N1_1532	1899.73	0.02698468
N1_1533	1899.00	0.01792151
N1_1534	1899.00	0.39098227

Tabla 11. Exportación		de la red a EPANET
N1_1570	1897.49	0.03223545
N1_1571	1897.00	0.19802575
N1_1588	1896.54	0.04014419
N1_159	1896.62	0.01952747
N1_1626	1896.63	0.01687881
N1_1634	1896.82	0.04280216
N1_1635	1896.80	0.02248801
N1_1636	1896.85	0.06058403
N1_1687	1900.76	0.04253218
N1_1688	1900.93	0.02637023
N1_1700	1898.89	0.26298077
N1_1701	1899.81	0.13598007
N1_1808	1900.29	0.03814722
N1_181	1902.60	0.01599437
N1_1810	1901.91	0.01742809
N1_1811	1904.14	0.05890825
N1_1812	1905.28	0.02974971
N1_1854	1900.42	0.06066782
N1_1855	1901.34	0.12797823
N1_1856	1902.82	0.04765726
N1_1867	1897.63	0.06091918
N1_1868	1897.75	0.0307226
N1_1871	1896.00	0.08897915
N1_1872	1896.96	0.13002175
N1_1873	1897.74	0.11412979
N1_1882	1899.48	0.08773163
N1_1883	1900.52	0.13000778
N1_1884	1901.12	0.10653293
N1_1885	1897.02	0.04497602
N1_1940	1897.79	0.06354457
N1_1941	1897.79	0.06190138
N1_1942	1897.00	0.02671004
N1_1943	1897.92	0.02273472
N1_1944	1897.00	0.06476882
N1_1945	1897.92	0.06809244
N1_1946	1896.00	0.02215285
N1_1947	1896.70	0.06562533
N1_1948	1896.77	0.02945645
N1_195	1898.48	0.06700319
N1_1950	1898.51	0.1287044

Tabla 11. Exportación		de la red a EPANET
N1_1951	1897.00	0.12420308
N1_1952	1897.00	0.15478137
N1_1953	1897.31	0.06255307
N1_1954	1897.38	0.06477813
N1_1955	1899.00	0.06675648
N1_1956	1897.83	0.06080281
N1_1957	1899.09	0.01214474
N1_1958	1899.05	0.04108914
N1_1960	1899.90	0.016404
N1_1961	1901.00	0.00994295
N1_1962	1901.00	0.002118
N1_1980	1896.00	0.21856799
N1_1981	1895.40	0.15811896
N1_1982	1895.57	0.06233429
N1_1984	1898.47	0.19887295
N1_1985	1899.97	0.04224357
N1_1986	1898.46	0.03398105
N1_1987	1898.81	0.22569005
N1_1988	1899.74	0.1358218
N1_2037	1898.01	0.06728714
N1_2038	1898.00	0.02321883
N1_2061	1897.00	0.08578121
N1_2062	1897.06	0.02314436
N1_2073	1898.35	0.05665526
N1_2074	1898.38	0.1072591
N1_2075	1899.00	0.07325012
N1_2088	1900.97	0.00998484
N1_209	1900.88	0.05631079
N1_2090	1896.66	0.00390549
N1_2091	1896.70	0.02019312
N1_2092	1896.64	0.01983935
N1_2093	1896.98	0.01754912
N1_2094	1904.06	0.03341315
N1_2095	1901.19	0.02561613
N1_2096	1899.82	0.02895837
N1_2130	1898.86	0.01515183
N1_2131	1898.79	0.06675648
N1_2172	1901.00	0.04956579
N1_2173	1905.19	0.02976833
N1_2244	1897.59	0.03221218

Tabla 11. Exportación		de la red a EPANET
N1_2245	1897.86	0.08606516
N1_2246	1897.87	0.07579637
N1_2247	1898.00	0.01929938
N1_2346	1907.00	0.09795853
N1_2347	1902.28	0.04983112
N1_2348	1901.87	0.05552876
N1_235	1898.70	0.33273037
N1_238	1899.94	0.09117163
N1_2380	1898.83	0.06126365
N1_2381	1902.00	0.00635399
N1_2382	1900.00	0.23125736
N1_2383	1902.00	0.18856226
N1_2384	1901.00	0.09720909
N1_2385	1899.00	0.13801893
N1_2386	1898.04	0.16776399
N1_2387	1898.00	0.12569731
N1_2388	1901.00	0.24211267
N1_239	1912.78	0.00393808
N1_2390	1912.48	0.28079522
N1_2391	1905.66	0.01058068
N1_2392	1899.00	0.00087513
N1_2393	1898.88	0.00121028
N1_2395	1897.00	0.33042152
N1_2396	1897.00	0.00278831
N1_2441	1896.00	0.10039306
N1_2546	1896.00	0.03712779
N1_2547	1896.00	0.08882089
N1_2548	1896.53	0.05747453
N1_257	1900.56	0.22134234
N1_2570	1900.02	0.04347713
N1_2598	1896.57	0.00521353
N1_260	1896.60	0.03426035
N1_2600	1897.56	0.03678798
N1_2601	1897.61	0.00632141
N1_2603	1898.85	0.06172914
N1_2604	1898.84	0.00266263
N1_2605	1899.00	0.04948665
N1_2606	1899.72	0.06360508
N1_2607	1899.79	0.00523215
N1_2608	1895.38	0.07855209

Tabla 11. Exportación		de la red a EPANET
N1_261	1896.00	0.05042695
N1_378	1895.00	0.11359913
N1_38	1896.00	0.15766278
N1_380	1895.11	0.0651319
N1_381	1895.44	0.03700211
N1_382	1895.89	0.10534592
N1_383	1895.92	0.07160692
N1_384	1896.00	0.07311978
N1_385	1898.27	0.07854278
N1_386	1902.65	0.07787247
N1_387	1897.39	0.42503315
N1_388	1896.00	0.05609201
N1_39	1898.63	0.05534722
N1_390	1895.76	0.08239707
N1_391	1896.00	0.04054917
N1_392	1895.49	0.14471739
N1_393	1895.93	0.07652719
N1_394	1897.77	0.05205153
N1_395	1898.00	0.03863599
N1_396	1898.02	0.21638483
N1_397	1898.37	0.02325607
N1_398	1897.61	0.14276232
N1_40	1897.37	0.05953201
N1_400	1897.29	0.01531009
N1_401	1897.03	0.01584076
N1_402	1897.12	0.06728249
N1_403	1897.55	0.12844838
N1_404	1896.80	0.11143923
N1_405	1898.12	0.01849407
N1_406	1900.90	0.1724841
N1_407	1901.68	0.12135891
N1_408	1900.20	0.13992746
N1_41	1901.27	0.12187095
N1_410	1900.62	0.10765011
N1_411	1900.35	0.10090511
N1_412	1901.00	0.12405412
N1_413	1899.63	0.13108773
N1_414	1899.36	0.16990992
N1_415	1899.61	0.13823772
N1_416	1900.44	0.1102243

Tabla 11. Exportación		de la red a EPANET
N1_417	1898.98	0.16647923
N1_418	1898.91	0.1660277
N1_42	1898.58	0.08391924
N1_420	1898.64	0.0573535
N1_421	1898.33	0.0777142
N1_422	1898.40	0.05647372
N1_423	1900.00	0.0164459
N1_424	1899.72	0.10750116
N1_425	1899.93	0.08013477
N1_426	1899.68	0.0400092
N1_427	1899.42	0.04138706
N1_428	1899.75	0.08712183
N1_43	1896.00	0.10736616
N1_430	1895.57	0.02772016
N1_431	1897.00	0.06619323
N1_432	1896.72	0.02552303
N1_433	1898.01	0.08573932
N1_434	1897.98	0.10395875
N1_435	1900.08	0.0713928
N1_436	1899.15	0.03080173
N1_437	1899.93	0.03234717
N1_438	1900.95	0.07291031
N1_44	1898.43	0.03876633
N1_440	1899.39	0.0252577
N1_441	1899.60	0.21851214
N1_442	1900.31	0.12468253
N1_443	1902.00	0.11725791
N1_444	1903.21	0.12852286
N1_445	1902.36	0.03251009
N1_446	1905.00	0.07355734
N1_447	1904.22	0.05005456
N1_448	1909.08	0.0741299
N1_45	1911.51	0.00750376
N1_450	1904.43	0.11421358
N1_451	1911.10	0.07901759
N1_452	1906.92	0.09560313
N1_453	1906.19	0.04742917
N1_454	1900.28	0.12301141
N1_455	1900.79	0.02000693
N1_456	1899.82	0.0197416

Tabla 11. Exportación		de la red a EPANET
N1_457	1900.29	0.03786793
N1_458	1900.25	0.05549618
N1_46	1899.91	0.02010468
N1_460	1900.03	0.05266598
N1_461	1900.74	0.05472812
N1_462	1900.89	0.08208054
N1_463	1900.04	0.07551242
N1_464	1905.97	0.2008094
N1_465	1901.09	0.06251117
N1_466	1905.35	0.02274869
N1_467	1903.00	0.02988471
N1_468	1903.87	0.05125553
N1_47	1904.21	0.01342484
N1_470	1902.57	0.0294518
N1_471	1900.84	0.01598041
N1_472	1900.90	0.07396232
N1_473	1900.93	0.01230766
N1_474	1899.67	0.01289884
N1_475	1899.80	0.03017797
N1_476	1903.68	0.04737331
N1_477	1902.76	0.08127058
N1_478	1904.40	0.06518311
N1_48	1906.59	0.08755009
N1_480	1912.06	0.05635734
N1_481	1896.00	0.08823902
N1_482	1896.63	0.11629434
N1_483	1896.00	0.09841006
N1_484	1896.63	0.06636081
N1_5001	1898.85	0.18991219
N1_5002	1899.00	0.2293209
N1_6004	1898.24	0.03922251
N1_6016	1901.00	0.04952855
1	1899.00	0.05949477
2	1899.90	0.05381575
3	1899.00	0.0909063
4	1899.00	0.05085055
5	1898.50	0.03844979
6	1899.90	0.01240076
7	1902.28	0.04738262
8	1908.50	0.07208173

Tabla 11. Exportación		de la red a EPANET
9	1906.50	0.01002674
10	1906.50	0.01278246
11	1906.50	0.0365692
12	1903.20	0.02943318
13	1903.20	0.04331421
14	1901.50	0.05315009
15	1899.36	0.02932611
16	1899.20	0.03593613
17	1899.16	0.00679621
18	1899.70	0.03321764
19	1899.70	0.00598625
20	1899.80	0.02391708
21	1899.80	0.00605142
22	1899.73	0.00963572
23	1900.00	0.01382982
25	1897.81	0.02614679
26	1897.13	0.03592682
27	1898.00	0.00983123
28	1899.00	0.07375285
30	1896.00	0.04789932
31	1896.00	0.05156276
32	1896.00	0.0114977
33	1896.00	0.00971486
34	1896.00	0.02583491
35	1898.70	0.05974614
36	1898.60	0.02602111
37	1895.60	0.1473614
38	1896.00	0.07904552
39	1897.66	0.15461845
40	1898.00	0.17912204
41	1898.89	0.20924415
42	1899.33	0.17025904
43	1900.00	0.11612676
44	1895.80	0.03969732
29	1902.00	0.06779453
45	1902.00	0.06420092

## ANEXO 2. TRABAJO DE CAMPO

En la Figura 24 se muestran algunos de los trabajos realizados en el distrito hidrométrico Félix Ireta.



Figura 24. Personal de OOAPAS revisando tubería existente en la zona de estudio