



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DIAGNÓSTICO DE LA
INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DE
UNA RED DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA POTABLE”**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

GUILLERMO ALBERTO MONTERO MEDEL

DIRECTOR DE TESIS

Dr. JOSÉ LUIS ARAGÓN HERNÁNDEZ



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Octubre 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Resumen

El agua, es un recurso no renovable, cada vez más escaso en nuestra sociedad, que afectado por el crecimiento poblacional, que ha incrementado la demanda del recurso, así como el uso, la disponibilidad y el manejo del recurso, es por esta razón que el IMTA ha identificado uno de los principales problemas que se presenta en la gran parte de los organismos operadores de agua potable del país, asociado a la infraestructura obsoleta y el desperdicio del agua y a malas políticas de operación, que no permiten tener un control absoluto para el manejo eficiente del recurso.

Como un compromiso por ser parte de una dependencia del gobierno federal, ante la comunidad del IMTA y ante la sociedad en general, al ser una institución de enseñanza y formadora de recursos humanos dedicados al manejo del agua en las diversas disciplinas de la hidráulica, se creó un programa con diferentes campos de estudio y en la parte de aprovechamiento del agua, ha sugerido un “diagnóstico de la red de agua potable” de las instalaciones en las que se encuentra alojado el instituto y con ello sugerir actividades que puedan mejorar las condiciones existentes y en consecuencia la de los usuarios, permitiendo hacer conciencia del uso y cuidado del agua dentro y fuera de la institución.

Como resultado del diagnóstico, permitió tener un panorama general de las políticas de operación y funcionamiento de la red de agua potable, dando pie a nuevas políticas de operación, permitiendo garantizar el servicio de agua a todos los usuarios, de tal manera que se generen menores costos por uso eléctrico, que permitan disponer del servicio continuo, aprovechando al máximo el agua que es enviada, disminuyendo las posibles fugas, equipos de bajo consumo en baños, mejorando las políticas de riego, es decir, medidas que incrementen el aprovechamiento del recurso y con el propósito de ser una institución ejemplo de su buen manejo y ser un modelo implementado en otros órdenes de gobierno.

Las acciones implementadas son base para la identificación y mejora de la red de agua potable, además nos ayudan en la reducción de pérdidas y recuperación de caudales, en reducción de los consumos, por lo que es necesario darle el seguimiento a los trabajos, que una vez identificados contribuyen en el ahorro del recurso, sin dejar de lado, hacer conciencia en la comunidad del IMTA sobre un uso adecuado del mismo.

Índice de contenido

Resumen.....	I
Índice de contenido.....	III
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	X
Agradecimientos.....	1
Introducción.....	3
Capítulo I Antecedentes.....	5
1.1. Problemática.....	5
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo principal.....	6
1.2.2 Objetivo secundario.....	7
1.2.3 Metas y estrategias.....	7
1.3. Descripción del trabajo.....	8
1.4. Programas en universidades en el extranjero.....	9
1.5. Programas en universidades de México.....	11
1.6. Programas en entidades de gobierno.....	13
1.7. Conceptos básicos.....	13
1.8. Pozos.....	15
1.8.1 Pozos Artesianos.....	15
1.8.2 Pozos hincados.....	15

1.8.3	Los pozos someros y profundos	16
1.9.	Tuberías.....	16
1.10.	Dispositivos de control	17
1.11.	Piezas especiales	18
1.12	Almacenamiento para distribución.....	18
1.12.1	Depósito de regularización.....	18
1.12.2	Tanques enterrados	19
1.12.3	Tanques semienterrados.....	19
1.12.4	Tanques superficiales	19
1.12.5	Tanques elevados.....	20
1.13	Distribución del agua.....	20
Capítulo II Zona de estudio		21
2.1	Localización	21
2.2	Características generales.....	22
2.2.1	Extensión	22
2.2.2	Orografía	23
2.2.3	Hidrografía.....	23
2.2.4	Clima.....	24
2.2.5	Uso y tipo de suelo	24
2.3	Infraestructura hidráulica.....	25
2.3.1	Datos generales.....	25
2.3.2	Padrón de usuarios.....	25
2.3.3	Fuentes de abastecimiento	26

2.3.4	Red de distribución de agua potable	28
2.3.5	Depósito de regulación y tanques de almacenamiento	31
2.4	Operación	32
2.5	Muebles de baño.....	37
Capítulo III Instrumentación		39
3.1	Equipos de medición	39
3.2	Equipos para medir caudal.....	40
3.2.1	Partes básicas que componen un medidor	40
3.3	Clasificación de medidores.....	42
3.3.1	Medidor electromagnético	42
3.3.2	Medidores volumétricos	43
3.3.3	Medidores inferenciales.....	47
3.3.4	Medidor ultrasónico.....	50
3.4	Equipos para medir presión	52
3.5	Selección de puntos y equipo de medición.....	53
3.5.1	Caudales	54
3.5.2	Presiones	55
3.6	Instrumentación de la red de agua potable	56
Capítulo IV Medición de caudales y presiones.....		61
4.1	Macro medición	61
4.1.1	Fuente de abastecimiento.....	61
4.1.2	Depósito de regulación	64
4.1.3	Red de distribución	65

4.2	Micro medición	65
4.2.1	Método de prueba	66
4.2.2	Tanques de almacenamiento	68
4.3	Análisis de resultados.....	69
4.3.1	Captación.....	69
4.3.2	Depósito de regulación	70
4.3.3	Red de distribución	70
4.3.4	Sistema de telemetría	71
4.3.5	Macro medición	72
4.3.6	Micro medición	73
4.3.7	Presiones en la red de distribución	78
4.3.8	Tanques de almacenamiento	80
4.3.9	Planta de tratamiento de aguas residuales.....	81
4.4	Muebles de baño.....	83
4.5	Diagnóstico.....	84
4.6	Balace hidráulico	86
4.7	Eficiencia del sistema	90
4.7.1	Dotación promedio por habitante por día	90
4.8	Pronóstico	91
4.9	Recomendaciones	91
4.9.1	Fuente de extracción.....	92
4.9.2	Depósito de regulación	92
4.9.3	Red de distribución	92

4.9.4	Registros y cruceros	92
4.9.5	Sistema de telemetría	93
4.9.6	Tanques de almacenamiento	95
4.9.7	Riego.....	95
4.9.8	Muebles de baño.....	96
Capítulo V Conclusiones		97
Bibliografía		101

Índice de figuras

Figura 1 Esquema de una red de abastecimiento de agua potable. Fuente: "MAPAS CONAGUA 2015".....	14
Figura 2: Esquema de perforación de un pozo.....	16
Figura 3: División política del estado de Morelos.....	21
Figura 4: Croquis de localización de la zona de estudio.	22
Figura 5: Comportamiento temporal de los volúmenes producidos en los años 2013 y 2014.	27
Figura 6: Ubicación de los edificios que conforman el IMTA.....	29
Figura 7: Catastro de la red de distribución de agua potable del IMTA.	30
Figura 8: Plano general de la red de distribución de agua potable.	36
Figura 9: Medidor volumétrico. Fuente "Badger Meter".	40
Figura 10: Partes de un medidor volumétrico. Fuente "Badger Meter"	41
Figura 11: Medidor electromagnético utilizado para medir caudales muy grandes.	43
Figura 12: Medidor volumétrico. Fuente "PUMAGUA, UNAM"	43
Figura 13: Despiece de un medidor volumétrico de disco nutante.....	44
Figura 14: Medidor volumétrico instalado en la entrada del tanque de almacenamiento del edificio 19, perteneciente al centro de capacitación.....	45
Figura 15: Medidor volumétrico de pistón oscilante.....	46
Figura 16: Medidor volumétrico de pistón oscilante, instalado para medir riego.	46
Figura 17: Medidor de tipo inferencial o de velocidad.....	47
Figura 18: Medidor de chorro único.....	48
Figura 19: Medidor de chorro múltiple.	48
Figura 20: Medidor ultrasónico portátil.	51
Figura 21: Medidor electromagnético instalado en la fuente de abastecimiento con itólica integrado.	51
Figura 22: Manómetro utilizado en la medición de la presión en diferentes puntos de una red de agua potable.	53

Figura 23: Ubicación de los medidores electromagnéticos. En el pozo, salida del tanque de regulación y derivaciones principales.	58
Figura 24: Localización de medidores volumétricos.	59
Figura 25: Caudales medidos en la fuente de abastecimiento del 2 -8 de septiembre del 2015 con medidor electromagnético.	63
Figura 26: Caudales medidos en la fuente de abastecimiento del 2-8 de septiembre del medidor ultrasónico (móvil)	63
Figura 27: Caudales medidos en la salida del depósito de regulación del 2-8 de septiembre de 2015.	64
Figura 28: Aforo volumétrico en áreas de riego.	67
Figura 29: Aforo de medidores volumétricos en tanques de almacenamiento en la entrada de los edificios.	68
Figura 30: Infraestructura de la fuente de abastecimiento de la red de agua potable.	69
Figura 31: Depósito de regulación del IMTA.	70
Figura 32: Gasto promedio registrado en el aforo de medidores electromagnéticos.	72
Figura 33: Volumen producido en la fuente de abastecimiento.	75
Figura 34: Suministro del depósito de regulación.	76
Figura 35: Volúmenes consumidos en los edificios.	77
Figura 36: Volumen consumido en áreas de riego.	78
Figura 37: Medición de presiones en la red de agua potable.	79
Figura 38: Tanque de almacenamiento perteneciente a casa editorial.	81
Figura 39: Caudal de llegada de agua cruda a la planta de tratamiento de aguas residuales.	82
Figura 40: Balance de agua estimado.	87
Figura 41: Correlación entre la fuente de abastecimiento y el depósito de regulación.	88
Figura 42: Volumen del suministro del depósito de regulación.	89

Índice de tablas

Tabla 1: Volumen de agua producido en los años 2013 y 2014	27
Tabla 2: Derivaciones y ubicación de los medidores electromagnéticos instalados.	28
Tabla 3: Material, longitud y porcentaje de la tubería en la red de agua potable.	31
Tabla 4: Ubicación y capacidad de las cisternas que suministran agua los edificios.	32
Tabla 5: Diámetros de las tuberías a la entrada y a la salida de los tanques.	34
Tabla 6 : Tipo y porcentaje de muebles de baño.....	38
Tabla 7: Selección de medidores volumétricos.	55
Tabla 8: Medidores electromagnéticos instalados en la red de agua potable.....	57
Tabla 9: Medidores volumétricos instalados en edificios.	57
Tabla 10: Medidores volumétricos instalados en áreas de riego y otros usos.....	57
Tabla 11: Estatus de los medidores electromagnéticos de acuerdo a su funcionamiento.	73
Tabla 12: Estatus de funcionamiento de los medidores volumétricos instalados.	74
Tabla 13: Promedio mensual de agua cruda residual que llega a la planta de tratamiento.	83
Tabla 14: Volúmenes mensuales de extracción y regulación.....	88
Tabla 15: Muestra la cantidad de agua utilizada y el porcentaje que representa.	89

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser parte de ella, a la que siempre tendré presente y pondré su nombre en alto.

A la Facultad de Ingeniería por permitirme formarme dentro de sus aulas, darme los conocimientos y la orientación fundamental para mi desarrollo profesional y personal.

A mi director de tesis el Dr. José Luis Aragón Hernández, por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo, quien con su dirección, enseñanza y dedicación me ha permitido culminar esta etapa con seriedad y responsabilidad, dejando en mí sus consejos, orientación y motivación como una parte fundamental en mi formación y en mi vida personal.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por las facilidades para la generación y obtención de la información, permitiéndome la elaboración del presente documento con el propósito de obtener el grado de Ingeniero Civil, especial reconocimiento a la Coordinación de Comunicación, Participación e Información, a la Subcoordinación de Educación y Cultura del Agua y a sus titulares, el Mtro. Jorge Arturo Hidalgo Toledo y al Dr. Rafael Val Segura, respectivamente.

Así mismo, al área de Servicios Generales del IMTA, quien colaboró en los trabajos de campo para la obtención de la información.

A mis padres Enrique y Cecilia, quienes con su ejemplo, apoyo incondicional, dedicación, enseñanzas, paciencia y tolerancia me han mostrado el camino de la perseverancia, sencillez, honradez, para logra mis metas, convirtiéndolas en realidad.

A mi hermano Enrique Octavio quien, con su enseñanza, experiencia y consejos, ha sido un pilar fundamental en mi vida para el logro de esta tan anhelada meta.

A mi novia Yuli, por brindarme el apoyo incondicional y ser siempre una motivación para mi superación personal y profesional.

A mis amigos del PUMAGUA, PADHPOT E IMTA, por ser con quienes he vivido logros, fracasos, aventuras, alegrías, tristezas, pero sobre todo que han sido parte de este trabajo en alguna etapa de su desarrollo hasta la culminación del mismo.

Introducción

Durante muchos años, incluso décadas, se ha tenido la percepción de que el recurso hídrico era abundante, un bien inagotable, conduciendo a un uso irracional del agua. Si bien es cierto que el 70 % de la superficie del planeta es agua, solamente el 2.5 % es dulce y de ésta, únicamente se puede utilizar para satisfacer las necesidades humanas el uno por ciento; esto aunado a factores que determinan una mala distribución natural, se convierte en una desigualdad, ya que en algunas regiones del país abunda y en otras escasea o es inexistente. Por otra parte, el crecimiento de la población, la sobreexplotación del recurso, el cambio climático, infraestructura insuficiente o en algunos casos nula, el desperdicio y la contaminación, son factores que afectan gravemente la disponibilidad del agua para consumo humano.

Es por ello, que hay fomentar la concientización de la población para un uso efectivo del recurso hídrico, ya que es importante para el desarrollo económico, bienestar social y conservación de los ecosistemas del planeta.

El uso eficiente del agua en México se entiende como la optimización del uso del agua y de la infraestructura correspondiente, con la participación activa de los usuarios y con un alto sentido de equidad social (Arreguín, 1991).

Las técnicas de uso eficiente del agua potable que mayormente se han impulsado en las ciudades mexicanas se clasifican en siete grupos: a) macromedición, b) micromedición, c) reducción de fugas, d) tarifas, e) reglamentación f) comunicación y participación y g) dispositivos ahorradores de agua (Ochoa, 2004).

El uso eficiente del agua está muy relacionado con otros conceptos básicos del manejo actual de recursos ambientales, y en muchos casos, forma parte integral de ellos. De éstos, tal vez el más arraigado es el de la conservación del agua, la cual implica, cualquier reducción o prevención de

pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad. Al mismo tiempo, la definición de la conservación sugiere que las medidas de eficiencia deben tener sentido social y económico, además de reducir el uso del vital líquido por unidad de actividad. (Palacios, 2005).

Los programas de uso eficiente de agua instrumentados en México desde 1984, son una herramienta a largo plazo, muchas veces la única opción disponible. No sólo aporta beneficios al sistema que lo efectúa, también significa mejoras para otros usuarios. El uso racional del agua puede ahorrar la construcción de obras de abastecimiento, gestión de créditos para derechos de agua, uso de equipos, recursos para la gestión de planes para la conservación del suministro, así como de obras de riego, generación hidroeléctrica y hasta recreación.

Es importante promover el uso eficiente de agua y tratar de ir eliminando algunas actividades de manera paulatina que afecten el uso racional del recurso. Es también importante, que existan medidas de tipo estructural, como la sustitución de tuberías, reparación de fugas, control de presiones en los sistemas de distribución e instrumentación de programas de uso eficiente de agua, al interior de las dependencias de los tres niveles de gobierno.

Además, la conservación del agua, asegura un desarrollo sostenible para los habitantes de hoy y las generaciones futuras. Por lo mencionado anteriormente, una de las políticas en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua relacionado con el manejo de los recursos ambientales, es una prioridad el uso eficiente del agua en sus instalaciones, para enfrentar uno de los problemas actuales que se dan en esta materia.

Capítulo I Antecedentes

Es importante conocer los fundamentos teóricos referentes a los programas que se han realizado en diferentes países. En este capítulo se hará referencia a los programas desarrollados para mejorar el uso del agua, que se han implementado en las universidades que se han preocupado por el mejor aprovechamiento del recurso. Entre ellas, destacan la Universidad de Stanford, en Estados Unidos, la Universidad de Sídney en Australia; también se presentan las acciones realizadas en las instituciones de educación superior e instituciones de gobierno en México.

Además, se presentan los conceptos que permiten comprender lo que es una red de agua potable y entender el funcionamiento de la misma, así como los trabajos que se requieren para conocer las condiciones en la que se encuentra la red del IMTA y proponer acciones que permitan el ahorro del agua.

1.1. Problemática

El agua representa en nuestra sociedad, la fuente principal de vida, y con el paso de los días toma más relevancia en el panorama mundial por la importancia que tiene en todos los ámbitos. Sin embargo, la disposición del recurso se ha visto afectada por el crecimiento poblacional, que ha incrementado la demanda del agua, el uso no eficiente y su contaminación (Rocha 2010).

Es por esta razón que en el IMTA se ha identificado uno de los problemas primordiales, el uso racional y eficiente del agua. Es así como surge un programa interno del IMTA, orientado no sólo en el aprovechamiento del agua, sino que también tiene otras aristas que tienen que ver con el ahorro de energía y el reciclaje (pueden ser aprovechadas para construcción y reparación de infraestructura existente). Además cuenta con una de las actividades fundamentales dentro del programa denominado IMTA Verde, el cuidado y aprovechamiento del agua dentro de sus instalaciones.

Como un compromiso ante la comunidad del IMTA y ante la sociedad misma, es necesario promover la implementación de acciones que permitan revertir los efectos del desperdicio del recurso en sus instalaciones y generar dentro de él conciencia, encaminando infinidad de esfuerzos para promover un uso adecuado del agua, con la encomienda de evitar pérdidas y hacer hincapié sobre el cuidado y ahorro del recurso.

Para resolver la problemática y las anomalías identificadas en el manejo del agua potable, que conlleva a implementar el programa IMTA Verde en la parte de aprovechamiento del recurso agua del IMTA, han llevado a sugerir la realización de una revisión de la misma, para la implementación de actividades que puedan mejorar las condiciones existentes y en consecuencia la de los usuarios, además de hacer conciencia del uso y cuidado del agua dentro de la institución.

1.2. Objetivos

Para el desarrollo del presente trabajo se plantea un objetivo principal y un objetivo secundario, ambos se describen a continuación.

1.2.1 Objetivo principal

El IMTA, a través de la Subcoordinación de Educación y Cultura del Agua, participa en el proyecto denominado “IMTA Verde” con el “***objetivo de diseñar, probar y validar una metodología en el IMTA, pueda ser implementada en las instituciones públicas de los tres órdenes de gobierno.***”

1.2.2 Objetivo secundario

Para implementar de forma adecuada el objetivo principal se propone los objetivos secundarios siguientes:

- ***Diagnóstico de la infraestructura hidráulica y sanitaria existentes.***
- ***Implementar las acciones necesarias para el manejo del agua en el IMTA, permitiendo un manejo adecuado y uso eficiente del agua.***
- ***Un programa de educación y cultura del agua, dirigido tanto al personal como a los visitantes de la institución.***
- ***Además del cuidado y ahorro del recurso.***

Con la realización del diagnóstico se elaboran los trabajos necesarios para comprobación del trazo y materiales de la red de agua potable, actividad que se facilita si se tienen los planos de las instalaciones. Cuando no se dispone de éstos, una gran ayuda para definir, sobre todo el trazo de la red, es apoyarse en la ubicación de las cajas de válvulas, ya que es posible y efectivo suponer trayectorias de las líneas, las cuales se validan mediante cierre de válvulas y calas.

Durante estos trabajos es posible complementar la información con el tipo de materiales de los cuales está conformada la red, diámetros, ubicación de válvulas, manómetros y accesorios especiales. Por otro lado, este tipo de trabajos son importantes porque sirven como una primera evaluación del estado de las cajas y válvulas, así como para detectar fugas dentro de los registros.

1.2.3 Metas y estrategias

Las estrategias a seguir están relacionadas con la identificación de los elementos que afectan de manera significativa la red de agua potable del IMTA, permitiendo implementar las acciones que

mejoren el aprovechamiento del recurso, su disposición y el reciclaje del mismo, para utilizar al máximo tanto los recursos materiales como humanos para su mejor disposición para la comunidad del IMTA. Por lo que las metas trazadas son:

- Aprovechar de mejor manera el agua que se extrae del pozo.
- Instalar equipos de lectura remota en los medidores de la red principal.
- Reducir el desperdicio de agua.
- Verificar el estado que se encuentran las cisternas.
- Evaluar el desempeño de las tazas sanitarias, basadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-009-CONAGUA-2001.
- Adecuar y/o mejorar las instalaciones hidráulicas y sanitarias.
- Aprovechar el agua tratada.
- Crear conciencia en el personal e invitarlos a que se sumen para adoptar las medidas de uso y conservación.

1.3. Descripción del trabajo

En este trabajo se realizó el diagnóstico de la infraestructura de una red de agua potable, el cual consta de cinco capítulos, donde se describe cada uno de ellos de la siguiente manera:

En el capítulo uno, la introducción, se hace una breve descripción sobre la disponibilidad de agua que existe en el planeta y de ésta, cuanta es aprovechada para el consumo humano; por otra parte, se hace referencia a la problemática de disponibilidad y aprovechamiento del agua como justificación de que hay que hacer un buen uso del recurso en cualquier parte del planeta. Así pues, se define la problemática y los objetivos del desarrollo de este trabajo, con la finalidad de proponer mejoras a las condiciones existentes de la red de agua potable, la cual pertenece al Instituto Mexicano de Tecnología de Agua, tratando de convertir a esta entidad como punta de lanza para la elaboración de proyectos sustentables en la materia.

En el capítulo 2, se hace referencia a las condiciones y a las características del lugar de estudio, así como las condiciones actuales en que se encuentra la red de agua potable.

En el capítulo 3, se describe la instrumentación de la red de agua potable, es decir, los elementos necesarios y faltantes para la conformación de un sistema de telemetría; se realiza una clasificación de los medidores. También se hacen recomendaciones para medir presiones en diferentes puntos de la red.

En el capítulo 4, se hace una descripción de los trabajos realizados en la red de agua potable, como son actualización de planos, identificación de equipos de medición, catastro de la red, medición de caudales, aforo de medidores, revisión de los tanques de almacenamiento y el depósito de regularización, recopilación y procesamiento de la información y análisis de resultados.

En el capítulo 5, se presentan las conclusiones de los trabajos realizados en campo y también se realizan algunas recomendaciones que permiten mejorar el funcionamiento de la infraestructura y el aprovechamiento del agua de manera más eficiente.

En este sentido, se plantearon las modificaciones necesarias que permitan implantar acciones que reduzcan los consumos, que aprovechen los recursos al máximo y que se minimicen costos para la conservación y uso eficiente del agua dentro del Instituto, permitiendo ser una forma de fomentar la cultura del agua, así como convertirse en vanguardia en el manejo responsable del recurso.

1.4. *Programas en universidades en el extranjero*

Los programas de uso eficiente del agua que se han implementado en el extranjero, corresponden a países que se mantienen a la vanguardia en el estudio del agua, a raíz de los principales fenómenos que se han ido presentado en el transcurrir del tiempo, desde las sequías, la contaminación del recurso, hasta las más actuales, como el cambio climático, la deforestación y

algunos otros que han reducido de manera significativa la utilización y la disponibilidad del agua.

Existen casos de programas exitosos que han permitido identificar y garantizar el recurso para sus instituciones a corto, mediano y largo plazo. Entre los programas implementados de manera satisfactoria en el extranjero, se encuentra el de la Universidad de Stanford, California, reconocida como una de las líderes mundiales en investigación y enseñanza y una de las más grandes en extensión del mundo con 33.1 Km². En ella se ha implementado desde hace más de 20 años un programa de conservación del agua en sus instalaciones, luego de pasar por inclemencias del tiempo como sequías, por lo que las autoridades del estado se vieron en la necesidad de disminuir el suministro del agua.

Dentro de las principales acciones que han realizado se encuentran, identificar a los grandes consumidores dentro de la universidad, reducción de consumos, sustitución de agua potable por agua tratada, flora nativa en sus jardines reduciendo el riego de áreas verdes, inversión en riego automatizado con tecnología de evapotranspiración que permite detectar la humedad del suelo para indicar la hora de riego. Además se instalaron de muebles de baño de bajo consumo.

Este programa a 7 años de implementado, logró reducir en un 15 % el consumo de agua dentro de la universidad al pasar de 142 l/s a 120 l/s. Este resultado es tangible con la implementación de las acciones realizadas anteriormente descritas.

Otro caso de éxito en el extranjero, es el de la Universidad de Sídney en Australia. Ellos realizaron un plan de acciones de ahorro del agua, derivado de la crisis en su principal embalse (Warragamba) que le generó una reducción en el suministro de agua en un 39.1 %. El plan fue diseñado por dos campus de los 7 con los que cuenta la Universidad, el cual contemplaba prácticas ecológicamente sostenibles y un plan para la renovación de su infraestructura de agua.

Las acciones que permitieron reducir hasta 35.0 % el suministro de agua en la Universidad son:

- Instalación de medidores de agua.
- Programas de detección y reducción de fugas.

- Reducción y control de presiones.
- Sustitución de torres de enfriamiento.
- Estudios y automatización de riego.
- Uso de aguas tratadas para riego.
- Reemplazo de equipos de baño de bajo consumo.
- Colocación de equipos de laboratorio de bajo consumo.
- Suministros alternativos, como aprovechamiento de agua de lluvia.(PUMAGUA 2008)

1.5. *Programas en universidades de México*

En México, el caso más claro y exitoso ha sido la implementación del Programa de Manejo, uso y reúso del Agua (PUMAGUA) en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

En el año 2007, el Consejo Universitario de la UNAM consideró necesario adoptar medidas concretas para lograr el uso y manejo eficiente del agua en todos sus Campus, no sólo ante los problemas asociados al crecimiento de sus instalaciones, sino también como ejemplo de hacer uso del conocimiento universitario en la solución de los problemas prioritarios del país. Fue por ello que, por mandato del propio Consejo, el Instituto de Ingeniería de la UNAM se dio a la tarea de plantear los objetivos, metas y las estrategias necesarias para poner en marcha el PUMAGUA. (Rocha 2010).

Finalmente, en enero del 2008 se puso en marcha el PUMAGUA con un objetivo principal, el de implantar un programa integral de manejo, uso y reúso del agua en la UNAM con la participación de toda la comunidad Universitaria, cuyas metas concretas para el periodo 2009-2011 fueron: 1) reducir en un 50.0 % el suministro de agua potable, 2) mejorar la calidad del agua potable en todas las instalaciones y el agua de reúso para riego de jardines y 3) lograr la participación de toda la comunidad universitaria (Rocha 2010).

De los resultados que ha presentado la Universidad desde la creación del PUMAGUA, lo más significativo es lo referente al suministro de agua; hasta el momento se han recuperado 28 l/s, reduciendo en un 30 % el caudal perdido en la red de distribución y en un 66 % en el interior de los edificios.

La dotación promedio actual por universitario es de 20 l/hab/día. Con el programa de muebles de baño de bajo consumo, las dependencias están ahorrando un 40 % del agua suministrada a los edificios. Actualmente, se está construyendo una plataforma para monitorear los caudales suministrados y consumidos, controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado. También provee de toda la información que se genera en el proceso de monitoreo, tanto en la cantidad de agua como en la calidad de ésta.

Aunado a ello, el PUMAGUA impulsa medidas para reducir los consumos de agua potable en el sistema de riego con las acciones siguientes: a) uso de agua tratada, b) equipos más eficientes para reducir el consumo en un 40 % y c) jardines con vegetación nativa que no requiere de riego.

Además, el PUMAGUA se ha extendido hacia algunos municipios de la República Mexicana, creando el Programa de Apoyo al Desarrollo Hidráulico a los Estados de Oaxaca, Puebla y Tlaxcala (PADHPOT), con la misión de mejorar y hacer más eficiente la calidad de los servicios de agua potable y saneamiento de estos tres estados y particularmente de algunos municipios, incrementando con ello la disponibilidad de agua en lugares donde tienen el recurso y no pueden disponer de él por falta de infraestructura. Además, permite mejorar las condiciones de los organismos operadores, creando políticas de operación más eficientes a través de la modelación numérica de las redes existentes, para la mejora y disposición del agua en esos municipios.

1.6. *Programas en entidades de gobierno*

En tanto, a nivel de dependencias del gobierno federal, se ha implementado el Programa de Uso Eficiente y Racional del Agua (PUERA), creado para que estas incorporen estrategias que permitan el manejo del agua racionalmente dentro de las instalaciones de cada una de ellas, con el propósito de implementar a mediano y largo plazo acciones que logren disminuir los consumos, de acuerdo a las actividades que realizan.

Una de las mayores constantes, es la implementación de programas que han redituado en el ahorro del agua a través de la implementación de estrategias de ahorro, tanto en las universidades extranjeras, como en los casos de la UNAM. Todos ellos han coincidido en estrategias de reducción de consumos a través de acciones como la implementación de sistemas más eficientes de medición, recuperación de pérdidas físicas de agua, implementación de equipos de bajo consumo en los baños, riego automatizado, sustitución de vegetación por vegetación endémica de los lugares en cuestión. El principal objetivo es la recuperación de caudales, acciones que han hecho exitosos a cada uno de los casos expuesto y que cada una a su manera han implementado y les han permitido estar a la vanguardia en cuestión de uso eficiente de agua, convirtiéndose en un ejemplo para la sociedad.

1.7. *Conceptos básicos*

En general, *un sistema de agua potable* comienza con la captación, lugar identificado para extraer el agua, sea una fuente superficial o subterránea, además de conocer el tipo de disponibilidad del agua basándose en el ciclo hidrológico.

Una vez identificado el tipo de captación, se procede a realizar el o las obras de conducción para la disposición del agua hacia lo que será la obra de *regulación*, que permitirá el suministro del agua hacia el o los lugares donde será utilizada.

El almacenamiento consiste en un volumen de agua de reserva para una contingencia, en tanto que la regulación permite cambiar un régimen de abastecimiento constante a un régimen de consumo variable.

Así, se llama **red de distribución de agua potable** al conjunto de tuberías, accesorios y estructuras, instalados en una localidad, mediante las cuales se entrega el agua requerida (figura 1). Las tuberías se conectan entre sí por medio de piezas especiales, y se aíslan por tramos mediante válvulas de seccionamiento que permiten la operación y el control de la red en condiciones de seguridad y servicio adecuados.

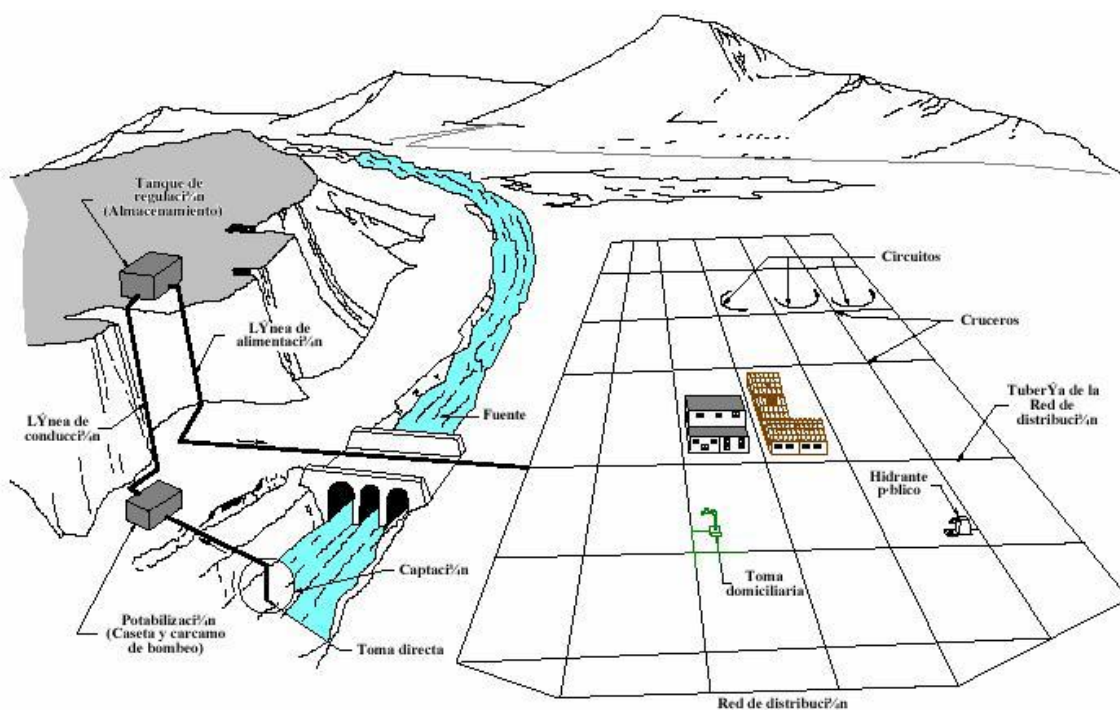


Figura 1 Esquema de una red de abastecimiento de agua potable. Fuente: "MAPAS CONAGUA 2015".

Las redes de distribución de agua potable son las encargadas de entregar el agua directamente a los consumidores. El abastecer de agua a una comunidad por medio de una red, requiere de un sistema extensivo de tuberías, reservas de almacenamiento, sistemas de bombeo y accesorios

necesarios. En otras palabras, el concepto sistema de distribución es empleado para describir el conjunto de los medios utilizados para el abastecimiento de agua, desde la fuente de origen (captación) hasta el punto final de consumo.

1.8. Pozos

Un **pozo** es una perforación vertical, generalmente en forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo radial (figura 2).

Los **pozos** se pueden clasificar en a) pozos artesianos, b) Pozos hincados y c) Pozos someros y profundos.

1.8.1 Pozos Artesianos.

Son aquellos que son excavados o hechos a mano, en donde se utiliza herramientas convencionales como pico y pala (Figura 2); el ademe se construye con mampostería sin la junta respectiva, para permitir por esos huecos el paso del agua. Son pozos que se ubican lejos de las poblaciones o casas, para evitar su contaminación ya que es agua captada superficialmente. La profundidad de estos pozos es menor a 15 m.

1.8.2 Pozos hincados.

Son pozos de poca profundidad (15 o 20 m) según la dureza del suelo, con un diámetro de 25 a 100 mm; también reciben el nombre de puyones. Son utilizados en terrenos blandos en comunidades rurales; para obtener un gasto adecuado se requiere la excavación de varios pozos (el caudal de extracción varía de 0.2 a 1.0 L/s por pozo).

1.8.3 Los pozos someros y profundos

Son perforados con maquinaria pesada. Son someros si su profundidad es menor de 30 m, después de esta profundidad se clasifican como profundos.

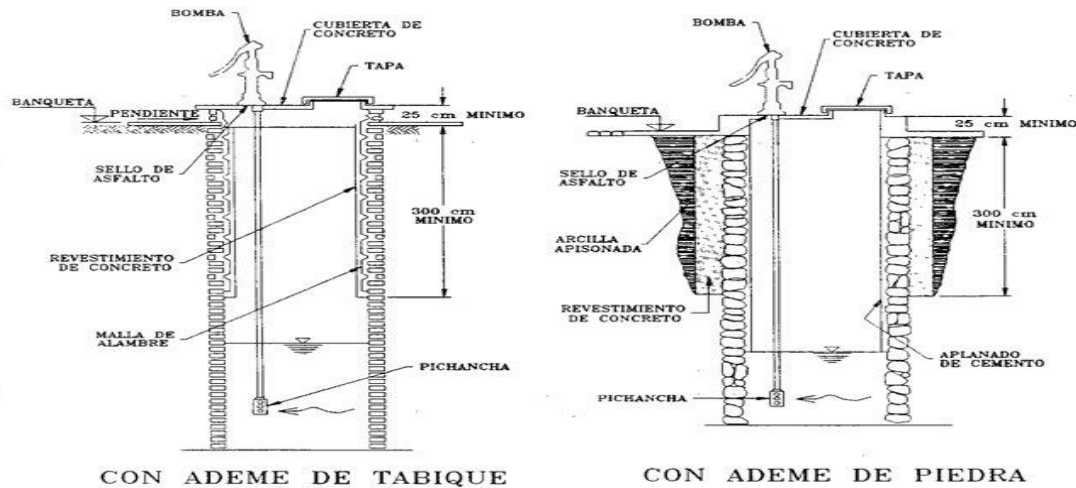


Figura 2: Esquema de perforación de un pozo.

1.9. Tuberías

Se entiende por tubería al conjunto integrado por los tubos y su sistema de unión, para formar una línea principal, integrada por una variedad de diámetros y materiales. Es común que se construya de un solo material, sin embargo, en conducciones a gravedad se puede usar más de un diámetro, aprovechando la energía disponible.

Las tuberías que comúnmente se utilizan para la construcción de líneas de conducción son: acero, fierro galvanizado, fierro fundido, fibrocemento, concreto, PVC, polietileno de alta densidad y cobre.

Con base en el diseño hidráulico de la línea de conducción se buscará el diámetro adecuado y el material que cumpla los requerimientos del sistema.

Con el análisis de fenómenos hidráulicos transitorios se obtendrá el espesor adecuado para la línea de conducción

Los criterios para seleccionar el material adecuado son:

- ✓ Factores hidráulicos (gastos, presiones y velocidades de diseño)
- ✓ Costo
- ✓ Diámetros disponibles
- ✓ Calidad del agua
- ✓ Tipo de suelo (Vela, 2015)

1.10. Dispositivos de control

Los dispositivos de control también llamados “válvulas” permiten el control del flujo en la conducción, por situaciones de corte y control de flujo, acumulación de aire, por llenado y vaciado de la conducción, depresiones y sobrepresiones generadas por fenómenos transitorios y retroceso del agua, por paro del equipo de bombeo.

Las válvulas más usadas en una red de agua potable son las siguientes:

- Eliminadora de aire
- De admisión y expulsión de aire
- De no retorno
- De seccionamiento
- Reguladoras de presión
- Limitadoras de caudal

1.11. Piezas especiales

Son aquellos elementos de unión entre los componentes de una conducción de agua, se utilizan para efectuar intersecciones de conductos, variación de diámetros, cambios de dirección, conexiones con válvulas y equipos de bombeo, etc. Este grupo está constituido por juntas, carretes, extremidades, tees, cruces, codos y reducciones, coples, tapones tapas (Vela, 2015).

1.12 Almacenamiento para distribución

Es la parte del sistema que recibe un gasto desde la fuente de abastecimiento para satisfacer las demandas de una población. El agua se almacena con la finalidad de igualar el suministro y la demanda en periodos de consumo variable.

1.12.1 Depósito de regularización

Permite almacenar un gran volumen de agua cuando la demanda en la población es menor que el gasto de llegada y el agua almacenada se utiliza cuando la demanda es mayor. Generalmente esta regulación se hace por periodos de 24 horas.

Además de la regulación se proporciona un volumen adicional para almacenar agua en el tanque, se dispone entonces de una cantidad como reserva.

El depósito de regularización, tienen por objeto cambiar el régimen de aportaciones de la conducción que siempre es constante, a un régimen de consumos o demandas de la red de distribución que siempre es variable.

La selección del tipo de depósito depende del material disponible en la región, de las condiciones topográficas y de la disponibilidad de terreno.

1.12.2 Tanques enterrados

Estos tanques se construyen bajo el nivel del suelo. Se emplean preferentemente cuando existe terreno con una cota adecuada para el funcionamiento de la red de distribución y de fácil excavación.

1.12.3 Tanques semienterrados

Los tanques semienterrados tienen parte de su estructura bajo el nivel del terreno y parte sobre el nivel del terreno. Se emplean generalmente cuando la altura topográfica respecto al punto de alimentación es suficiente y el terreno presenta dificultad de excavación. Permite un fácil acceso a las instalaciones del propio tanque.

1.12.4 Tanques superficiales

Los tanques superficiales están contruidos sobre la superficie del terreno. La construcción de este tipo de tanques es común cuando el terreno es "duro" o conviene no perder altura y se tiene la topografía adecuada.

1.12.5 Tanques elevados

Los tanques elevados son aquellos cuya base está por encima del nivel del suelo, y se sustenta a partir de una estructura. Generalmente son construidos en localidades con topografía plana donde no se dispone en su proximidad de elevaciones naturales con altimetría apropiada (Vela, 2015).

1.13 Distribución del agua

El sistema de distribución debe ofrecer un suministro de agua potable en cantidad suficiente y una presión adecuada para usos domésticos y de protección contra incendios. Los sistemas de distribución suelen tener forma de red, con conexiones transversales a diversos intervalos. La red de tuberías primarias o arterias principales, forma el esqueleto del sistema de distribución. Una red secundaria transporta agua desde arterias principales a las diferentes áreas para cubrir la demanda de agua.

Una red de distribución (en lo sucesivo red) es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques del sistema de distribución hasta la toma domiciliaria. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial e industrial.

Los límites de calidad del agua, para que pueda ser considerada como potable se establecen en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1 vigente (Vela, 2015).

Capítulo II Zona de estudio

En este capítulo se tratarán aspectos relacionados con la zona de estudio, donde se realizarán los trabajos sobre el diagnóstico. Para ello, es necesaria la ubicación geográfica y las características generales e información de la infraestructura hidráulica, que permitan tener un panorama general.

2.1 Localización

El IMTA está ubicado en el municipio de Jiutepec, perteneciente al estado de Morelos (Figura 3). Se localiza entre los paralelos 18°53' de latitud norte y 99°10' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 1,350 metros sobre el nivel del mar. El municipio de Jiutepec, colinda y limita al norte con Tepoztlán y Cuernavaca, al oriente con Yautepec, al sur con Emiliano Zapata y al poniente con Cuernavaca y Temixco (figura 3)



Figura 3: División política del estado de Morelos.

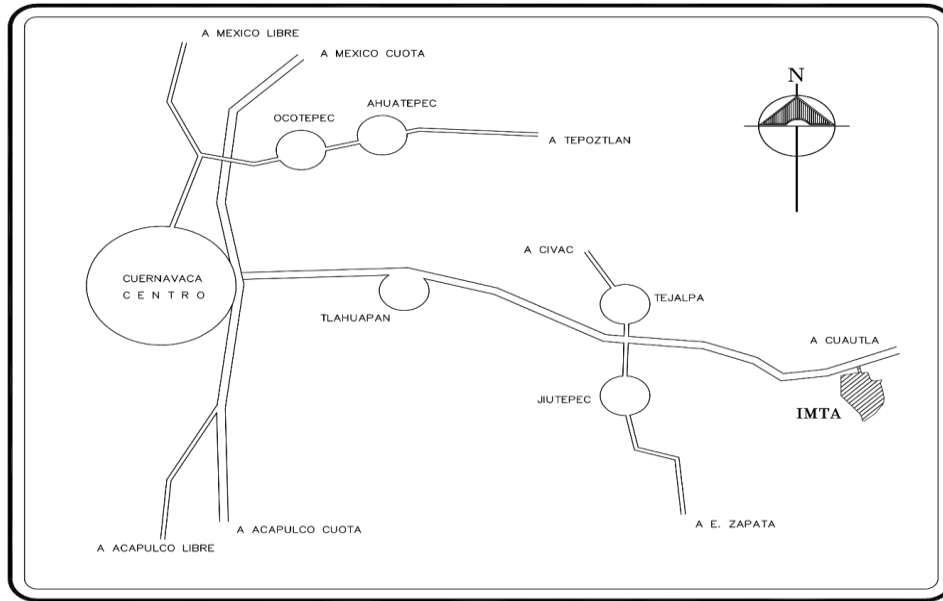


Figura 4: Croquis de localización de la zona de estudio.

2.2 Características generales

Las características generales se refieren principalmente a la descripción de los elementos que permiten conocer a fondo la zona de estudio como extensión, orografía, hidrografía, usos de suelo, clima y la infraestructura hidráulica.

2.2.1 Extensión

El municipio de Jiutepec tiene una superficie de 55.49 Km², representando el 1.1% de la superficie total del estado, mientras que el IMTA dispone de 20 hectáreas de terreno.

2.2.2 Orografía

La superficie del municipio es en general plana, pero existen grandes lomeríos. Al norte un malpaís¹ denominado el texcal, al sur dos grandes cerros llamados antiguamente Llahualxiotépetl y Xiuhtépec, que junto con el cerro pelón forman parte de una serie de eminencias calizas que a la vez contrastan con las corrientes basálticas.

Existen otros, como el gran cerro al oriente, el cerro de la corona que colinda con los cerros que forman el cañón de lobos pertenecientes al municipio de Yautepec. Del Texcal parten unas depresiones de lava hacia las lagunas de Ahuayaopan. La parte norte del municipio es el espacio de transición entre la región Neovolcánica y de la Sierra Madre del Sur.

2.2.3 Hidrografía

Jiutepec pertenece a la cuenca del Amacuzac y enriquece a la microcuenca del río Apatlaco. Atraviesan el municipio corrientes pluviales entre ellas, las aguas broncas de los montes y sierras tanto de Chalma como del Ajusco a través de la barranca de Analco. Otra barranca es la gachupina.

En el Texcal existe la laguna de Ahuayapan, formada por el afloramiento de varios manantiales con una extensión de 1.5 hectáreas. El Texcal es una importante zona de descarga de acuíferos, no sólo para el municipio sino para el estado, sin embargo, a pesar de ser una zona sujeta a conservación ecológica ha sido invadida por intereses caciquiles y de especulación del suelo. En el

¹ Malpaís es un terreno árido, abrupto y estéril, constituido de lava volcánica recientemente fragmentada en bloques.

centro del pueblo, se encuentra el manantial de las fuentes. Además, en el municipio existen otros pequeños manantiales.

Esta riqueza acuífera, más la acción humana había logrado hacer de Jiutepec un recinto hidrológico con apantles y canales de riego, sin embargo, actualmente la mayoría de estas fuentes de agua se encuentran contaminadas y muchos canales de riego están convertidos en drenajes.

2.2.4 Clima

El clima que predomina en Jiutepec, es subtropical caluroso con lluvias en verano. La temperatura media es de 21.2 °C, la variante media máxima es 31.4 °C, su máxima absoluta es de 39.8 °C, la mínima media baja es 10.8 °C y la mínima absoluta 0.5 °C. Los meses más calurosos son abril y mayo y los más fríos diciembre y enero.

Los meses más lluviosos son julio y agosto, con aproximadamente 80 días nublados al año. La precipitación media anual es de 1,021 mm y la época de lluvias es del mes de junio a octubre, alcanzando los 890 mm, con un volumen de lluvia de 59, 334, 890 metros cúbicos.

2.2.5 Uso y tipo de suelo

Algunas de sus tierras son negras, arcillosas, muchas de origen basáltico, algunas otras calizas. También hay colinas y laderas de tezontle rojo y tierra aluvial.

De las 7,400 hectáreas que conforman el municipio, sólo 500 se dedican a la agricultura y 40.7 al área de protección ecológica en la zona de El Texcal. El resto del territorio se encuentra urbanizado o es parte de la reserva territorial (23.3 % del territorio; 3 % de reserva territorial de

Cuernavaca). Por supuesto, esta determinación se da centralmente sin tomar en cuenta las necesidades del municipio, convirtiéndolo en una ciudad dormitorio.

2.3 Infraestructura hidráulica

En este apartado se describirán las características de la infraestructura hidráulica existente en la zona de estudio.

2.3.1 Datos generales

El IMTA cuenta con una extensión territorial de 20.06 hectáreas, sobre las cuales se han construido 37 edificios que ocupan un área aproximada de 2.15 hectáreas. Cuenta con 0.35 hectáreas de áreas recreativas, alrededor de 10.5 hectáreas de espacios verdes, y entre pasillos, banquetas, vialidades y estacionamientos, un aproximado de 7.5 hectáreas.

2.3.2 Padrón de usuarios

El IMTA cuenta con una plantilla base de 403 personas, 350 por contrato externo (*outsourcing*). Cuenta además, con 61 personas que realizan la limpieza en la institución, 29 que realizan labores de mantenimiento, 21 de jardinería y 34 de vigilancia, lo que hace un total de 898 personas que de manera permanente laboran en la institución.

Así mismo, el IMTA recibe mensualmente un promedio mensual de 2,800 visitantes atraídos por los servicios que ofrece entre ellos:

- Estudio hidrológicos e hidráulicos
- Diseño

- Desarrollo y capacitación en temas de calidad del agua
- Comunicación y participación
- Acceso a información especializada que ofrece el Centro de Conocimiento del Agua (CENCA).

2.3.3 Fuentes de abastecimiento

El IMTA se abastece de agua a través de un pozo de 105 metros de profundidad, con una bomba sumergible vertical de 26 HP de operación automática y una eficiencia del 92 %, el cual tiene un gasto promedio de extracción de 14.75 litros por segundo. Esta fuente de abastecimiento pertenece al Acuífero Cuernavaca, de la cuenca del río amacuzac. El pozo cuenta con un medidor de agua tipo electromagnético de 100 mm de diámetro (4 pulgadas). Sin embargo, debido a las necesidades de crecimiento que se han tenido en edificios en los últimos años, este es un foco rojo para el manejo del agua dentro de la institución, dado que se han ido incrementando los volúmenes producidos.

Así, según los datos recabados por los servicios generales encargados de la operación de la red de agua potable del IMTA, en el 2013 se extrajeron de este pozo, 72,584 m³, en tanto que para el año 2014 el volumen extraído fue de 92, 877 m³ (Tabla 1 y Figura 5). Es decir, se incrementó el volumen producido en un 21.85 %.

Tabla 1: Volumen de agua producido en los años 2013 y 2014

MES	Volumen producido (m ³)	
	2013	2014
Enero	10,731	8,441
Febrero	10,674	9,131
Marzo	9,003	11,381
Abril	9,536	9,529
Mayo	7,363	7,882
Junio	2,412	5,135
Julio	3,046	4,922
Agosto	3,157	4,894
Septiembre	3,035	6,126
Octubre	2,890	7,396
Noviembre	4,165	8,274
Diciembre	6,572	9,766
Total	72,584	92,877

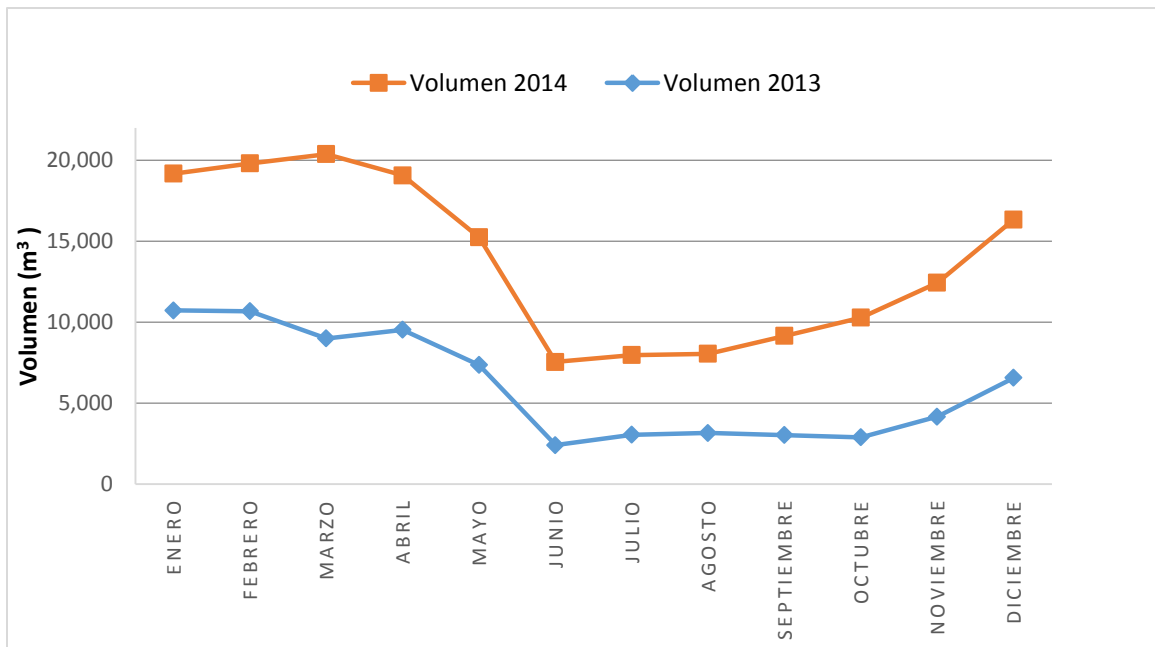


Figura 5: Comportamiento temporal de los volúmenes producidos en los años 2013 y 2014.

2.3.4 Red de distribución de agua potable

De la fuente de abastecimiento sale una línea de 100 mm de diámetro (4 pulgadas) que conduce el agua a un depósito de regulación. La distribución en todos los casos es por bombeo de la siguiente manera: del depósito de regulación, el agua es servida a través de líneas de distribución de diámetro de 100 mm en red primaria y hasta de 25 mm en red secundaria que llegan a cada una de los tanques de almacenamiento que alimentan a cada uno de los edificios.

La red primaria tiene una longitud total de 1,864.17 m de tubería; el material que predomina es el asbesto-cemento (AC). El 70 % de la tubería es de asbesto-cemento (AC) (1,304.92 m), con diámetros igual a 100 mm y 150 mm (4 y 6 pulgadas, respectivamente); un 20 % es de fierro fundido (FoFo), equivalente a 372.83 m, con diámetros de 50, 100 y 150 mm (2, 4 y 6 pulgadas, respectivamente); el 10 % restante es de poli cloruro de vinilo (PVC) que equivale a 186.417 m, con diámetro de 100 mm (4 pulgadas), como se puede ver en la tabla 3.

Existen seis derivaciones de la red de distribución primaria, en cada una de ellas se encuentra instalado un medidor de tipo electromagnético, que contabilizan el caudal que pasa por dichas derivaciones como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2: Derivaciones y ubicación de los medidores electromagnéticos instalados.

Derivación	Diámetro	Coordenadas
Centro de Capacitación	4"	N 18° 53' 0.03" O 99° 09' 35"
Dirección General	4"	N 18° 52' 56.4" O 99° 09' 30.8"
IMTALAB	4"	N 18° 52' 56.5" O 99° 09' 30.7"
Sistema de riego por aspersión	4"	N 18° 52' 54.3" O 99° 09' 42.9"
Estacionamiento Dirección General	4"	N 18° 52' 51.5" O 99° 09' 36.9"
Subestación eléctrica	4"	N 18° 52' 49.3" O 99° 09' 32.5"

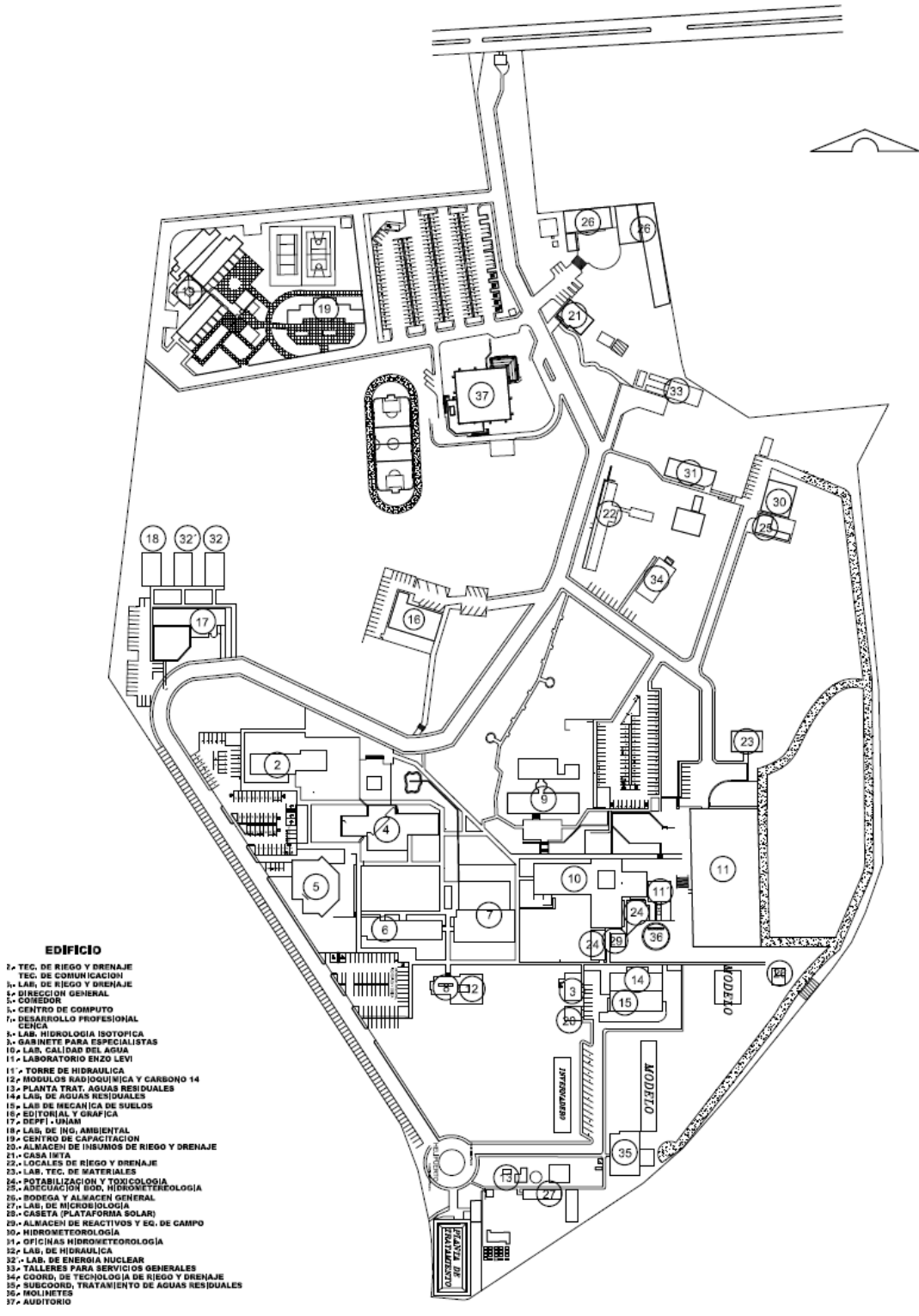


Figura 6: Ubicación de los edificios que conforman el IMTA.

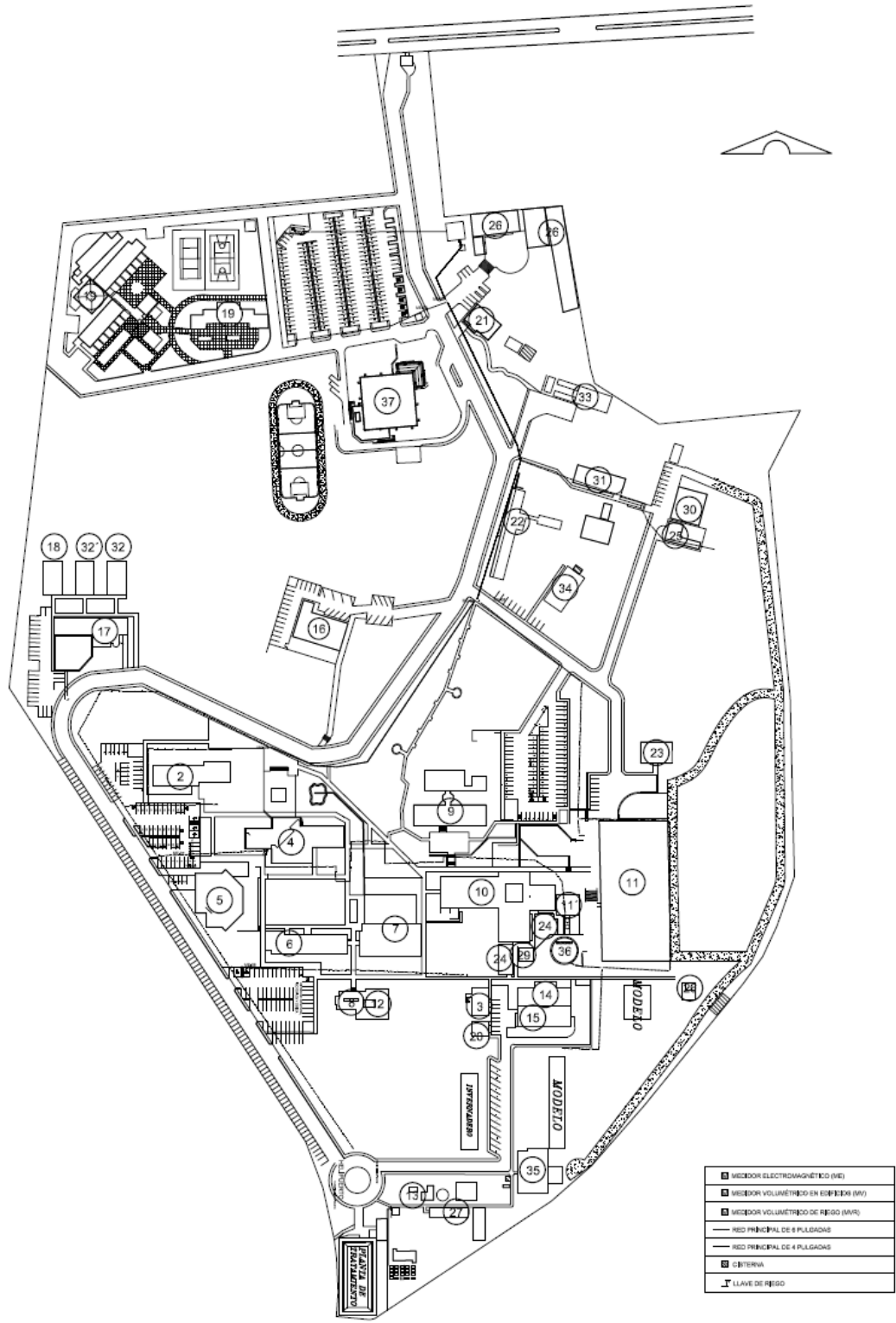


Figura 7: Catastro de la red de distribución de agua potable del IMTA.

Tabla 3: Material, longitud y porcentaje de la tubería en la red de agua potable.

Material	Longitud [m]	Porcentaje [%]
<i>Asbesto cemento (AC)</i>	<i>1,305</i>	<i>70</i>
<i>Fierro fundido (Fo.Fo.)</i>	<i>372.83</i>	<i>20</i>
<i>Poli cloruro de vinilo (PVC)</i>	<i>186.417</i>	<i>10</i>
<i>Total</i>	<i>1,864</i>	<i>100</i>

Además, se tienen un total de 25 cajas de registros, de ellas 17 son cajas de válvulas en la que se secciona y controla el caudal y brinda el servicio a los diferentes edificios; en ocho están alojados macro medidores de tipo electromagnético. Por otro lado, se tienen 25 cruceros donde se alojan los cambios de dirección de la red principal y válvulas de seccionamiento que controlan el paso del agua hacia los edificios.

La configuración de la red de distribución de agua potable es de tipo abierto, con una longitud aproximada de 1,864.17 m

2.3.5 Depósito de regulación y tanques de almacenamiento

Dentro del IMTA se tiene un depósito de regulación principal con una capacidad de 300 m³, donde se recibe el caudal extraído de la fuente de captación (pozo profundo).

La zona de estudios cuenta con 28 tanques de almacenamiento, con capacidades diferentes, de acuerdo al uso de agua en cada edificio (Tabla 4). Así, existen edificios con laboratorios, con aulas y otros son exclusivamente edificios administrativos; además, en cada uno de ellos se utiliza el agua para limpieza de los mismos y usos en general.

Tabla 4: Ubicación y capacidad de las cisternas que suministran agua los edificios.

No.	Ubicación	Capac. (m ³)	No.	Ubicación	Capac. (m ³)
1	General	300.00	17	Planta de tratamiento (Riego)	8.16
2	Casa IMTA	10.63	18	Lab. riego y drenaje	16.17
3	Centro de capacitación (Dormitorios)	15.66	19	Lab. calidad del agua	28.42
4	Centro. de capacitación (riego)	25.00	20	Lab. mecánica de suelos	5.76
5	Taller encaucemos el agua	9.80	21	Torre	64.00
6	Lab. de hidrometeorología	23.27	22	Torre	40.00
7	Casa editorial	6.53	23	Mantenimiento	5.00
8	Tecnología hidráulica	11.65	24	Anexo 2 riego y drenaje	14.40
9	DEPFI	12.80	25	Auditorio	90.00
10	Riego y drenaje	10.60	26	Auditorio (riego)	45
11	Dirección general	11.09	27	Star	14.28
12	Comedor	5.23	28	Tanque Enzo-Levi	1200.00
13	CENCA	22.51		Tanque elevado (torre)	128.00
14	Hidrología y cómputo	1.10			
15	Laboratorio isotópico	13.78			
16	Planta de tratamiento	5.40			

Cabe destacar que se tiene un tanque elevado en el edificio llamado torre (hidráulica), con un volumen de almacenamiento de 128 m³; es un tanque de emergencia para cuando por alguna razón no se puede servir el agua desde el depósito de regulación, que permite operar los modelos hidráulicos que se están caracterizando en el laboratorio.

2.4 Operación

El agua extraída del pozo profundo es conducida hacia un depósito superficial cuya función es regular la demanda de agua por parte de los usuarios con la oferta disponible en la fuente de abastecimiento. La tubería de conducción es de acero dulce con un diámetro de 100 mm o 4 pulgadas. De éste, con apoyo de equipo de bombeo y con horarios establecidos por la administración de servicios generales, se suministra agua a la red. De esta manera, se garantiza el servicio en el punto más alejado y/o desfavorable.

El depósito superficial de regulación cuenta con una capacidad de 300 m³, el agua es enviada mediante un equipo de bombeo a la red de tuberías con presión de salida de 1.2 kg/cm². De acuerdo a información proporcionada por parte del personal correspondiente, los horarios de arranque y paro de este equipo son automáticos. El sistema de bombeo del pozo, extrae agua por lo menos dos veces al día y en ocasiones hasta tres veces, durante un tiempo de una hora y cuarenta minutos de 8:00 h a 9:40 h, de 00:00 h a 1:40 h; y el tercer horario es variable durante el día según el nivel de agua que se tenga en el depósito.

Cabe mencionar, que todo el suministro es por bombeo y sólo el edificio correspondiente al anexo uno de riego y drenaje se suministra por gravedad, sin embargo, cuando no se cuenta con la presión suficiente, se alimenta por bombeo del tanque de almacenamiento del edificio contiguo (anexo dos de riego y drenaje).

Una vez realizada la distribución, el agua llega a cada una de los 28 tanques de almacenamiento de los edificios, donde cada uno cuenta con equipo de bombeo e hidroneumático que permite la disposición del agua para los diferentes usos. En la figura 7, se muestra un plano general de la red de agua potable.

La presión del agua en los edificios es de 2 kg/cm², presión suficiente para dar servicio a los baños, disposición para usos de limpieza y otros usos en general. Los diámetros de la toma correspondiente a la entrada y salida de los tanques de almacenamiento, varían como se muestra en la Tabla 5.

La operación y mantenimiento de la red de abastecimiento de agua potable está a cargo del propio IMTA.

Tabla 5: Diámetros de las tuberías a la entrada y a la salida de los tanques.

No.	Ubicación de la cisterna	Observación	Diámetro de entrada (Pulgadas)	Diámetro Salida (Pulgadas)	Diámetro de riego
1	Casa IMTA	Se puede medir en entrada y salida	5/8	3/4	2
2	Centro de capacitación (dormitorios)	Se puede medir en entrada y salida	5/8	1 1/2	—
3	Centro de capacitación (riego)	Se puede medir en entrada y salida	5/8	1 1/2	—
4	Taller encausemos el agua	Se puede medir en entrada y salida	5/8	3/4	—
5	Laboratorio de hidrometeorología	Se puede medir en entrada y salida	3/4	3/4	2
6	Casa editorial	Se puede medir en entrada y salida	3/4	3/4	—
7	Tecnología hidráulica	Se puede medir en entrada y salida	1	1	—
8	Desarrollo de estudios del Posgrado F. I.	Se puede medir en entrada y salida	3/4	1	—
9	Riego y drenaje	Se puede medir en entrada y salida	1		—
10	Dirección general	Se puede medir en entrada y salida	3/4	1 1/2	—
11	Comedor	Se puede medir en entrada y salida	3/4	1	—
12	CENCA	Se puede medir en entrada y salida	3/4	1 1/4	3
13	Hidrología y cómputo	Se puede medir en entrada y salida	3/4	1	—
14	Laboratorio isotópico	Se puede medir en entrada y salida	3/4	1	—
15	Planta de tratamiento	Se puede medir en entrada y salida	5/8	1	—
16	Planta de tratamiento (riego)	Se puede medir en entrada y salida	3/4	3/4, 1/2, 1 1/2	—
17	Laboratorio de riego y drenaje	Se puede medir en entrada y salida	3/4	1 1/2	—
18	Laboratorio calidad del agua	Se puede medir en entrada y salida	3/4 y 1	2	—
19	Laboratorio de mecánica de suelos	Se puede medir en entrada y salida	3/4	3/4	—

20	Torre	Se puede medir en entrada y salida	3/4	2	—
21	Torre	Se puede medir en entrada y salida	4	1 1/2, 2	—
22	Mantenimiento	Se puede medir en entrada y salida	3/4	1	—
23	Anexo 2 de riego y drenaje	Se puede medir en entrada y salida	1 1/2	3/4	—
24	Auditorio	Se puede medir en entrada y salida	5/8	1 1/4	—
25	Auditorio (riego)	Se puede medir en entrada y salida	1	2	2
26	Sub coordinación de tratamiento de aguas residuales	Se puede medir en entrada y salida	3/4	3/4	—
27	Cisterna Enzo-Levi	Se puede medir en entrada y salida	4		—
28	Molinetes		4		
29	Salida a tinaco caseta de vigilancia			5/8	—
30	Salida a tinaco del almacén general			5/8	—
31	Salida de riego			3	—
32	Anexo de riego y drenaje			5/8	—

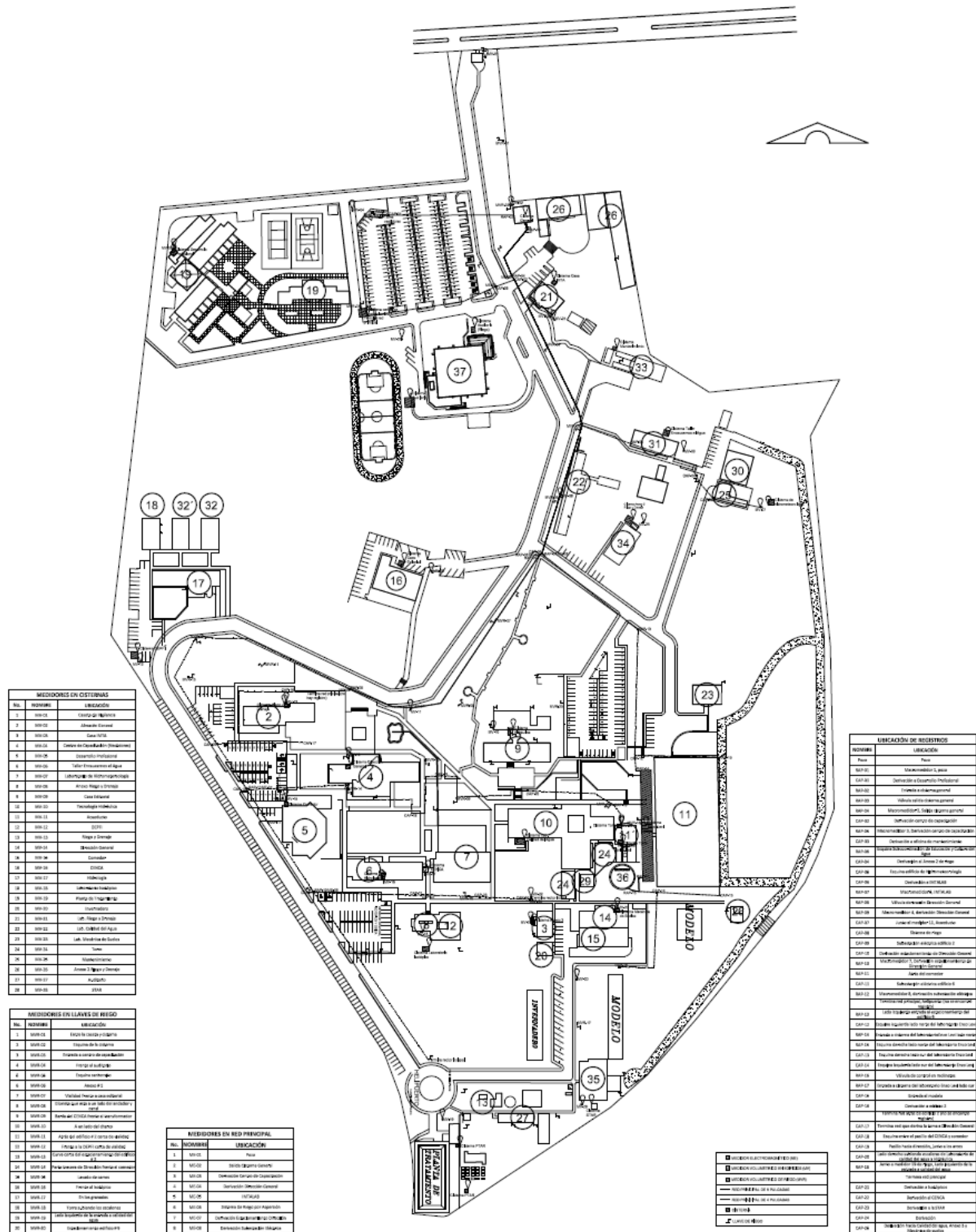


Figura 8: Plano general de la red de distribución de agua potable.

2.5 Muebles de baño

Uno de los lugares donde el agua se desperdicia con mayor facilidad, es en los baños (ya sea de escuelas, edificios de dependencias públicas, edificios privados, universidades entre otros), debido a que las descargas en los sanitarios y el uso del chorro de agua en los lavabos es difícil de controlar.

Por esta razón, tener un inventario del tipo y la cantidad de equipos instalados en los baños de cualquier edificio o dependencia, ayudará a identificar los lugares en el que pueden existir desperdicios de agua (sanitarios, llaves de lavabo, mingitorios y regaderas), o fugas en conexiones como válvulas, fluxómetros, sapos. El inventario consiste en anotar el tipo de mueble, localización y toda la información sobre la inspección del estado físico del mismo.

Por otro lado, se revisa su funcionamiento con la finalidad de evaluar la cantidad de agua que emplean y así emitir una recomendación; esta podría consistir en una sustitución de muebles de baño por equipos ahorradores de agua, con el objetivo de una recuperación evidente de volúmenes de agua.

Con el fin de asegurar el ahorro de agua en el uso y funcionamiento hidráulico de los muebles de baño, se estableció contacto con personal del PUMAGUA, ya que ellos lograron establecer e implementar acciones concretas sobre el uso eficiente del recurso en este rubro.

Tomando como base la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-009-CNA-2001, INODOROS PARA USO SANITARIO-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA, así como la experiencia del PUMAGUA, para la implementación de un programa de sustitución de muebles de baño, se hizo una cuantificación de los muebles de baño instalados en el IMTA y de los equipos que cumplen dicha norma (6 litros por descarga), con el propósito de hacer mejoras en este sentido y dar un uso adecuado del agua en este tema.

Los baños están divididos en módulos de mujeres y de hombres, distribuidos de la siguiente manera:

Se tienen instalados en los baños de mujeres 88 inodoros, 67 lavabos, 6 regaderas, mientras que en los de hombres se tienen instalados 76 inodoros, 57 mingitorios, 65 lavabos, 9 regaderas y 8 tarjas de limpieza.

Por otro lado, en los baños de las áreas comunes se tienen un total de 6 inodoros, un mingitorio, seis lavabos y tres regaderas. En el centro de capacitación se encontraron instalados 28 inodoros, 28 lavabos y 28 regaderas. En los baños privados pertenecientes a la Dirección General, así como en las coordinaciones de área, se tienen instalados baños completos de sanitario, regadera y lavabo.

En total se tienen un inventario de 210 inodoros, 182 lavabos, 57 mingitorios y 46 regaderas, obteniendo un total de 495 muebles de baño (Tabla 6)

Tabla 6 : Tipo y porcentaje de muebles de baño

MUEBLES DE BAÑO		
<i>Inodoros</i>	210	42 %
<i>Lavabos</i>	182	37 %
<i>Regaderas</i>	46	9 %
<i>Mingitorios</i>	57	12 %
<i>Total</i>	495	100 %

Capítulo III Instrumentación

La instrumentación de la red de agua potable consiste de un grupo de elementos que sirven para medir, controlar o registrar variables hidráulicas de la misma, con el fin de optimizar los recursos empleados en ella. Los medidores o contadores de agua, son el elemento esencial para contabilizar los volúmenes de agua que se suministran o que se consumen en cualquier red de distribución de agua potable.

Las principales variable hidráulicas que se pueden instrumentar en una red de distribución de agua potable son los caudales, velocidades y presiones, ya que con estas, es posible conocer el buen funcionamiento y comportamiento de los elementos que componen dicha red.

3.1 Equipos de medición

Según la definición de la Real Academia Española de la Lengua ***medir es comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de averiguar cuántas veces la segunda está contenida en la primera.***

Por lo tanto, un sistema de medición es el conjunto de medidores, accesorios y actividades para obtener, procesar, analizar y divulgar los datos relativos a los volúmenes de agua consumida o aprovechada (Burguette, 2003).

Ante la definición anterior, es necesario analizar el tipo de instrumento que se debe colocar para conocer los volúmenes que se están extrayendo de la fuente de abastecimiento, los que salen del depósito de regulación, los que se dividen en los ramales principales, los que llegan a los tanques de almacenamiento hasta la disposición final del líquido, es decir, el volumen consumido por los residentes del IMTA, lo que permitirá conocer con precisión y exactitud el agua suministrada y

consumida en el transcurso del tiempo.

3.2 Equipos para medir caudal

El medidor de caudal es un aparato destinado para medir y registrar los consumos de agua que se efectúan en una tubería o conjunto de ellas (figura 9)



Figura 9: Medidor volumétrico. Fuente "Badger Meter".

En el mercado, existen diferentes tipos de medidores de acuerdo al tamaño, volúmenes de aforo, diámetro de tubería y al principio de operación.

3.2.1 Partes básicas que componen un medidor

Un medidor está conformado de tres partes fundamentales para lograr contabilizar los volúmenes

que se requieren en los diferentes puntos de la red de agua potable, tanto en la salida de trenes de descarga de los pozos, como en salidas de tanques de regulación, sectores hidráulicos, derivaciones, acometidas hidráulicas a casas o edificios (Figura 10). Estas son:

- a) Carcasa o cámara del medidor. Resguarda todas las partes internas del medidor; de ellas depende el tipo de medidor.
- b) Carátula. Indica el volumen registrado por el contador, esta puede ser mecánica o digital, dependiendo de las necesidades y costos del medidor.
- c) Tarjeta de memoria integrada (*Data Logger*). Guarda la información registrada.

Cabe mencionar que hay modelos de medidores que no cuentan con la tarjeta de memoria, por lo que sólo emiten una lectura puntual, la cual no se puede guardar para formar un registro en tiempo real, esto implica pérdida de información valiosa.



Figura 10: Partes de un medidor volumétrico. Fuente "Badger Meter"

3.3 Clasificación de medidores

Los medidores se clasifican de acuerdo a su tamaño o diámetro, funcionamiento y resolución de la medición. De esta forma se tiene:

Macro medidores. Permiten medir grandes volúmenes de agua, se instalan en tuberías con diámetros a partir de los 100 mm (4 pulgadas). Estos medidores son de tipo electromagnético (Figura 11).

Micro medidor. Se utilizan para medir pequeños volúmenes de agua; se instalan en tuberías con diámetros entre los 15 – 50 mm. Este tipo de medidores pueden ser de dos tipos: volumétricos (Figura 12) o de desplazamiento positivo y los de velocidad o inferenciales. Regularmente estos medidores se instalan en tomas domiciliarias, entradas a tanques de almacenamiento, en módulos de muebles de baño.

3.3.1 Medidor electromagnético

Los medidores electromagnéticos se colocan en tuberías de gran tamaño ubicados en las salidas de trenes de descarga, pozos de extracción, en las salidas de depósitos de regulación y en sectores hidráulicos. Permiten tener un mejor control de los caudales en zonas específicas (Figura 11).

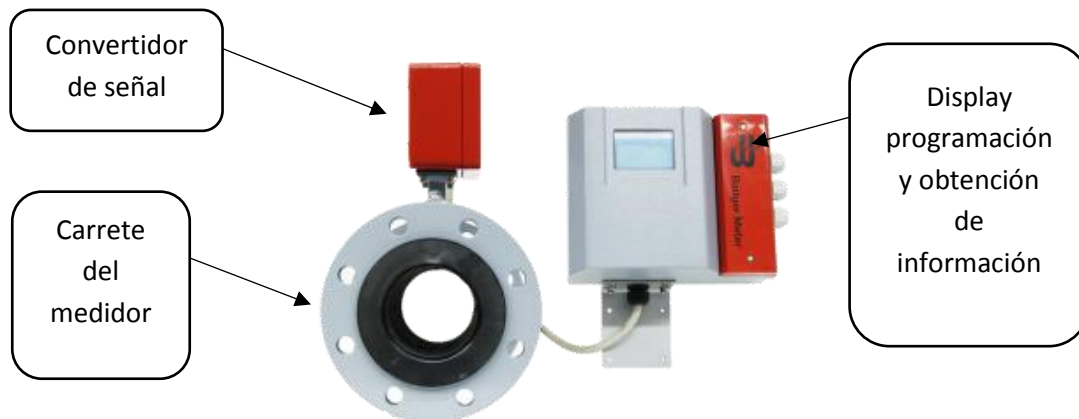


Figura 11: Medidor electromagnético utilizado para medir caudales muy grandes.



Figura 12: Medidor volumétrico. Fuente "PUMAGUA, UNAM"

3.3.2 Medidores volumétricos

Los medidores volumétricos son los más usados en la actualidad, ya que tienen características y ventajas sobre los medidores de velocidad, entre las que destacan, el desplazamiento del órgano móvil simultáneamente con el paso del agua, de tal forma, que si el elemento no se mueve el agua no puede fluir. La sensibilidad de estos equipos es tan alta que con cualquier flujo por mínimo que

este sea, el sistema entra en funcionamiento, esta característica es única en este tipo de medidores.

Los medidores volumétricos o de desplazamiento positivo, se subdividen en dos tipos que son:

- Disco nutante
- Pistón oscilante

3.3.2.1 Disco nutante

El principio de operación de este medidor, consiste de un disco plano o cónico formado por dos partes cónicas invertidas y una parte esférica impulsada por el agua que entra a la cámara a través de un orificio. Cada movimiento nutativo ²corresponde a un volumen del interior de la cámara (Figura 13).

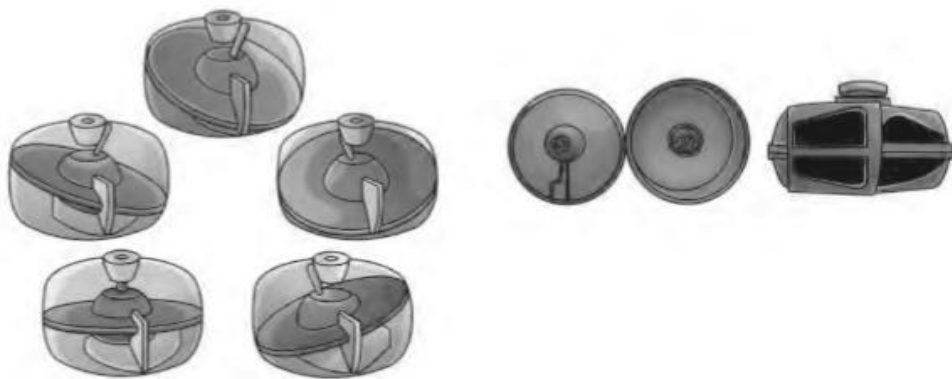


Figura 13: Despiece de un medidor volumétrico de disco nutante.

² El movimiento nutativo, es aquel que cuando se mueve el disco sobre su propio eje permanece fijo, mientras el otro extremo se mueve describiendo un círculo.

Los medidores volumétricos de disco nutante y caratulas digitales instalados en el IMTA, no cuentan con memoria interna (Figura 14).



Figura 14: Medidor volumétrico instalado en la entrada del tanque de almacenamiento del edificio 19, perteneciente al centro de capacitación.

3.3.2.2 Pistón Oscilante

Este medidor está constituido mediante una cámara y un pistón, la cámara es un cilindro cerrado en sus bases por dos planos, con dos aberturas, una en el fondo para la entrada del agua y otro, en la parte superior para la salida de la misma, en su interior, se encuentra otro cilindro de diámetro menor; el pistón en el interior del cilindro menor se desliza a lo largo del mismo como una biela. El movimiento de vaivén, se convierte en un sistema de rotación de biela y manivela (Figura 15).



Figura 15: Medidor volumétrico de pistón oscilante.

Los medidores volumétricos de pistón oscilante, están compuestos de una carcasa que aloja un cilindro y un pistón; en la parte superior se encuentra el contador que permite registrar el volumen consumido. Este tipo de medidores no tienen tarjeta de memoria, por lo que es necesario tomar la lectura cada cierto periodo de tiempo.

Por último, en la (Figura 16) se muestra un medidor de pistón oscilante, de caratula mecánica instalado para medir el riego en las instalaciones del IMTA.



Figura 16: Medidor volumétrico de pistón oscilante, instalado para medir riego.

3.3.3 Medidores inferenciales

Los medidores de velocidad o inferenciales estiman el caudal que pasa en una sección de una tubería en función del número de revoluciones de un rotor, debido al paso del agua. Así para un determinado orificio y un determinado motor, el número de revoluciones durante un periodo de tiempo, es proporcional a la velocidad del agua a través de una sección en específico. Se les conoce también como medidores dinámicos de velocidad por funcionar con turbinas hidráulicas pequeñas (Figura 17). Estos se clasifican como:

- Chorro único
- Chorro múltiple
- De hélice
- Waltman

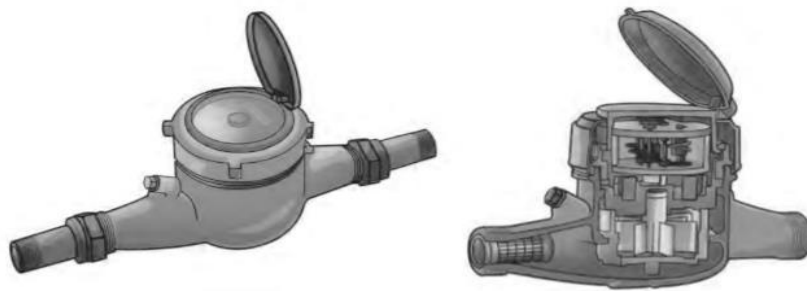


Figura 17: Medidor de tipo inferencial o de velocidad.

3.3.3.1 Medidores de chorro único

La carcasa de estos medidores alberga un rotor de eje vertical; también contiene un orificio que permite la entrada de agua de forma perpendicular al eje del rotor. El volumen de agua es proporcional a la velocidad del agua y esto a su vez, a las revoluciones del rotor. Este tipo de medidores son también conocidos como tangenciales (Figura 18).



Figura 18: Medidor de chorro único.

3.3.3.2 Medidores de chorro múltiple

Estos medidores tienen en el interior de su cámara dos perforaciones de forma tangencial al eje del rotor, una superior por donde entra el agua y otra inferior por donde sale. Entre los orificios de entrada y salida se forma una lámina de agua que describe un movimiento de hélice alrededor del perímetro del rotor. La distribución del agua golpea de manera equitativa el rotor en todas direcciones, que ocasiona menor desgaste en su funcionamiento que el de chorro único. Por su funcionamiento también es un medidor de tipo tangencial (Figura 19).

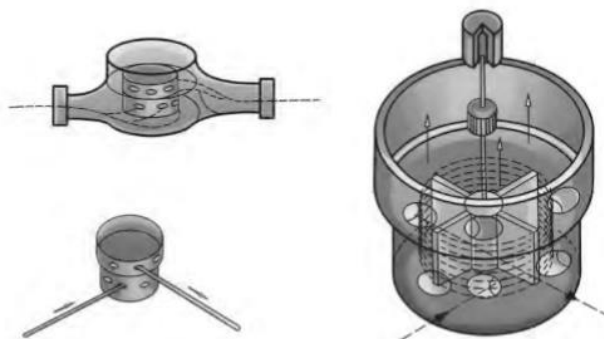


Figura 19: Medidor de chorro múltiple.

3.3.3.3 Medidor tipo Woltman

Estos equipos están constituidos por una carcasa cilíndrica y en su interior aloja una turbina provista de paletas helicoidales; también se les conoce como medidores de turbina de tipo Alemán. Pueden ser horizontales o verticales.

Los medidores horizontales tienen la turbina en un eje horizontal; el agua entra a la cámara a través de una rejilla que ejerce presión sobre la turbina y la hace girar.

La velocidad de la turbina depende del ángulo de inclinación de las paletas y es proporcional a la velocidad media del flujo.

Los verticales tienen la turbina alojada en un eje vertical; el agua entra por un orificio horizontal inferior a través de una rejilla, fluye hacia arriba e impulsa las paletas del rotor. Presenta una pérdida de presión baja y son utilizados para medir volúmenes de agua muy grandes.

3.3.3.4 Medidor de hélice

Estos medidores son semejantes a los de turbina, diferenciándose únicamente en el rotor, una hélice en lugar de la turbina; presentan pérdida de presión baja. Se recomiendan para medir grandes volúmenes en trenes de descarga de pozos y salidas de tanques principalmente.

3.3.4 Medidor ultrasónico

Los medidores ultrasónicos cuentan con una unidad electrónica de procesamiento y dos sondas o transductores que se conectan a cada lado de la tubería, separados en la dirección del flujo, una distancia igual al diámetro.

El funcionamiento se basa en la emisión y recepción de señales ultrasónicas entre los transductores. El tiempo entre la emisión y recepción de una señal junto con las propiedades físicas de la tubería permite calcular la velocidad del flujo (Figura 20).

Dentro de las ventajas de este tipo de medidores se pueden enunciar las siguientes:

- a) Al no tener partes móviles como los medidores de turbina han llegado a quintuplicar su vida útil.
- b) No son susceptibles a taponamientos como los medidores de sonda de presión diferencial.
- c) Por su principio de funcionamiento y a diferencia de los medidores electromagnéticos, no son afectados por otras corrientes de agua.
- d) Se usan en tuberías con diámetros de 2" a 200".
- e) La medición se desarrolla independiente del tipo de fluido y/o sus parámetros.
- f) Su precisión alcanza hasta 0.05% del rango del flujo medido, significativamente mejor que otros medidores.



Figura 20: Medidor ultrasónico portátil.

Estos medidores tienen un otórica donde se programan los parámetros a medir, entre ellos, el caudal, totalizadores positivos y negativos, velocidad, gasto máximo y mínimo, una alerta para avisar sobre una manipulación o robo del equipo. Estos medidores funcionan con corriente continua, en caso contrario se puede perder la información. En la figura 21, se presenta un medidor electromagnético instalado en el IMTA.



Figura 21: Medidor electromagnético instalado en la fuente de abastecimiento con itórica integrado.

3.4 Equipos para medir presión

Otro aspecto importante de la instrumentación de una red de agua potable es la medición de presiones, por las razones siguientes:

- a) Permite localizar fugas (la presencia de pérdida de presión en una línea es un indicio de fuga inminente).
- b) Permite conocer el patrón de consumos de la zona de estudio (la presión disminuye cuando la demanda de agua aumenta y viceversa).

Para medir la presión en una red de agua potable, existen diferentes instrumentos, pero es recomendable utilizar manómetros con glicerina (Figura 22); deben de estar instalados en puntos convenientes como: en la descarga de la fuente de abastecimiento, en arreglos de medidores electromagnéticos y líneas principales.

Por lo anterior, es de suma importancia instrumentar la red de agua potable que permita medir presiones en los puntos, ello daría una idea del comportamiento del sistema y permitiría identificar la presencia de fugas.

La medición de presiones se debe realizar durante el día, que es la condición de presiones bajas en la red, es conveniente anotar la hora y el día en que se realiza la medición de presión en cada punto y debe considerarse la factibilidad de realizar mediciones de presión en horarios nocturnos.



Figura 22: Manómetro utilizado en la medición de la presión en diferentes puntos de una red de agua potable.

Esto de acuerdo al comportamiento de las redes de agua potable y a los patrones de consumo que llegan a presentar y se asocia a las horas de funcionamiento crítico que llegaría a presentar la red del IMTA, en donde por un lado, se debe identificar la hora de mayor demanda y menor presión, pero por otro lado, el punto más crítico que es identificar el horario de mayor presión y menor demanda, es decir, el horario en donde no hay consumo y por esta razón aumenta la presión en las tuberías, sometiendo a estas a un esfuerzo mayor, provocando fugas en los puntos vulnerables en la red.

Por esta razón se requiere la instalación de manómetros en puntos estratégicos de la red de agua potable, ya que por un lado permitirá la identificación de pérdidas en las líneas de distribución y por otro a prevenir algún desperfecto dentro de la misma.

3.5 Selección de puntos y equipo de medición

Es muy importante instrumentar de manera adecuada la red de agua potable, por esta razón es importante identificar el o los lugares donde se puede instalar equipos de medición de caudal y de presión, que permitan obtener la información precisa que refleja el comportamiento de la misma.

3.5.1 Caudales

La selección de los equipos de medición de caudales está en función del caudal que circula en la sección o punto de medición. Para ello es necesario tener una estimación de la magnitud del caudal demandado.

Los principales problemas recurrentes en la instalación de medidores de caudal es utilizar el mismo diámetro del medidor que el de la tubería; dado que el equipo mide velocidad, en muchas ocasiones provoca que no se puedan estimar caudales muy pequeños o muy grandes, generando con ello, pérdida de información o daño de los equipos.

Además, la instalación de los equipos de medición invasivos traen consigo pérdidas de energía. En este sentido, en algunos casos pérdidas de energía de 0.5 m.c.a, con la finalidad de no poner en riesgo el servicio.

Como se describió en el apartado 3.3 clasificación de equipos de medición, en la actualidad existen diferentes marcas y tipos de medidores de caudal. Los más utilizados y recomendados para medir gastos bajos (acometidas de diámetros menores a 50 mm (2 pulgadas)) son los volumétricos, en cambio, para medir volúmenes grandes se sugiere la instalación de medidores volumétricos de turbina o electromagnéticos. Los medidores se seleccionan por su diámetro, por el rango de caudales a medir y el punto de medición.

Por ello, en la tabla 7, se sugiere el tipo del medidor de caudal en función del diámetro del mismo y del punto de medición. Una vez que son identificados los usos del agua dentro de la institución, para que y quiénes dispondrán del servicio, se debe de proponer el diámetro necesario y que se garantice el servicio dentro de las instalaciones, tomando en cuenta las recomendaciones descritas anteriormente.

Tabla 7: Selección de medidores volumétricos.

<i>Diámetro de medidor (mm)</i>	<i>Tipo de medidor sugerido</i>	<i>Uso sugerido</i>
13 - 20	<i>Volumétrico</i>	<i>Edificios administrativos, bibliotecas, comedores,</i>
25 - 50	<i>Volumétrico</i>	<i>Edificios escolares, laboratorios, viveros,</i>
50 - 75	<i>Volumétrico y turbina</i>	<i>Auditorios, Tiendas departamentales, albercas, edificios con riego de áreas verdes, hidrantes</i>
>100	<i>Turbina, compuesto y electromagnético.</i>	<i>Tomas principales, descarga de pozos, sectores hidráulicos</i>

3.5.2 Presiones

Es muy necesario así como se instrumenta la red para medir el caudal que pasa por una sección de tubería ya sea para saber el suministro o el consumo de agua de los diferentes elementos que constituyen la red.

También es importante obtener una de las variables importantes que determinan el buen funcionamiento de una red, tal es el caso de la presión, que se presenta por el paso del agua en una tubería, la cual determina el comportamiento del flujo que pasa en un punto determinado.

Estos medidores deben de estar instalados en puntos estratégicos y deben ser seleccionados por dos factores importantes, la presión que se genera a la salida de la captación y por otro lado de la energía que acumula el fluido por la topografía del terreno, esto es que a medida que el terreno llegue a tener desniveles considerables, la presión aumentará y con ello el peligro de tener mayor presencia de fugas en la red.

Como se comentó, la red tiene un presión de trabajo para poder dar condiciones de operación y servicio, pero por otro lado; cuando esta deja de ser utilizada tiende a incrementarse la presión y si le sumamos los desniveles altos por las condiciones del terreno, podemos llegar a tener presiones

que rebasen la capacidad de resistencia de la tubería y de los accesorios de la red, provocando un índice de fugas mayor en esas zonas.

Es por esta razón que debe instalarse manómetros que permitan identificar las presiones en puntos como salidas de trenes de descarga, depósitos de regulación, derivaciones principales, tramos muy largos que permitan identificar caídas de presión que ayudarán a disminuir fugas en estas zonas, permitiendo reducir la pérdida de caudales en las líneas de conducción o red de distribución. En la red del IMTA no hay medidores de presión instalados.

La medición de presiones se debe realizar con un manómetro comercial tipo Bourdon conectado en las tomas a los edificios de la red de distribución de agua potable. No existe una base teórica específica para determinar el número de puntos de medición de presiones en la red de agua potable puesto que depende de la extensión del lugar en estudio.

Con base en la experiencia y con el fin de tener una cobertura adecuada de medición de presiones para los fines de un buen diagnóstico, en este caso en particular se eligieron los puntos en donde se tienen inserciones directamente de la red principal, ya que de estos puntos salen los ramales para medir el riego y se encuentran distribuidos en la red principal.

Con respecto a los manómetros, es necesario contar con equipos que tengan las escalas apropiadas a las presiones esperadas de la red de agua potable.

3.6 Instrumentación de la red de agua potable

La red de agua potable se encuentra instrumentada con dos tipos de medidores. En la fuente de abastecimiento un medidor de tipo electromagnético permite medir los volúmenes producidos por el pozo, un medidor electromagnético en la salida del depósito de regulación y seis en las

derivaciones hacia las diferentes zonas que suministran agua a los edificios (Tabla 8 y Figura 23).

Tabla 8: Medidores electromagnéticos instalados en la red de agua potable.

<i>No. Medidores</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Marca</i>
1	150 mm o 6"	Badger Meter
7	100 mm o 4"	Badger Meter

En las acometidas hidráulicas a los edificios, antes de la llegada a las cisternas se encuentran instalados 28 medidores de tipo volumétrico, (Tabla 9 y Figura 24).

Tabla 9: Medidores volumétricos instalados en edificios.

<i>No. Medidores</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Marca</i>
1	1 1/2"	Badger Meter
2	1"	Badger Meter
16	3/4"	Badger Meter
9	5/8"	Badger Meter

Finalmente, en las áreas de riego y uso común del personal de mantenimiento del IMTA, se tienen instalados 20 medidores volumétricos (Tabla 10 y Figura 24).

Tabla 10: Medidores volumétricos instalados en áreas de riego y otros usos.

<i>No.</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Marca</i>
14	1/2"	AMCO
6	3/4"	Elster

En resumen, se tienen instalados un total de 8 medidores electromagnéticos, 28 volumétricos en acometidas y 20 volumétricos en riego y otros usos.

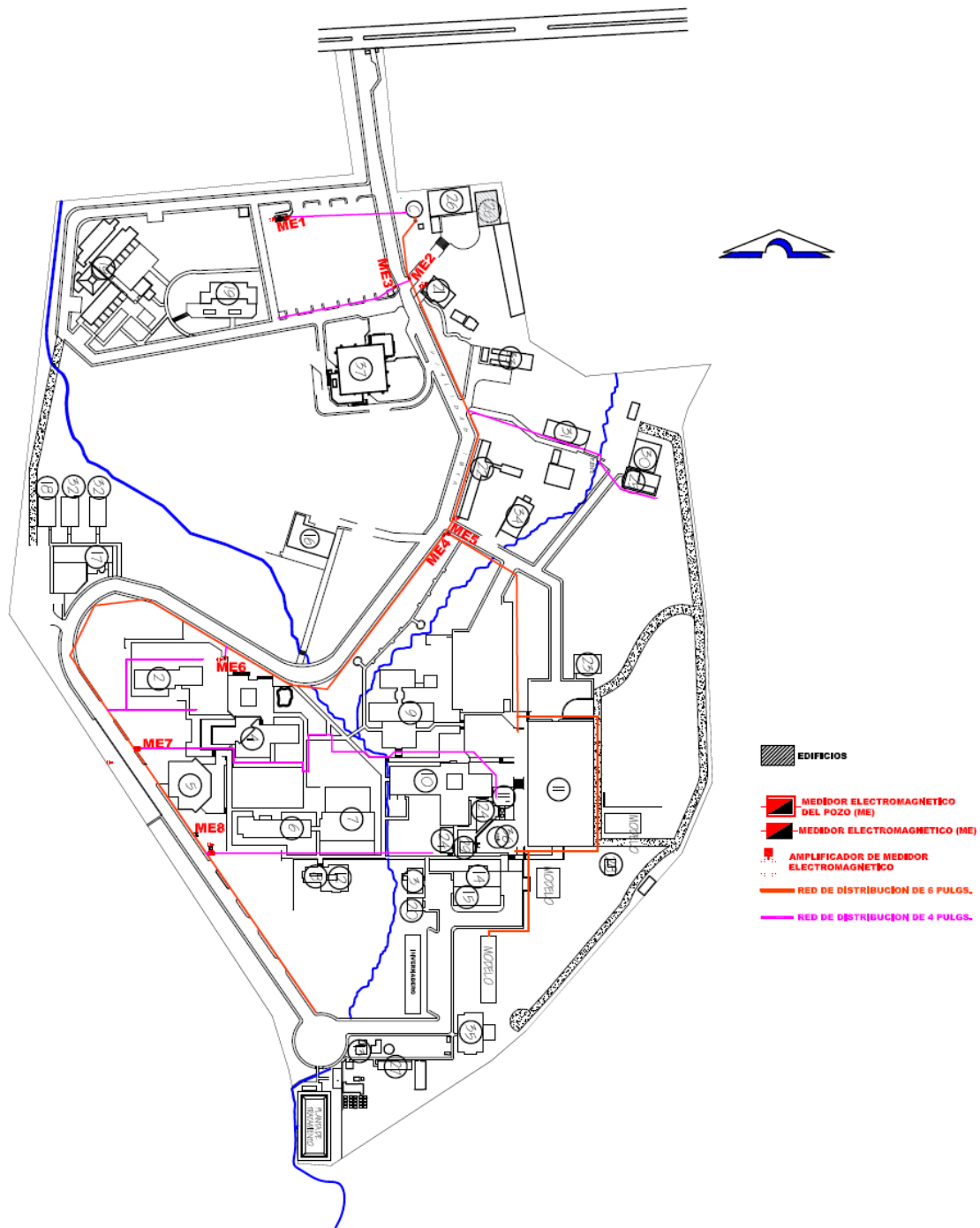


Figura 23: Ubicación de los medidores electromagnéticos. En el pozo, salida del tanque de regulación y derivaciones principales.

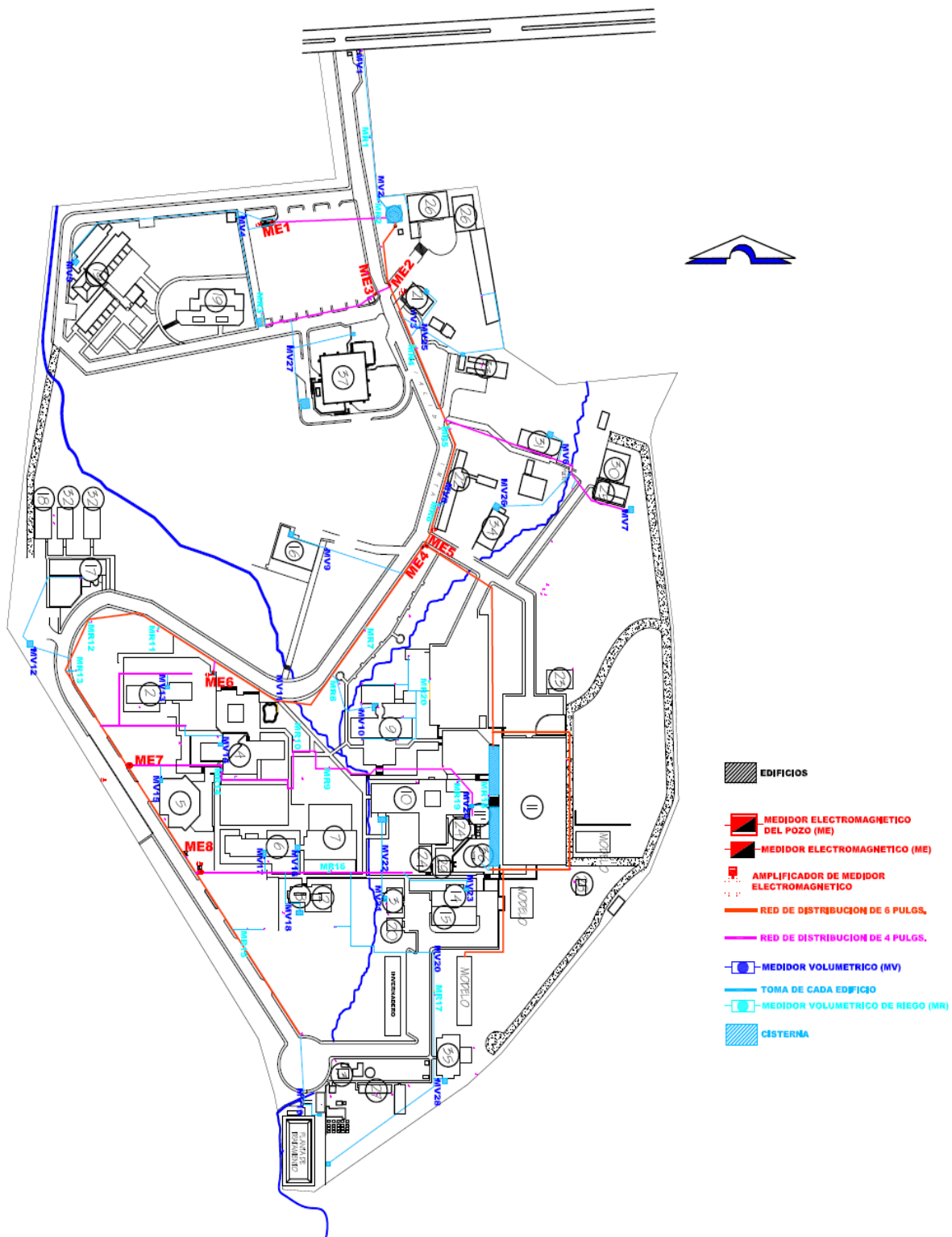


Figura 24: Localización de medidores volumétricos.

Capítulo IV Medición de caudales y presiones

En este capítulo se describirá el procedimiento de las campañas de medición con el propósito de conocer el volumen de agua que se suministra, consume, pierde y que es reutilizado en riego. Con la información recabada se conocerá el uso del agua en la institución. Con todo ello, se podrá hacer el diagnóstico de la red de abastecimiento de agua potable y las posibles recomendaciones para su mejora.

4.1 Macro medición

La macro medición se refiere a la medición del suministro a un sistema de agua potable, con la ayuda de los medidores de tipo volumétrico y electromagnéticos instalados puntos estratégicos.

Una parte importante de la medición, es contar con datos para conocer las políticas de operación de un sistema de abastecimiento de agua, entre ellos, el comportamiento del sistema de bombeo, de la fuente de abastecimiento y el caudal suministrado a la red de agua potable.

Teniendo en cuenta estas bases, se realizó una campaña de medición entre el 02 – 08 de septiembre de 2015 para aforar el volumen producido por el pozo, el volumen suministrado al depósito de regulación y los caudales que pasan por las derivaciones que llegan hasta los tanques de almacenamiento y que alimentan a los edificios. Posteriormente se elabora un balance de agua lo más aproximado posible a la realidad.

4.1.1 Fuente de abastecimiento

La fuente de abastecimiento del IMTA es un pozo profundo de 105 m. Cuenta con un equipo de bombeo cuya operación es automática y salvo en caso de emergencia se puede hacer manual.

En éste se realizó la medición de caudales en la salida del tren de descarga y llegada al depósito de

regulación durante ocho días continuos; en este punto se tiene un medidor volumétrico de tipo electromagnético de 100 mm de diámetro.

Para verificar el funcionamiento del medidor, adicionalmente se instaló un medidor portátil de tipo ultrasónico, de esta manera, se realizó la medición con los equipos durante ocho días de forma simultánea.

Los caudales medidos en la salida del tren de descarga y llegada al depósito de regulación en ambos equipos (electromagnético y ultrasónico) se muestran en la figura 25 y 26, respectivamente. En las gráficas, de forma general se observa que ambas tienen el mismo comportamiento, que representan el funcionamiento del equipo de bombeo, los paros y arranques que determinan la política de operación del pozo.

Sin embargo, entre ellos hay una diferencia para caudales bajos; esta se debe, primero a la sensibilidad que presenta el equipo ultrasónico y segundo, al intervalo de registro. El medidor electromagnético registra una medición cada 15 minutos, mientras que el ultrasónico lo hace cada minuto.

A partir de los caudales medidos con ambos equipos, se determinó el volumen diario y por consecuencia el volumen total. Así, con el medidor electromagnético el caudal medido fue de 14.75 l/s, mientras que con el ultrasónico de 14.5 l/s; el error relativo es del 2 %, por lo que se concluye que los registros del medidor electromagnético (residente) son adecuados.

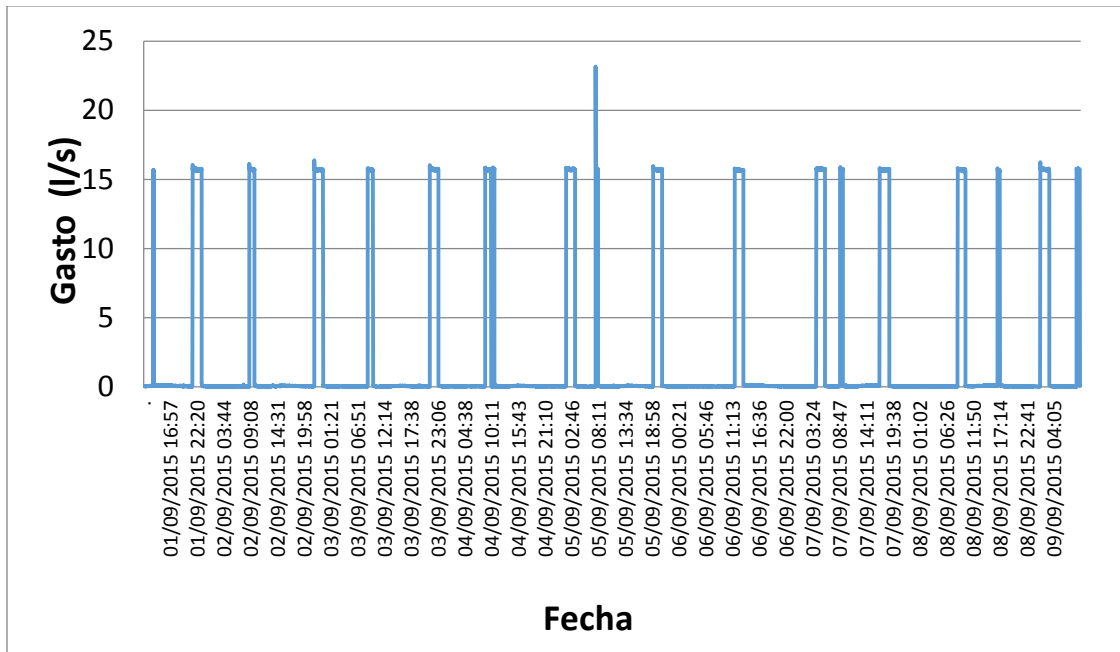


Figura 25: Caudales medidos en la fuente de abastecimiento del 2 -8 de septiembre del 2015 con medidor electromagnético.

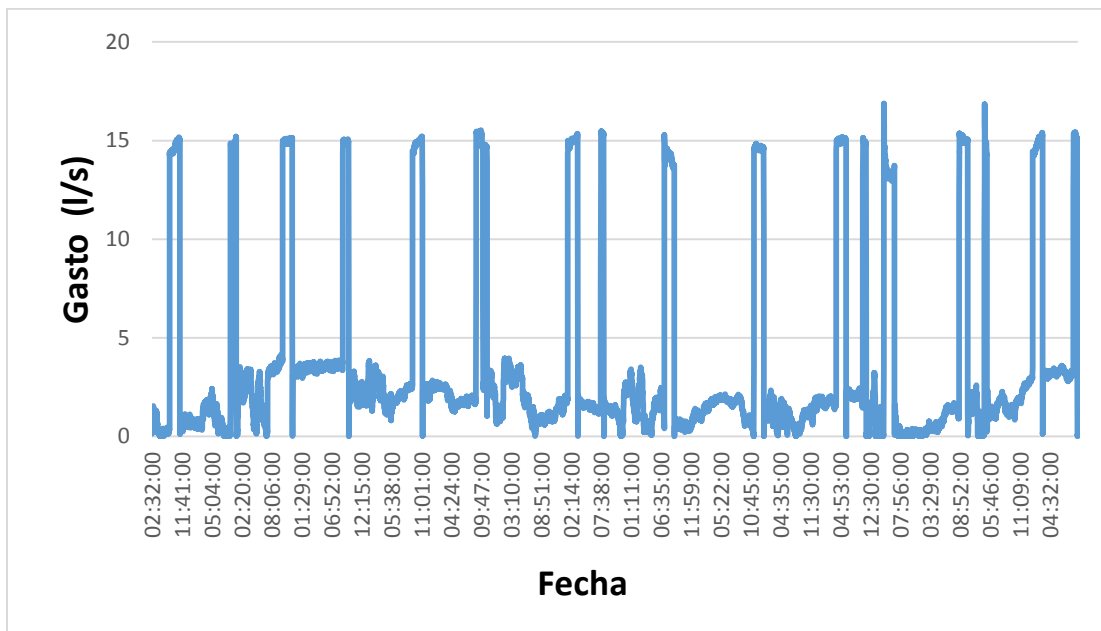


Figura 26: Caudales medidos en la fuente de abastecimiento del 2-8 de septiembre del medidor ultrasónico (móvil).

4.1.2 Depósito de regulación

En este caso, se realizó la medición de caudal aguas abajo del depósito de regulación para obtener el volumen de salida y con ello determinar el volumen de agua demandado. En este punto no se pudo realizar una medición paralela como en la fuente de abastecimiento, debido a que el medidor correspondiente no se encuentra funcionando.

En la figura 27 se muestran los caudales registrados con un medidor de tipo ultrasónico durante ocho días continuos del 2 al 8 de septiembre del 2015, que permiten conocer el comportamiento de la demanda de agua.

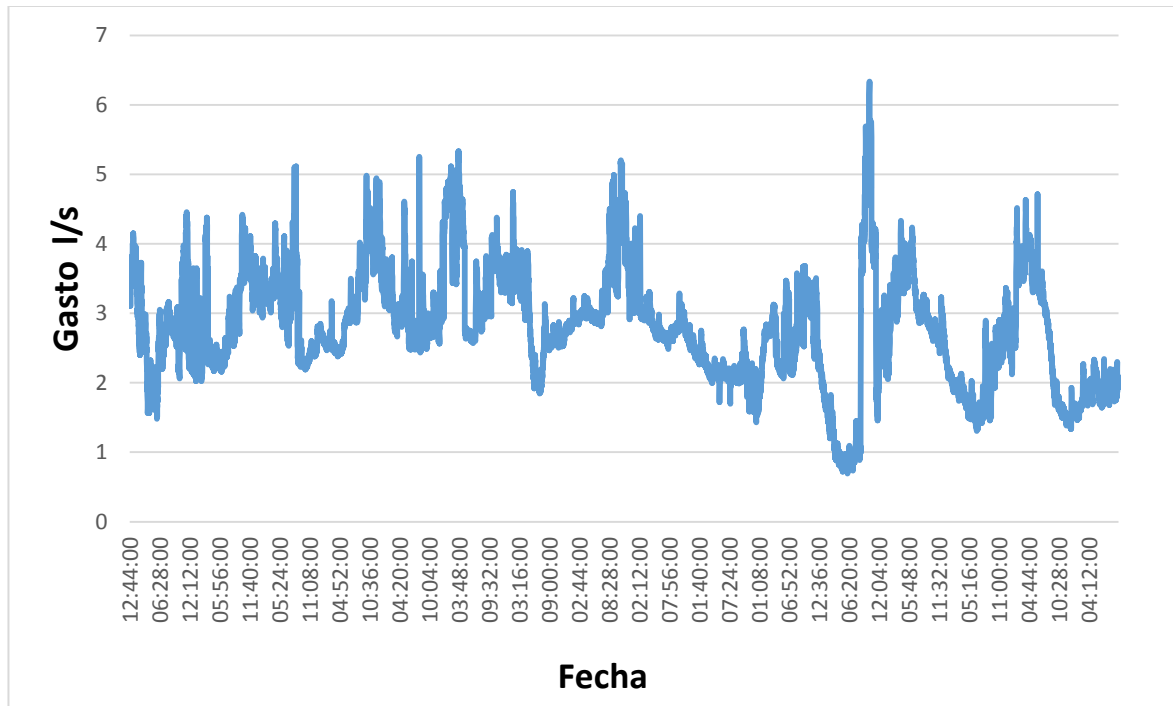


Figura 27: Caudales medidos en la salida del depósito de regulación del 2-8 de septiembre de 2015.

De las mediciones realizadas se determinó un gasto máximo de 6.34 l/s, un gasto mínimo de 0.69 l/s y un gasto medio de 2.78 l/s.

El volumen suministrado a la red en este periodo de tiempo fue de 1,897,098.546 litros, es decir, 1,897.099 m³, que corresponden a 7, 588.4 m³ al mes. Dado que las mediciones se hicieron en temporada de lluvia, el volumen aproximado anterior no considera el volumen para riego.

4.1.3 Red de distribución

En la red de distribución se tienen instalados 6 macro medidores de 100 mm de diámetro para medir los caudales que circulan en las tuberías de la red y que permiten suministrar agua a las acometidas que llegan a los tanques de almacenamiento para su disposición final en los edificios. Estos medidores están colocados en las derivaciones principales como son: Centro de Capacitación, Dirección General, Sistema de riego por aspersión, Estacionamiento de la Dirección General, subestación eléctrica.

4.2 Micro medición

Es la actividad de medición y control de caudal que pasa por un medidor cuyo diámetro de alimentación es entre los 13 y 38 mm; estos medidores son utilizados principalmente para toma domiciliaria, predios, edificios, etc.

La micro medición permite realizar algunas actividades que controlan el uso del agua hacia los usuarios como: ser vigilante del usuario, racionalizar el consumo; ambas son una herramienta para una buena administración.

Por ello, es importante la medición de los caudales que son suministrados a los edificios, áreas de riego y la disposición final de éstos (uso en las diferentes actividades de los usuarios del IMTA). Ello permitirá conocer el volumen de agua aprovechado y los volúmenes de pérdida, con la finalidad de tener un mayor control del mismo.

De esta manera dentro de los trabajos realizados en este apartado, se identificó el tipo y se evaluó mediante un aforo volumétrico para verificar su funcionamiento.

4.2.1 Método de prueba

Para realizar el aforo volumétrico que permita conocer el funcionamiento y precisión de los medidores, se utilizó el método propuesto por la Coordinación de Hidráulica del IMTA, previa capacitación. En el método empleado se utilizó el material y procedimiento siguiente (Figura 28):

Material:

- Cubetas de aforo de acero inoxidable graduadas con un volumen de 10 y 20 litros.
- Manguera con arreglo de válvulas de esfera, seccionamiento y manómetro de bourdon de 2 y 4 Kg/cm².
- Probeta graduada de 1,000 ml.
- Desarmadores, llaves ajustables (*stillson* y *perico*) y abrazaderas.
- Cronómetro
- Formato para el registro de volúmenes.

Procedimiento:

- Se realiza el reconocimiento físico del medidor, identificando la ubicación geográfica, marca, número de serie, caudal máximo de operación, diámetro nominal, clase, modelo y año de fabricación.
- Se conecta la manguera con el arreglo de las válvulas de esfera, seccionamiento y manómetro,

en la salida del flujo del medidor.

- Se calcula el gasto mínimo de operación utilizando las características del medidor, el gasto de transición mediante tablas; este último se obtiene por el tipo de medidor.
- Se calibra con la probeta de un litro, mediante un aforo a gasto mínimo.
- Se toma la lectura del medidor.
- Se llena la cubeta graduada de 10 litros y se registra el tiempo de llenado con un cronómetro.
- Iniciada la prueba, se mide la presión a la que se realiza la prueba.
- Una vez que la prueba está por finalizar, se detiene el cronómetro y se mide el volumen que excede o falta en la regla graduada de la cubeta; esto se realiza para ajustar el volumen, y con ello calcular el gasto y el error porcentual.
- Se toma la lectura final en el medidor.
- Se anotan los datos en el formato de captura de la información.
- Con el mismo procedimiento, se realizan las pruebas para gasto en transición y gasto permanente.



Figura 28: Aforo volumétrico en áreas de riego.

El procedimiento anterior, se utilizó en cada uno de los 20 medidores instalados en las áreas de riego (Figura 28). Además, se recopilaron los datos mensuales correspondientes al año 2015.

4.2.2 Tanques de almacenamiento

Como parte de los trabajos que se han realizado dentro del IMTA, se identificaron las entradas a los tanques de almacenamiento y en ellas se tienen instalados 28 medidores volumétricos con diámetros que oscilan entre los 13 y 38 mm, los cuales permiten cuantificar el volumen de agua consumido por los usuarios de los edificios (figura 29)

En las entradas de los tanques de almacenamiento, fue un poco más complicado realizar los aforos, porque no existen condiciones adecuadas para hacer cortes y modificación de las tuberías y aplicar el procedimiento de aforo descrito. Por esta razón, además de que en algunos edificios no se pueden quedar sin el suministro de agua por las actividades que se desarrolla en cada uno de ellos, sólo se eligieron algunos medidores para verificar su funcionamiento. Por ejemplo en la (Figura 29) se observa el corte de la tubería para adaptar la manguera y realizar el aforo con un medidor volumétrico.



Figura 29: Aforo de medidores volumétricos en tanques de almacenamiento en la entrada de los edificios.

4.3 Análisis de resultados

El análisis de resultados, en primer lugar proporcionará un panorama del funcionamiento y estado de la red de agua potable, entre ellos identificar las pérdidas de agua debido a fugas. En segundo, permitirá identificar e implementar acciones para reducir el suministro y el consumo de agua, el mejoramiento de la infraestructura y la posible re instrumentación de la misma. Lo anterior, podrá mejorar el control del agua suministrada y consumida.

4.3.1 Captación

La bomba de la fuente abastecimiento opera en buenas condiciones, la cual extrae un gasto promedio de 14.75 litros por segundo; el pozo no tiene problemas en la tubería de extracción. En el tren de descarga del pozo la tubería está deteriorada, por lo que requiere mantenimiento. Por otro lado, es necesario el cambio del medidor volumétrico para el aforo del pozo, ya que se encuentra totalmente dañado; además se deben instalar manómetros en la descarga del pozo. Actualmente la presión de salida es de 1.25 Kg/cm² (figura 30).



Figura 30: Infraestructura de la fuente de abastecimiento de la red de agua potable.

4.3.2 Depósito de regulación

El depósito de regulación es de mampostería dividido en cámaras con una capacidad de 300 m³ (Figura 31). Cuenta con tres bombas, de las cuales 2 se utilizan para enviar el agua hacia los edificios y una más para el riego de áreas verdes. En el depósito se realizó una prueba de aislamiento que permitió encontrar una posible fuga de agua; no se pudo determinar la causa, pero se asume que es por alguna filtración. El volumen perdido en 24 horas de aislamiento fue de 8.4 m³, una cantidad considerable, ya que esto representa en una semana 58.8 m³, en un mes 235.2 m³ y en un año 940 m³; esto corresponde a tres tanques de almacenamiento al año.



Figura 31: Depósito de regulación del IMTA.

4.3.3 Red de distribución

En la red de distribución se encontraron algunos registros con azolve y otros con agua, por lo que es necesario hacer el mantenimiento correspondiente y liberar la tubería. De los registros con agua, se revisaron los del estacionamiento de la Dirección General, los registros de la tubería principal del

comedor (en frente del edificio de calidad de agua) y los del depósito de regulación. Los registros de la Dirección General se llenan aproximadamente en 15 minutos, por lo tanto, se infiere que la tubería de asbesto-cemento tiene algunas fracturas debido a las raíces de los árboles, además de tener más de 25 años de uso, por lo tanto ha cumplido su vida útil.

Las válvulas en los registros de la tubería principal están muy oxidadas y tienen fugas. En los registros del depósito de regulación se encuentran con agua, presuntamente por una fuga debida a la filtración del depósito por fugas en las válvulas deterioradas (no tienen volantes, están viejas y oxidadas, algunas se conservan bien pero se desconoce si cierran herméticamente).

4.3.4 Sistema de telemetría

El sistema de telemetría está conformado por 8 medidores electromagnéticos (4 no funcionan por falta de corriente eléctrica o porque ya no registran datos, 50 %), 28 medidores volumétricos instalados en cisternas (13 se encuentran en funcionamiento, 46 %) y 20 medidores volumétricos en líneas de riego (5 no funcionan), 25 %).

En general, el sistema de telemetría se encuentra en malas condiciones, por lo que no existe certeza de las mediciones debido al mal funcionamiento de los medidores. Las lecturas que se realizan de forma manual muchas veces con una periodicidad mayor a 24 horas. Ello no permite monitorear el funcionamiento de la red, identificar los usos del agua, ni pérdidas físicas del líquido.

Por ello, es fundamental contar con un sistema de telemetría adecuado en la red de agua potable, ya que ayudará a tener un mejoramiento en la infraestructura, aprovechar de mejor manera el agua que es servida y detectar puntos rojos donde pudieran existir pérdidas de agua, debido a rupturas de tuberías, mal funcionamiento de válvulas, etc.

4.3.5 Macro medición

Los trabajos realizados en la macro medición consistieron en medir de forma continua durante ocho horas el gasto simultáneamente con el medidor instalado residente cada 15 minutos (8 en total) y con un equipo portátil cada 5 segundos (medidor de tipo ultrasónico con sensores expuestos). Con ello se obtuvo una gráfica de su comportamiento que permite determinar la exactitud de medición (figura 32).

Como resultado, se obtuvo el gasto de operación promedio, el volumen acumulado y la evidencia de que algunos de los medidores no estén midiendo correctamente. De los ocho medidores que se evaluaron, dos no funcionan; de los seis restantes, tres miden menos del gasto real, dos miden más gasto que el real y solo uno mide dentro del rango de operación óptima.

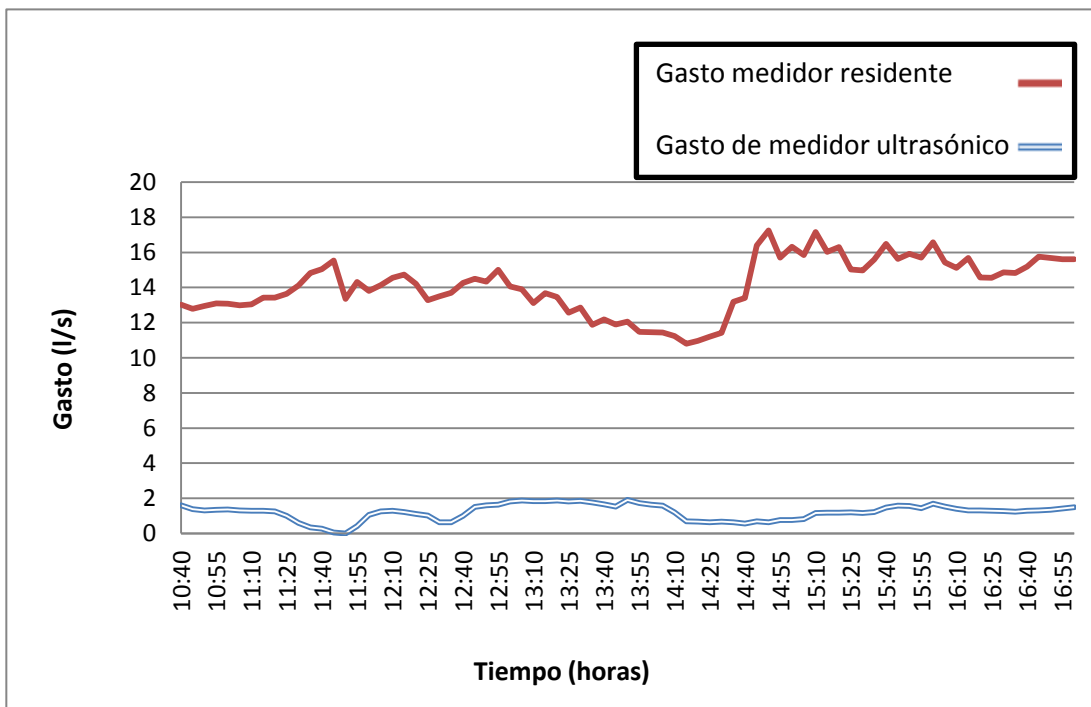


Figura 32: Gasto promedio registrado en el aforo de medidores electromagnéticos.

Sin embargo, con el paso del tiempo otros medidores se han ido deteriorando y en un lapso de 6 meses han dejado de funcionar el de la salida del depósito de regulación y el de la subestación eléctrica. En resumen, no funcionan cuatro de los ocho medidores instalados, lo que representa el 50% de la macro medición instalada (tabla 11).

Tabla 11: Estatus de los medidores electromagnéticos de acuerdo a su funcionamiento.

Medidores electromagnéticos	Estado	Medición	Porcentaje %
Pozo	Si funciona	Sub mide	20
Salida del depósito de regulación	No funciona	Sin medición	0
Centro de capacitación	No funciona	Sin medición	0
Dirección general	Si funciona	Sub mide	40
IMTALAB	Si funciona	Sub mide	45
Sistema de riego por aspersión	Si funciona	Sobre mide	35
Estacionamiento dirección general	No funciona	Sin medición	0
subestación eléctrica	No funciona	Sobre mide	0

Todos los medidores no cuentan con un display, por lo que es necesario hacer la lectura de forma manual, es decir, no cuentan con tarjeta de datos que permita guardar la información acumulada a través del tiempo.

4.3.6 Micro medición

Se cuenta con 28 medidores instalados en la entrada a los tanques de almacenamiento de cada uno de los edificios del IMTA. Para conocer el funcionamiento y precisión del equipo de medición se hicieron pruebas de aforo y revisión física solamente de algunos medidores, según lo descrito en el apartado 4.2.1, las pruebas se realizaron entre otros, en el medidor instalado en la entrada al centro de capacitación. Se detectó que el equipo medía menos gasto del que estaba pasando. Otro punto fue el medidor a la entrada de la cisterna del comedor, el resultado, también sub mide.

Una vez realizadas dichas pruebas, se realizó una inspección física con personal de la empresa *badger meter*, quienes suministraron los equipos en el año 2000 (15 años de uso) y recomendaron la sustitución, debido a que han cumplido su vida útil (la norma recomienda cambiarlos cada cinco años).

En la micro medición se tienen un total de 28 medidores instalados, de estos, solamente funcionan 13, lo que representa una medición menor al 50 % del caudal suministrado. En la tabla 12 se muestran los medidores que se encuentran instalados, los que funcionan y no funcionan, además del porcentaje que representan.

Tabla 12: Estatus de funcionamiento de los medidores volumétricos instalados.

<i>Total de medidores</i>	28
<i>Medidores que funcionan</i>	13
<i>Medidores que no funcionan</i>	15

Además, dentro de los trabajos realizados, se recopilaron los datos de los macro medidores y micro medidores para obtener los volúmenes suministrados por la fuente de abastecimiento, en las principales derivaciones, los consumidos en edificios y en riego. Con ello se generaron las gráficas correspondientes para el periodo de enero a noviembre del 2015.

Así, en la figura 33 se presenta el volumen mensual producido en la fuente de abastecimiento. Se observa que la temporada de estiaje coincide con una mayor extracción, siendo en el mes de abril la extracción máxima, mientras que en la temporada de lluvias (junio – septiembre) se presenta la extracción menor; en el mes de agosto se presenta la extracción mínima. El volumen producido en el periodo de enero a noviembre del 2015 fue de 77, 588 m³.

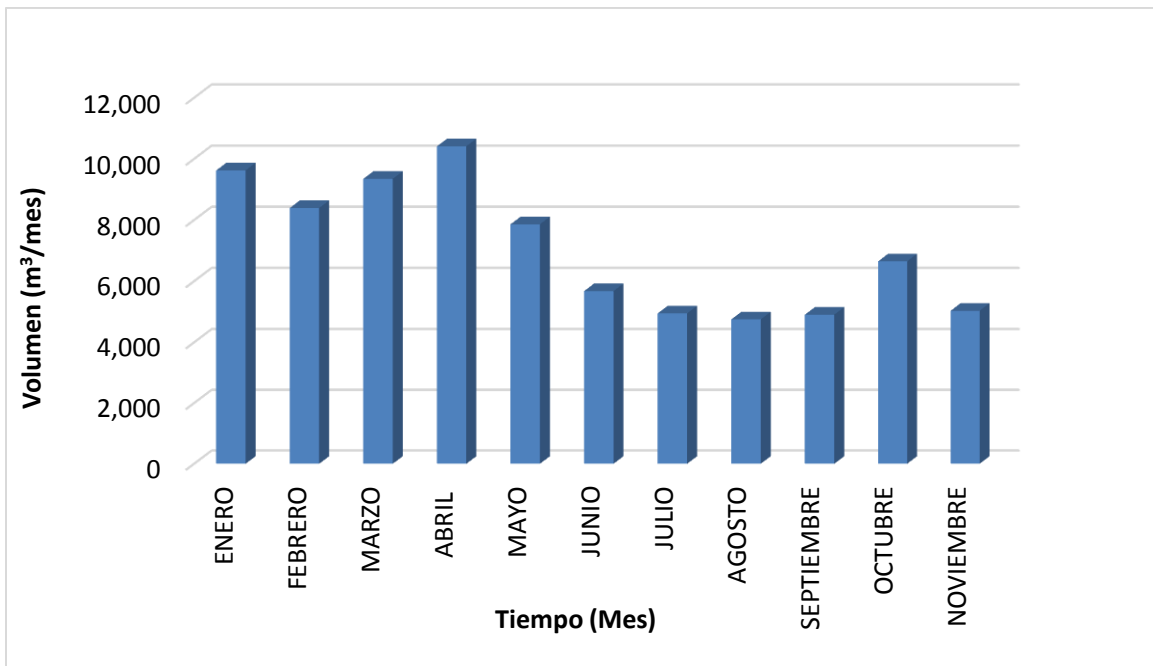


Figura 33: Volumen producido en la fuente de abastecimiento.

En la figura 34 se muestra el volumen suministrado por el depósito de regulación hacia la red de distribución de agua potable. Se observa un comportamiento similar al de extracción. La demanda de agua se incrementa en los meses de enero a mayo debido al incremento de la temperatura y disminuye en la época de lluvias, comprendida entre los meses de junio a septiembre.

Hasta el mes de agosto el volumen suministrado fue de 55,749 m³, el volumen de suministro es mayor que el volumen de extracción, esto se debe a que parte del volumen de la extracción se va al centro de capacitación, a la caseta de vigilancia y al edificio del almacén. Los datos de agosto a noviembre no se presentan debido a que el medidor dejó de operar.

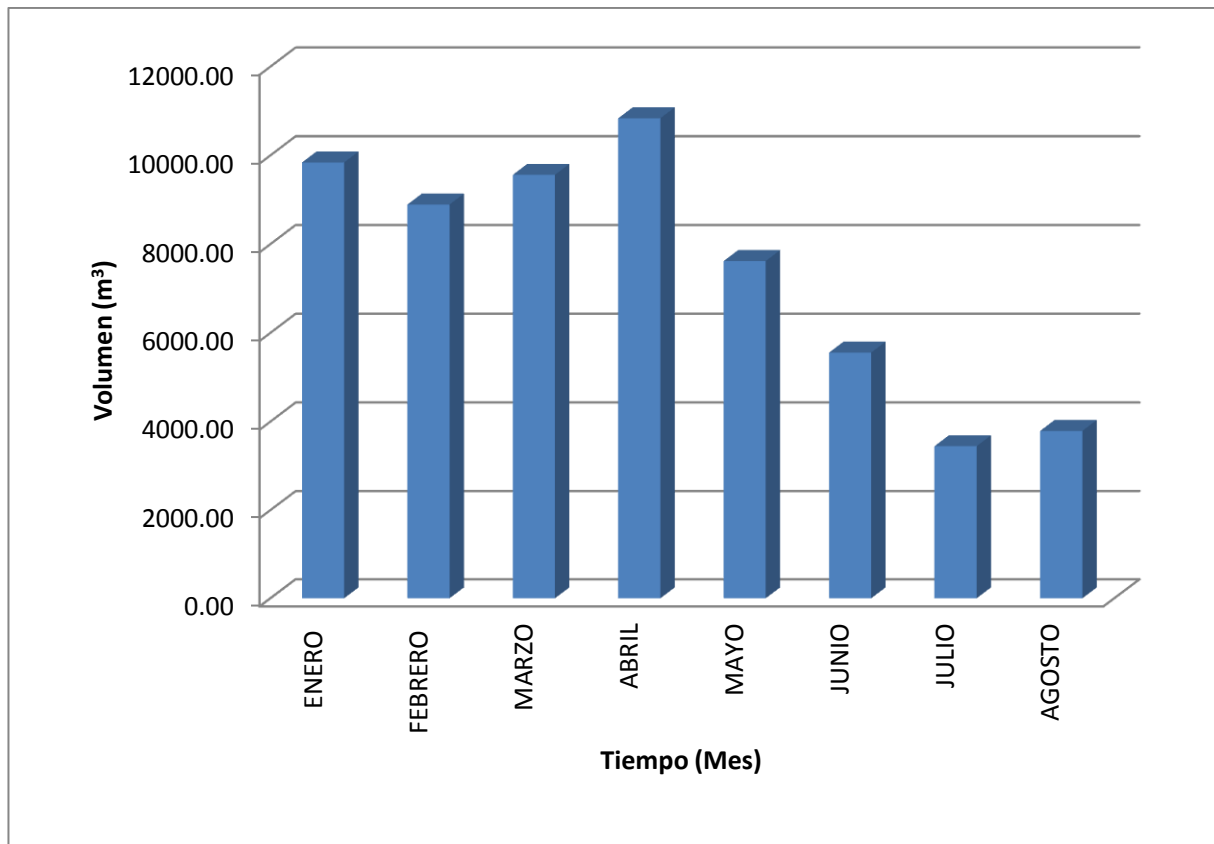


Figura 34: Suministro del depósito de regulación.

En tanto, en los meses de enero a mayo se presenta un consumo regular entre los 1,100 m³ a los 2,700 m³ por mes. Un incremento importante se presenta en el mes de junio, el cual es debido a un evento que fue realizado en el IMTA, provocando un consumo extraordinario en ese mes de aproximadamente el doble del consumo medio.

En el mes de octubre se observa un aumento del volumen consumido que coincide con el término de la temporada de lluvias y por tanto, se hace necesario el riego de áreas verdes que se encuentran cerca de los edificios.

En la figura 35, se presenta la suma de los consumos mensuales de los 28 medidores instalados en los edificios; se puede observar que en los meses de julio, agosto y septiembre se tiene un consumo

menor con respecto a los meses de enero a mayo, esto se debe, a que el consumo de agua se reduce por la presencia de la temporada de lluvias.

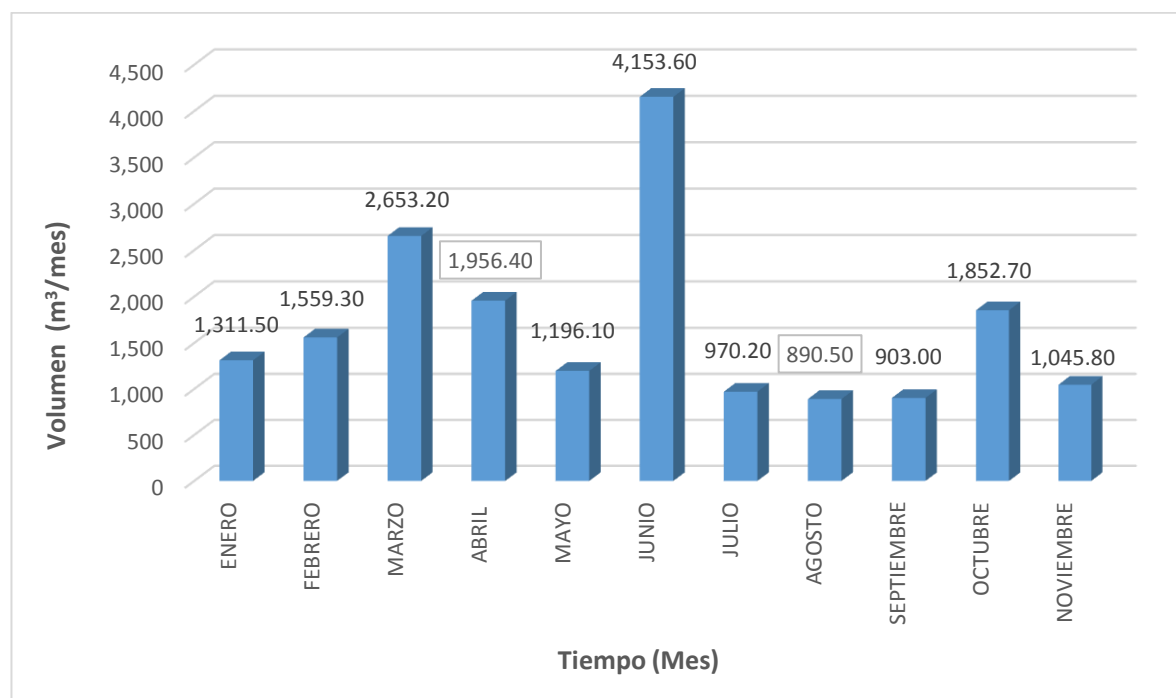


Figura 35: Volúmenes consumidos en los edificios.

En la figura 36 se aprecia el comportamiento del volumen de agua empleado en las áreas de riego que tienen instalado medidor. Se observa que en la época de estiaje (octubre – mayo) el consumo es mayor que en la temporada de lluvias (junio – septiembre); el consumo más alto se da en marzo y en septiembre el más bajo.

Es conveniente, destacar que del total del volumen utilizado para el riego de áreas verdes, el 80 % del agua es utilizada para este fin, mientras que el 20% es utilizado en otros usos.

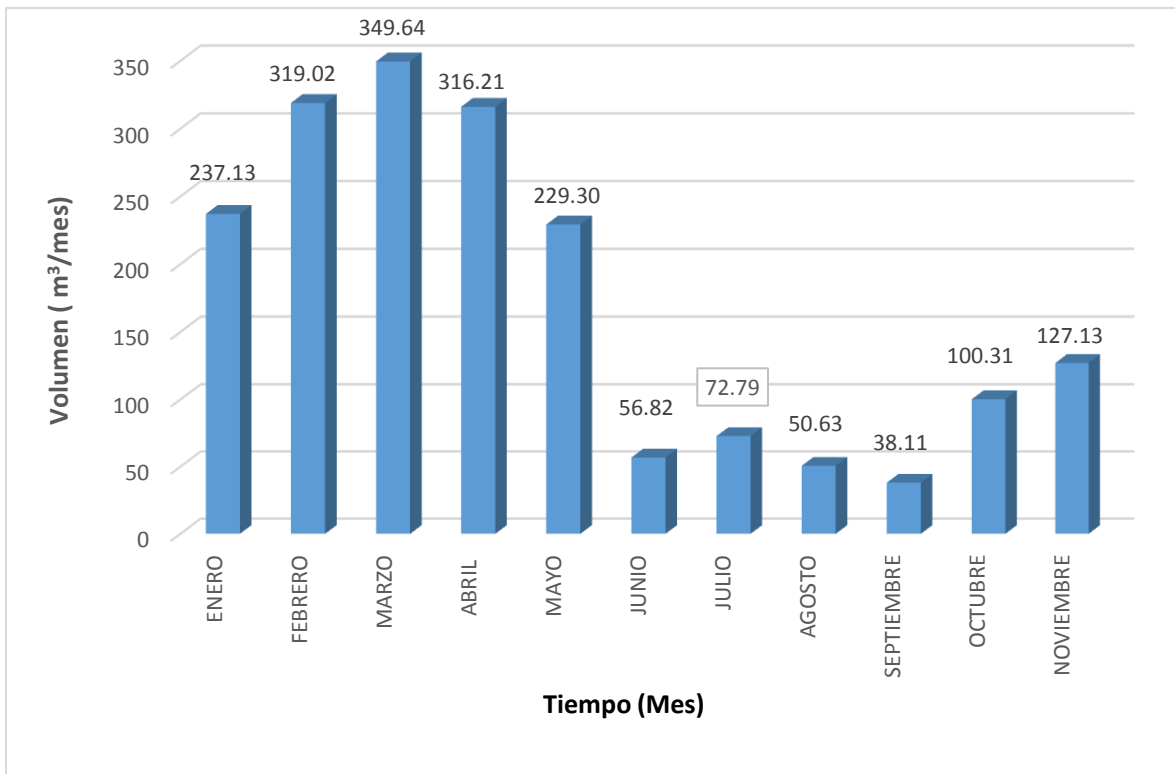


Figura 36: Volumen consumido en áreas de riego.

4.3.7 Presiones en la red de distribución

Se realizó una campaña de medición de presiones en la red de abastecimiento de agua potable durante un mes, con el propósito de tener una cuantificación precisa, de las presiones máximas y mínimas en diferentes puntos de la misma.

Así, en la salida del tren de descarga de la fuente de abastecimiento, se cuantificó una presión de 1.2 kg/cm², en los puntos donde se encuentran válvulas conectadas a las líneas principales (puntos de riego), se tiene presiones bajas que oscilan entre los 0.5 kg/cm² y 0.9 kg/cm², en las zonas más bajas predomina presiones de 0.5 kg/cm² y zonas cercanas al depósito de regulación se tienen presiones de 1 kg/cm².

Cabe señalar, que hay algunos puntos que se tienen bombeos directos, por lo tanto la presión es de 2

.5 kg/cm², garantizando el servicio para la caseta de vigilancia, el almacén y el edificio anexo uno de riego y drenaje.

Como resultado de esta campaña de medición, se identificó que existen inserciones en el tren de descarga del pozo para la colocación de manómetros, pero no cuenta con ellos. Así mismo, en los macro medidores se encuentran instalados manómetros pero ninguno de ellos funciona. Solamente, en los equipos de bombeo que presurizan el agua hacia los edificios se tienen manómetros con presión es de 2 kg/cm².

En la Figura 37 se presentan las presiones en diferentes puntos de la red de agua potable. En ella se muestran valores de la presión para flujo mínimo, flujo en transición y flujo máximo; de forma general, las presiones son mayores, intermedias y mínimas, respectivamente. La presión mínima fue de 0.2 kg/cm² y la máxima de 2.2 kg/cm².

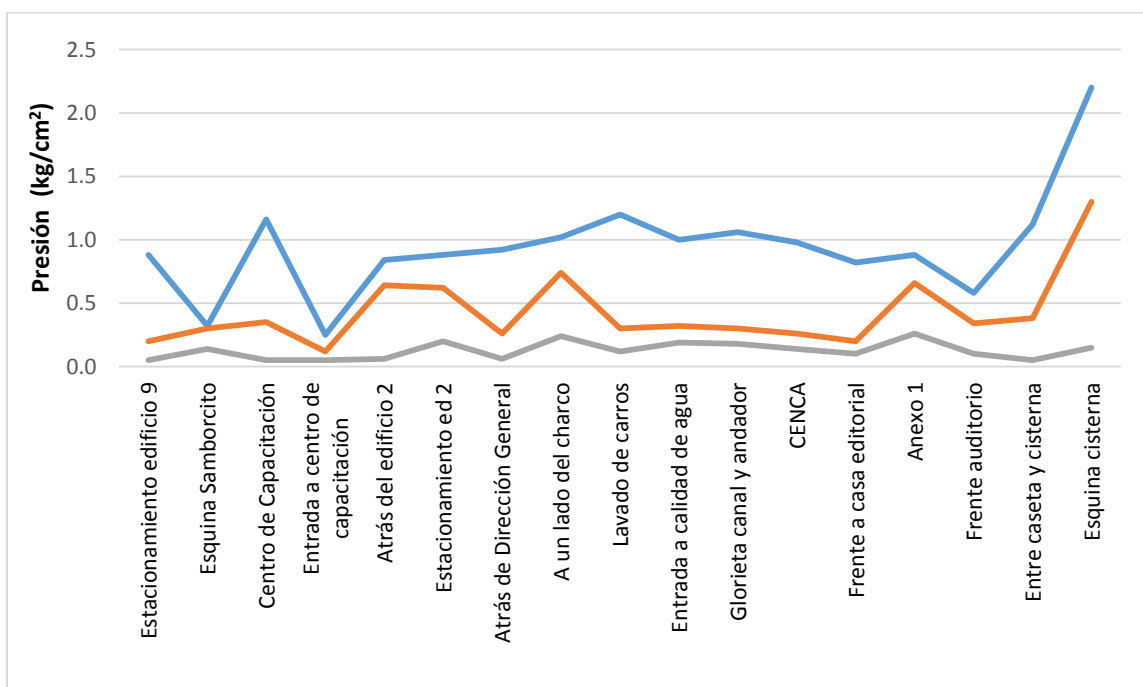


Figura 37: Medición de presiones en la red de agua potable.

El anexo de riego y drenaje y el almacén general reciben agua por gravedad con presiones de 1.5 kg/cm² y 1 kg/cm², respectivamente. Cuando el agua no llega, estos edificios se abastecen del tanque de almacenamiento del edificio de anexo dos de riego y drenaje.

Los laboratorios de hidráulica y tratamiento de aguas residuales están equipados con tanques hidroneumáticos que permiten garantizar la presión y el caudal necesario a los modelos hidráulicos y el manejo de equipos.

4.3.8 Tanques de almacenamiento

En la red de abastecimiento de agua potable se cuenta con 28 tanques de almacenamiento; uno para cada uno de los edificios. En los recorridos realizados se hizo una inspección física de los mismos. Se obtuvo su capacidad volumétrica, sus características físicas (concreto o mampostería) y se realizaron pruebas de hermeticidad. Se encontró en ellos una cantidad abundante de raíces y de basura, fauna nociva para la salud, como cien pies y cucarachas, que indican que los tanques no están impermeabilizados y que no son herméticos, provocando filtraciones y fugas.

Además, se detectaron siete tanques con fugas, debido a fracturas en sus paredes, destacando la del depósito de regulación con una fuga de 8.4 m³, detectada mediante un aislamiento de un fin de semana, con un volumen equivalente a 940 m³ al año.

En la figura 38 se pueden apreciar las condiciones actuales del tanque de almacenamiento de la casa editorial. Como se puede observar, este tanque presentan un foco de infección en caso de que el agua se utilice para uso y consumo humano, ya que tiene cualquier cantidad de basura.



Figura 38: Tanque de almacenamiento perteneciente a casa editorial.

4.3.9 Planta de tratamiento de aguas residuales

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del IMTA, está conformada por tres procesos para tratar el agua proveniente del drenaje y a través de una tubería de 50 mm; estos caudales son medidos de 9 de la mañana a 8 de la noche diariamente. En la figura 39 y tabla 13 se presentan los datos correspondientes al año 2015. El caudal promedio de llegada a la planta es de $178.67 \text{ m}^3/\text{mes}$. En el mes de septiembre se presenta el máximo con 211.50 m^3 , mientras que en enero se presenta el mínimo.

La planta cuenta con un tren de tratamiento primario o pretratamiento en donde se concentra el agua cruda que viene del influente, pasa por unas rejillas para quitar los sólidos y basura de tamaño grande.

Posteriormente, el agua se concentra en el cárcamo de bombeo para llevarla al tanque de homogeneización, donde se sedimenta una parte de lodo, después pasa al tanque de aireación. Enseguida se conduce al sedimentador secundario, donde se obtiene el agua para ser enviada al tanque de contacto con cloro y su disposición hacia el riego en la parte central o bien para otro uso dentro de la planta de tratamiento.

Podría ser interesante contar con aforos nocturnos, dado que no hay actividades dentro del IMTA; por lo que se esperaría un aumento de presiones y por tanto un incremento de fugas en la red; una salida probable sería la red de drenaje sanitario o bien la infiltración en el subsuelo.

Lo anterior, es una forma de identificar fugas en la red de abastecimiento de agua potable. Otros podrían ser, la inundación de caída constante de agua limpia en la red de drenaje sanitario, existencia de una zona verde cerca de alguna tubería, nacimiento de flora en los registros, etc.

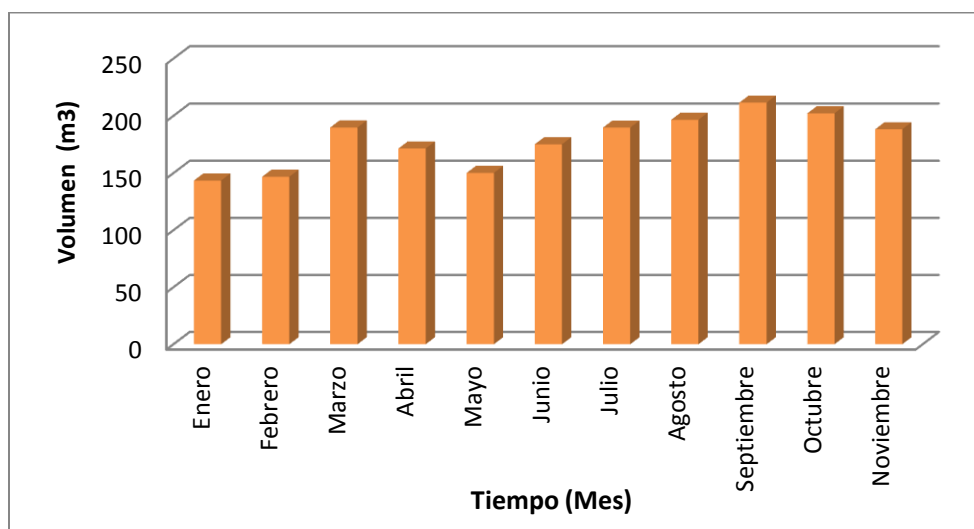


Figura 39: Caudal de llegada de agua cruda a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 13: Promedio mensual de agua cruda residual que llega a la planta de tratamiento.

Volumen 2015 (m³)	
Mes	Entrada
Enero	143.51
Febrero	146.79
Marzo	189.85
Abril	171.48
Mayo	150.18
Junio	175.16
Julio	189.76
Agosto	196.58
Septiembre	211.56
Octubre	202.22
Noviembre	188.29
TOTAL	1,965.38
PROMEDIO	178.67

4.4 Muebles de baño

En el año 2014 se realizó un inventario de muebles de baño, en el cual se obtuvo que de los 210 muebles sanitarios, 8 no están en servicio y 43 presentaron fugas.

Para verificar el funcionamiento, se utilizaron métodos de prueba según la Norma Oficial Mexicana NOM-009-CONAGUA-2001, no pasaron completas las pruebas, es decir, no desalojan los residuos vertidos en ellos, por lo que requieren dos o tres descargas para hacerlo (12 – 18 l), esto representa un mal funcionamiento de los equipos y un desperdicio de agua importante.

Por esta razón, hubo acercamientos con empresas proveedoras de muebles de baño con el propósito de probar y verificar su funcionamiento bajo las condiciones de operación del IMTA.

Para ello, se realizaron algunas adecuaciones en la instalación hidráulica del edificio 31 con el propósito de instalar y evaluar equipos de la marca SLOAN. Entre ellos, fluxómetros ocultos a baterías con presión de funcionamiento desde 0.5 kg/cm^2 a 7 kg/cm^2 , sanitarios de 4.8 litros por descarga (consumo por debajo de la norma), mingitorio con 0.5 litros por descarga y el lavabo con llaves de sensor electrónico a baterías calibradas a dos litros por minuto, un fluxómetro con tecnología de punta, ya que cuenta con una celda solar que se puede recargar con luz artificial.

Los equipos se probaron durante seis meses, su funcionamiento fue adecuado, no se presentó problema alguno, hacen las descargas adecuadamente, todos los sensores funcionan sin el botón de emergencia, por lo tanto, se puede decir que se tienen equipos de alta eficiencia funcionando correctamente.

Como resultado de lo anterior, se hicieron recomendaciones a la administración del IMTA para la sustitución de muebles de baño por equipos de bajo consumo, muebles sanitarios, mingitorios, llaves de lavabo y regaderas, que por lo menos cumplan con la Norma Oficial Mexicana, además de las condiciones de funcionamiento que requiera cada equipo (presión y caudal).

4.5 Diagnóstico

La red de agua potable del IMTA, es una red de asbesto cemento, tiene muchos años de funcionamiento y es obsoleta, El asbestos ya no es utiliza para la extracción, ni la conducción de agua potable, debido a que puede provocar problemas de salud.

La infraestructura hidráulica de la red de agua potable se utiliza para extraer agua de un pozo profundo y posteriormente es enviada al depósito de regulación. Desde este punto se distribuye en la red con destino a los tanques de almacenamiento, de donde se envía por bombeo a los edificios para su disposición final.

Los registros y cruceros de la red están deteriorados, en algunos casos no se encuentran, por lo que ponen en duda la trayectoria de las tuberías; algunos cruceros importantes donde debería existir una válvula de seccionamiento o control, para aislar las zonas y no dejar sin agua a los edificios, ni siquiera existen cajas de registro.

Actualmente, solamente el 50 % de la macro medición, 46 % de la micro medición y 75 % de medición de áreas de riego se encuentra instrumentada, sin embargo, con los datos anteriores no es posible garantizar un uso adecuado del agua, ya que es necesario contar con equipos eficientes y tecnología de punta, que facilite el registro y el manejo de la información en caso de alguna emergencia o de alguna fuga que no pueda ser detectada, físicamente esto permitirá tener una administración del recurso adecuada

La red no dispone del equipo necesario para la medición de presión (manómetros), que permitan identificar las pérdidas físicas del recurso en algún punto. Esto se podría lograr con la instalación de medidores de presión, que permita adquirir esta información.

En los tanques de almacenamiento no se cuenta con los protocolos de seguridad del agua; por ejemplo, no hay tapas herméticas que pueden garantizar el agua para uso y consumo humano, por ello personal del IMTA compra agua embotellada, lo que genera un incremento de costos y a su vez lleva a la ineficiencia en el aprovechamiento del recurso.

Lo anterior, aunado a las fugas de agua existentes, convierten a la red ineficiente con una inversión económica alta y baja calidad del recurso, ya que el agua extraída del pozo se pierde inútilmente, en las válvulas, en las fracturas de la tubería y en el riego de áreas verdes. Por otra parte, el volumen de agua empleado en el riego de áreas verdes es mayor a la que se usa para los edificios, pues sólo se utiliza para las necesidades fisiológicas de los usuarios y en los modelos de los laboratorios.

Además, se identificó y localizó que el 98 % de los muebles de baño no cumplen con la norma, 43

presentaban alguna anomalía o fuga dentro de su mecanismo y para su funcionamiento requieren de dos a tres descargas (12 – 18 litros), lo cual hace inexistente la operación eficiente de los muebles de baño.

Los mingitorios existentes, son en su mayoría secos, pero tienen mal olor, lo cual genera molestias a los usuarios, y peor aún, pueden ser contraproducente para la salud.

En resumen, se requiere de una mayor organización que permita implementar acciones con el propósito de aprovechar al máximo el recurso, disponer de los medios necesarios para incrementar la disponibilidad de agua segura para los usuarios, reduciendo costos y al mismo tiempo propiciar el uso racional del agua.

4.6 Balance hidráulico

Para realizar un balance de agua se requiere conocer los caudales de extracción de la fuente de abastecimiento, en este caso del pozo profundo, el caudal consumido en los edificios y lo que se dispone para el riego de áreas verdes y otros usos. Además, se requiere el caudal de aportación de agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento de agua residuales para su disposición y tratamiento.

En este sentido, se extraen en promedio 14.75 l/s de la fuente de abastecimiento, para las diferentes actividades, dentro del IMTA se utilizan 11.1l/s, esto lleva a que existen pérdidas dentro del sistema de alrededor de 3.65 l/s, lo que representa el 25% del agua extraída, finalmente, se considera que el 75 % del caudal utilizado, se transforma y es enviado al sistema de drenaje que lo conduce a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Suponer que el 75 % de agua utilizada es aportado al sistema de alcantarillado, representa una condición ideal de trabajo de la red, sin embargo, las mediciones existentes en ocasiones reportan valores menores al 50 %, pero los equipos de medición instalados (50 % del total) y en funcionamiento no son confiables, por lo que los datos recabados sólo permiten hacer algunas aproximaciones.

En la figura 40, se puede observar la gráfica del balance de agua estimado de acuerdo a los datos recabados.

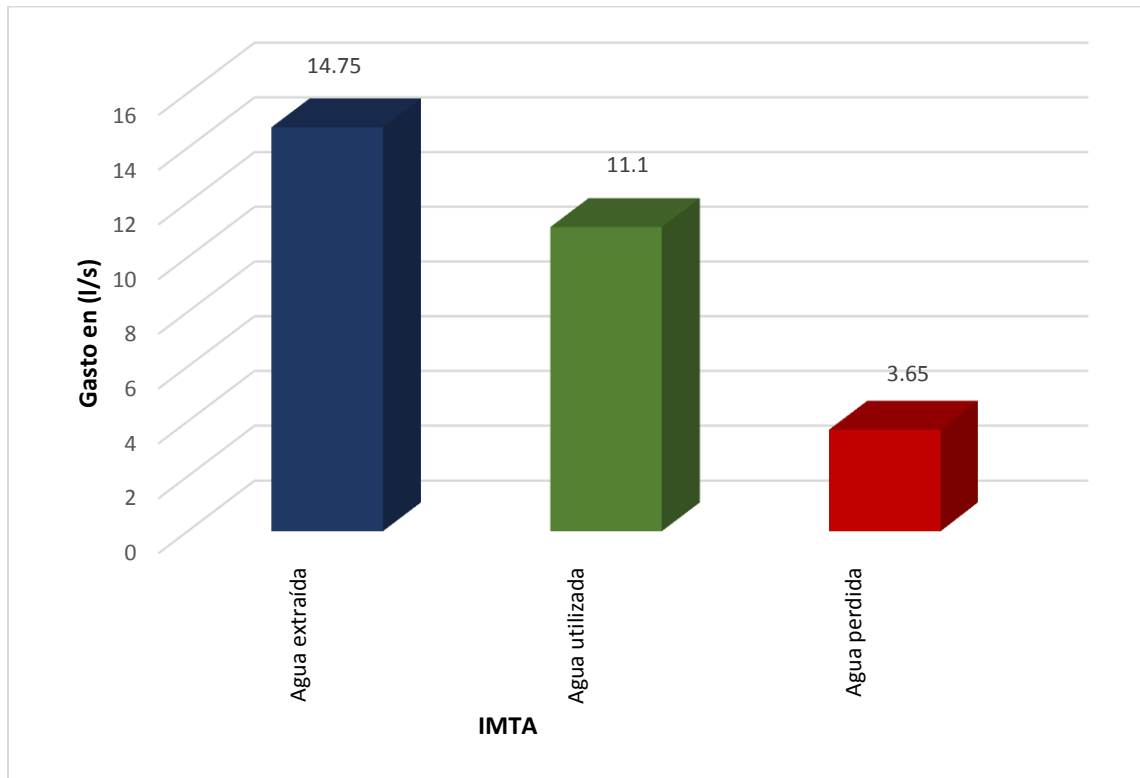


Figura 40: Balance de agua estimado.

Con la finalidad de hacer una mejor estimación del balance de agua, con los datos recabados, se hizo una correlación entre la fuente de abastecimiento y el depósito de regulación (figura 41), con la finalidad de completar los meses faltantes de la curva del tanque de regulación (agosto – noviembre) de la última. Lo anterior indica que en los meses aforados de la fuente de abastecimiento se extraen 77, 588 m³ y el volumen del depósito de almacenamiento es de 73, 880 m³.

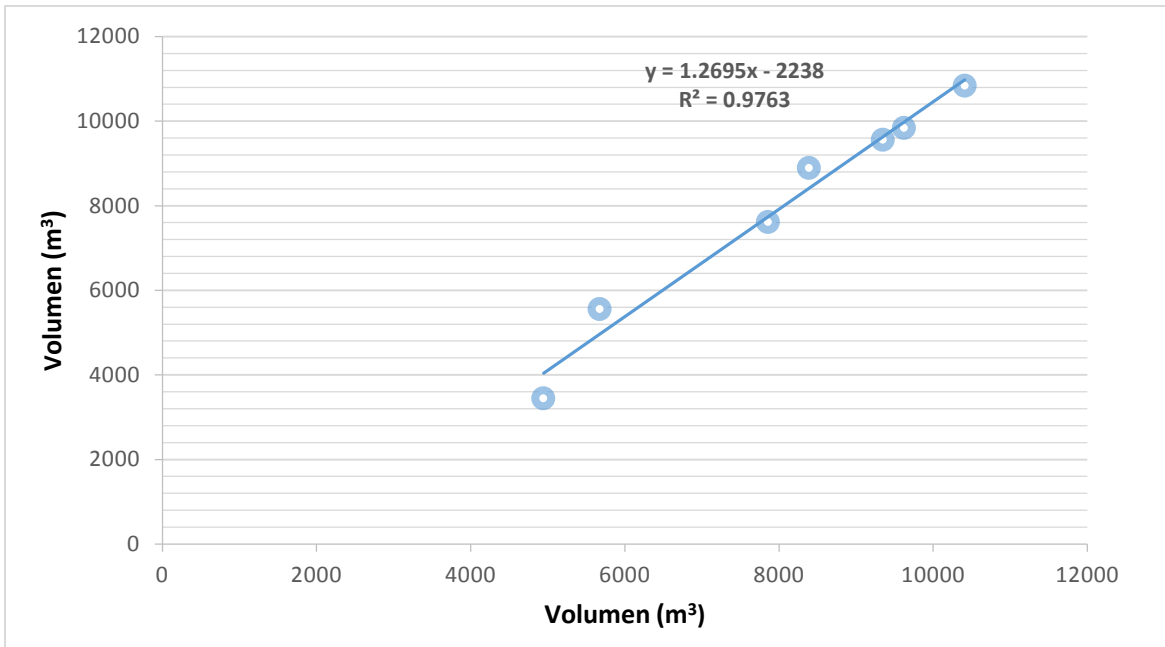


Figura 41: Correlación entre la fuente de abastecimiento y el depósito de regulación.

En la tabla 14 y figura 42 se muestran los valores del volumen de extracción y del volumen de suministro en los meses comprendidos del mes de enero a noviembre de 2015, incluyendo los valores estimados con el ajuste antes mencionado para los meses de agosto a noviembre.

Tabla 14: Volúmenes mensuales de extracción y regulación

<i>Mes</i>	<i>Volumen Extraído (m³)</i>	<i>Volumen suministrado (m³)</i>
ENERO	9,622	9,841
FEBRERO	8,392	8,891
MARZO	9,348	9,562
ABRIL	10,411	10,836
MAYO	7,860	7,618
JUNIO	5,676	5,555
JULIO	4,946	3,446
AGOSTO	4,749	3,791
SEPTIEMBRE	4,904	3,988
OCTUBRE	6,649	6,203
NOVIEMBRE	5,031	4,149
TOTAL	77,588	73,880

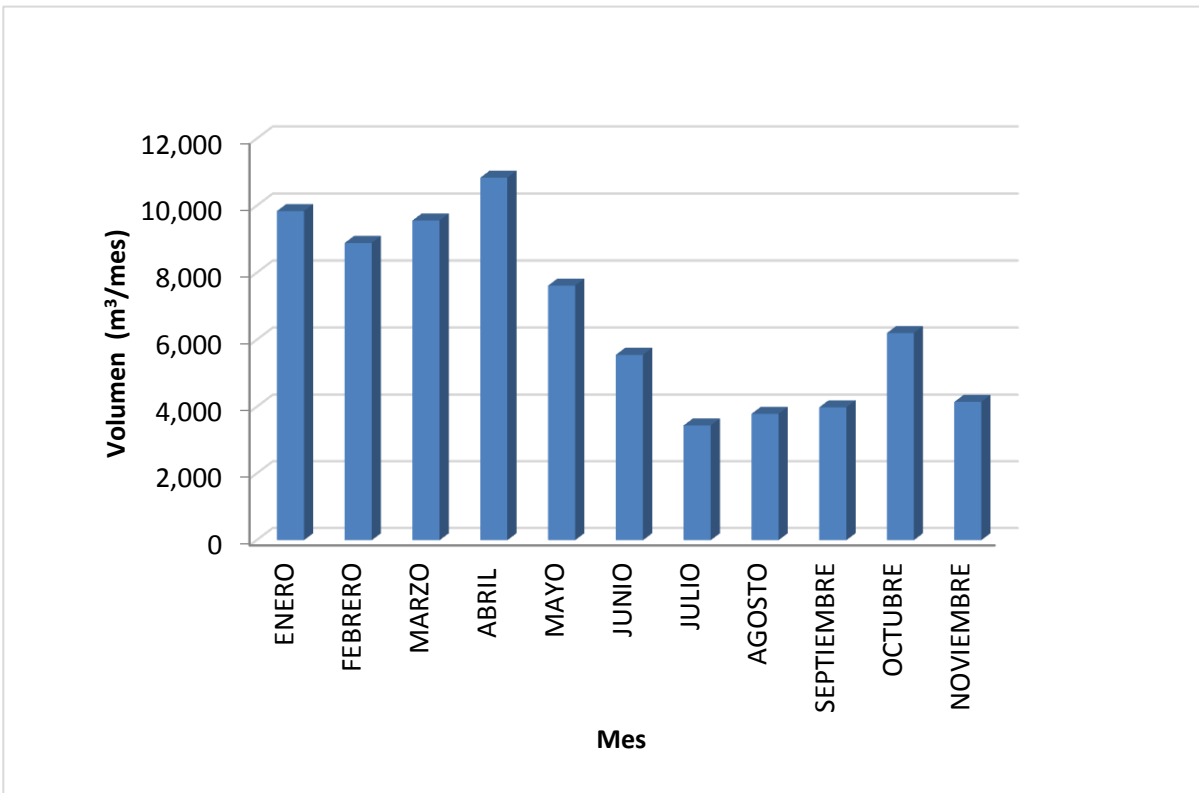


Figura 42: Volumen del suministro del depósito de regulación

De esta forma, para el balance anual se tiene un volumen de extracción de 77,588 m³, un volumen suministrado de 73,880 m³. El volumen de consumo en los edificios es de 18,492.30 m³ (25 %), el volumen empleado en las áreas de riego tanto en la parte central como en otras áreas es de 36,668.09 m³ (50 %), lo que genera un volumen de consumo total de 55,160.39 m³ (75 %). Por lo tanto, las pérdidas de agua en el sistema corresponden a 18,719.61 m³ (tabla 15).

Tabla 15: Muestra la cantidad de agua utilizada y el porcentaje que representa.

<i>Usos de agua</i>	<i>Volumen (m³)</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Consumo de agua en edificios</i>	18,492.30	25%
<i>Consumo de agua en riego</i>	36,668.09	50%
<i>Pérdidas de agua</i>	18,719.61	25%

4.7 Eficiencia del sistema

Un indicador de eficiencia, determina el funcionamiento o avance de una administración o un organismo operador, en este caso, se puede evaluar el funcionamiento de la red de agua potable de acuerdo a la eficiencia física de la misma, la cual se define como el volumen de agua consumida entre el volumen de agua suministrada; para los datos de la red se tiene que:

$$\text{eficiencia física (\%)} = \frac{55,160 \left(\frac{m^3}{mes} \right)}{73,880 \left(\frac{m^3}{mes} \right)} \times 100 = 75\%$$

Cabe mencionar que este valor se obtiene de los volúmenes consumidos en los edificios y en las áreas de riego, volumen suministrado por el depósito de regulación. La eficiencia física se puede considerar buena, a pesar de que se encuentra por debajo del valor recomendado que es de 80 %.

La literatura indica que una eficiencia menor al 80 % (catalogada como buena) requiere implementar actividades que mejoren el aprovechamiento del agua, acciones que reditúen en el incremento de la eficiencia del sistema, pero también puedan generar un ahorro a corto, mediano y largo plazo.

4.7.1 Dotación promedio por habitante por día

La dotación promedio por habitante por día, indica el volumen de agua que le corresponde a cada habitante en promedio cada día. Así, el valor obtenido del volumen suministrado entre el número de habitantes servidos en promedio, en el IMTA es de:

$$D_p = \frac{18,492.30 \left(\frac{m^3}{año} \right)}{898 \times 365} \times 1,000 = 56.41 \text{ l/hab/día}$$

Por último, la continuidad del servicio, se obtiene como el cociente de horas continuas servidas entre 24 horas de un día, para la red se tiene:

$$hr_{\text{servicio}} = \frac{24}{24} = 1$$

Este cociente adimensional indica la calidad del servicio del sistema, en este sistema en particular el servicio es continuo, por lo que el servicio es muy bueno. Un servicio continuo de agua tiene grandes beneficios para los usuarios; cuando se tiene una red obsoleta esto lleva a grandes pérdidas.

4.8 Pronóstico

El funcionamiento hidráulico de la red de agua potable, da pie a proponer un nuevo proyecto, que permita eliminar las políticas de operación con las que cuenta actualmente el IMTA. Esto implica, un tanque elevado para dar servicio a todos los edificios, es decir, garantizar el agua a todos los usuarios de manera que se generen menos costos por uso eléctrico; nuevo material en la red principal, acompañado de políticas de operación que permitan disponer del servicio las 24 horas, aprovechando al máximo el agua que es servida, disminuyendo fugas, implementando equipos de bajo consumo en baños, riego de áreas verdes por aspersión, es decir; medidas que incrementen el aprovechamiento del agua con el propósito de ser una institución ejemplo del buen manejo del recurso y sea un modelo para ser implementado en otros órdenes de gobierno.

4.9 Recomendaciones

Los trabajos descritos anteriormente, se ejecutaron con el propósito de identificar las condiciones en las que se encuentra la red de agua potable, por lo que a continuación se hacen algunas recomendaciones para mejorarla corto, mediano y largo plazo y dar seguimiento a los mismos.

4.9.1 Fuente de extracción

Se requiere realizar mantenimiento correctivo en elementos del tren de descarga del pozo, entre ellos, la válvula expulsora de aire, ya que se encuentra deteriorada; el medidor volumétrico para el aforo del gasto de extracción; además, es necesario colocar manómetros en la entrada y salida del tren de descarga.

4.9.2 Depósito de regulación

El depósito de regulación requiere mantenimiento general, revisión y sellado del mismo, ya que tiene una filtración o fuga de 8.4 m³/día aproximadamente.

Se requiere tanques totalmente herméticos, cumpliendo con las normas de calidad de agua y esto garantizará agua acumulada en perfectas condiciones para el consumo humano, logrando reducir el gasto en botellas y garrafones de agua.

4.9.3 Red de distribución

La red de distribución tiene un 70 % de la tubería principal de asbesto cemento, es un material que ya no se utiliza para la distribución de agua potable, por lo que se recomienda la sustitución de este material por polietileno de alta densidad (PEAD).

4.9.4 Registros y cruceros

Los registros y cruceros de la red de agua potable, requieren mantenimiento de los elementos que se encuentran resguardados dentro de ellos, revisión periódica de los estoperos de las válvulas (esto evitará la fuga de agua) en esos elementos, desazolve del material que se acumula dentro de los

registros, principalmente tierra y agua debido a fugas o lluvia, ya que provoca que los elementos se oxiden y que su vida útil se reduzca.

Los registros deben de estar enumerados conforme al plano, para poder ser identificados, facilitando la localización y la pronta atención en caso de una emergencia; la línea de conducción y red de distribución, registros y cruceros deben de estar pintadas de acuerdo al código de colores según la norma NOM-026-STPS “Seguridad-colores y su aplicación”. Esto implica red de distribución, registros y cruceros pintados de color verde.

En caso necesario, construir los registros que no fueron encontrados, en cambios de dirección, en adecuaciones. Cualquier cambio en la red deberá ser reportado para la actualización del plano correspondiente.

4.9.5 Sistema de telemetría

El sistema de telemetría es un conjunto de elementos instalados en la red de agua potable, que mediante tecnología de punta permite la lectura de las variables hidráulicas en diferentes puntos de la red; en este sentido, se requiere de un sistema de lectura moderno que permita de manera fácil y rápida tener la medición de caudales que se están suministrando y consumiendo dentro del IMTA, así como las presiones correspondientes.

Para ello, se recomienda la sustitución completa de los macro medidores existentes, cuatro de los ocho no funcionan debido a la falta de suministro eléctrico y en los restantes es necesario realizar una medición manual, es decir, no cuentan con ningún sistema que permita el almacenamiento de los datos.

Existen diferentes tipos de medidores electromagnéticos que permiten el almacenamiento de la información, y además, pueden enviar la información hacia la nube (internet); también existe la

posibilidad de extraer la información de manera manual; esto dependerá del lugar, dimensiones de la red, accesibilidad a los puntos de medición y del presupuesto.

Se recomienda instalar macro medidores en las salidas de los trenes de descarga y sustituir los micro medidores en las entradas de los tanques de almacenamiento por medidores volumétricos con memoria interna, ya que de éstos sólo funcionan 13 de 28, lo que genera incertidumbre al realizar el análisis correspondiente y no cuentan con un sistema de almacenamiento de información.

En el tren de instalación de los medidores volumétricos, se propone colocar válvulas para seccionamiento, tapón para incorporar una llave de nariz y una válvula expulsora de aire con la finalidad de realizar aforos periódicamente.

También se propone realizar la sustitución de los medidores de riego, por medidores de tipo volumétrico, que si bien es cierto, de ellos, miden la mayoría (15 de 20 medidores instalados), pero algunos miden menos y otros más caudal del que pasa realmente por el punto de medición; esto es una razón de peso, aunado a los más de 15 años de su instalación.

En general, se debe realiza un esfuerzo para constituir un sistema de medición, confiable y seguro, con el propósito de identificar los desperdicios de agua y las implementaciones necesarias que permitan reducir el suministro y el consumo.

El sistema de medición debe estar a cargo de un equipo de trabajo destinado a la supervisión y análisis de la información, que permita de manera pronta identificar los volúmenes suministrados y consumidos en la red, así como identificar las zonas con mayor vulnerabilidad ante la frecuencia de fugas en la misma.

Utilizar el agua tratada para riego de áreas verdes, ya que actualmente el 40 % corresponde a agua potable de los tanques de almacenamiento de los edificios.

Realizar un modelo hidráulico para que permita la sustitución de tubería con el propósito de efectuar los cambios necesarios en la red, diámetros, material, caudales, presiones y políticas de operación, de forma adecuada.

4.9.6 Tanques de almacenamiento

Las tanques de almacenamiento tienen como función almacenar el agua que será utilizada por los usuarios de cada uno de ellos, por lo que se les tiene que dar mantenimiento por lo menos dos veces al año; éste consiste en reparación de fracturas, sellado e impermeabilización de los mismos, con el propósito de evitar fugas; dos de ellos tienen fugas importantes, el anexo 2 de riego con 2.23 l/min y el de hidráulica con 1.6 l/min y algunos otros presentan raíces en el interior, basura y fauna nociva como cucarachas, cien pies, y arañas principalmente.

Los tanques de almacenamiento que necesitan atención inmediata son:

- Casa IMTA
- Casa editorial
- Hidráulica
- Dirección General
- Planta de tratamiento (riego)
- Anexo 2
- Anexo 3

4.9.7 Riego

En el riego de las áreas verdes dentro del IMTA se realiza por aspersión y de forma manual. El riego por aspersión es automatizado y se hace a distintas horas del día, por lo que se recomienda realizarlo por la mañana o por la tarde, ya que esto permitirá que las áreas verdes aprovechen la mayoría del

agua evitando la evaporación y el daño a las plantas.

El riego manual consiste en conectar una manguera a una válvula o directamente de los tanques de los tanques de almacenamiento. El riego se realiza entre las 10 y las 12 horas. En este sentido también se recomienda regar en las mañanas o tardes por un tiempo no mayor a 30 min.

4.9.8 Muebles de baño

Se recomienda utilizar muebles de baño de última generación, de alta eficiencia, principalmente los sistemas de tipo JET, en donde se intercambia caudal por aire, incrementando la presión y el desalojo de los residuos con menos agua.

Además, los muebles de baño deben estar calibrados, para evitar la variación del flujo de agua en las descargas; implementar mingitorios húmedos de 0.5 litros por descarga, esto permitirá el ahorro de agua, sin dejar que se manifiesten olores como sucede con los mingitorios secos.

Otros equipos que deben ser instalados son llaves y regaderas calibradas a máximo dos litros por minuto, con aireadores para reducir el flujo del agua.

En el caso de las regaderas, estas deben dar el caudal requerido a baja presión, ya que a media o alta presión, esto puede ocasionar que se desperdicie agua.

Capítulo V Conclusiones

Los trabajos realizados para determinar el estado de la infraestructura hidráulica, ha permitido conocer a fondo el estado en que se encuentran los distintos elementos que conforman la red de agua potable, con el propósito de proponer acciones en las que se pueda ver el ahorro del agua dentro de la Institución y el ahorro en otros aspectos y muy directos como lo es la energía eléctrica.

El resultado de dichos trabajos indica que:

- La **actualización** de planos digitales se encuentra en un 100 %, teniendo en formato digital actualizado, línea de conducción del pozo a la cisterna principal, red de agua potable, cruceros, registros, válvulas de control, tanques de almacenamiento, macro medidores y micro medidores.
- Se requiere hacer la **sustitución** de la tubería de asbesto cemento, por tubería de polietileno de alta densidad o en su caso por tubería de PVC hidráulica de alta resistencia en diámetros de 100 mm.
- Se necesita realizar la sustitución del sistema de telemetría. Se requiere proponer nuevos medidores para la macro medición, estos deben de ser de última generación, es decir, que permitan tener la información de la medición de forma rápida y en tiempo real; medidores volumétricos con tarjeta de memoria integrada, que permita guardar la información registrada que permita tener un control y una administración del recurso.

- Se requiere corregir el trazo de la red, proponiendo un tanque elevado aprovechando la topografía del lugar, para conducir el agua por gravedad hasta el punto más alejado y más alto con la suficiente carga hidráulica para darle seguridad de funcionamiento a los edificios.
- Es necesario la instalación de manómetros en la red, ya que esto permitirá identificar fugas en la misma, dado que no se tienen funcionando los que están instalados.
- Se deben construir registros en los cambios de dirección y en donde exista un disparo de agua potable, ya que dentro de la inspección no se encontraron algunos que son importantes.
- Falta mantenimiento correctivo a las válvulas que tienen fugas como la de derivación hacia el IMTA LAB, distribución principal a la red saliendo del tanque de regulación; en las válvulas que se encuentran en los diferentes cruces les falta pintura, para evitar que se sigan oxidando.
- Se requiere instalar en los arreglos de los medidores volumétricos, válvulas eliminadoras de aire, con la finalidad de evitar daños en los equipos, por la inestabilidad de funcionamiento del sistema.
- En el riego de áreas verdes se requiere implementar políticas de riego más eficientes, como la utilización de agua reciclada de la planta de tratamiento, modificar los horarios de riego, para evitar la pérdida de agua por evaporación de la misma, esto con el propósito de que la mayor parte del agua sea aprovechada por las plantas regadas e incluso la recarga del acuífero.

- Finalmente, las acciones realizadas son base para la identificación y mejora del sistema, además nos ayuda en la de reducción de pérdidas y consumo de agua potable, por lo que es necesario darle continuidad a estos trabajos, sin dejar de lado el involucrar a toda la población del IMTA y ejecutar acciones encaminadas a la concientización de una cultura del agua, siempre con la consigna de un uso eficiente del agua.

Bibliografía

- 1.- Arreguín F. I., Ochoa A. L. y Fernández E. A., Evaluación de pérdidas en redes de distribución de agua. TLALOC-AMH, Órgano informativo de la Asociación Mexicana de Hidráulica (AMH), Septiembre-Diciembre 1997, No.10, pags.28-30.
- 2.- Bouchart F. and Goulter I. Reliability Improvements in Design of Water Distribution Networks Recognizing Valve Location. Water Resources Research, Vol. 27, No.12, pages 3029-3040, December 1991.
- 3.- César, E. Abastecimiento de agua potable, Volumen I, Facultad de Ingeniería UNAM, México, 1994.
- 4.- César, E. Abastecimiento de agua potable. Volumen II, Recomendaciones de construcción, Facultad de Ingeniería UNAM, México, 1993.
- 5.- Guaycochea D. Flujo en tubos a presión. Universidad Autónoma Metropolitana-AZC 1992.
- 6.- Holman J. P. Métodos Experimentales para Ingenieros. Editorial McGraw-Hill, México 1996.
- 7.- International Standard, ISO 5167-1 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices. Reproduced by Global Engineering Documents, first edition 1991.
- 8.- Rocha, J. Diagnóstico y sectorización del sistema de agua potable de Ciudad Universitaria de la UNAM. PUMAGUA, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2010.
- 9.- Male J. W., and Walski, T. M. Water Distribution Systems. A Troubleshooting Manual, Lewis

Publishers, USA Michigan, 1990.

10.- Paschoal, S. Fundamentos de Hidráulica General. Editorial Limusa, México D.F., 1983.

11.- Rojas O. F. Hacia una mayor eficiencia hidráulica en sistemas de agua potable. Tesis de maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994.

12.- Shames I. Mecánica de Fluidos. Editorial McGraw-Hill, Tercera edición, Colombia 1995.

13.- Sotelo Á. G. Hidráulica General. Editorial Limusa, México D.F. 1991.

14.- Steel, E. W. and McGhee T. J. Abastecimiento de agua y alcantarillado. Editorial Gustavo Gili, Barcelona España, 1981.

15.- Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial, Gerencia de Normas Técnicas, Comisión Nacional del Agua. Control de fugas en sistemas de distribución. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México 1994.

16.- Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial, Gerencia de Normas Técnicas, Comisión Nacional del Agua. Datos básicos. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México 1994.

17.- Zepeda C. S. Manual de instalaciones. Limusa Noriega.

- 18.- CONAGUA. Capítulo 2 Situación de los recursos hídricos. Estadísticas del agua en México, edición 2011.
- 19.- Ochoa, A. L., Bourguett, O.V. Reducción integral de pérdidas de agua potable. Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. México (1998).
- 20.- Rocha, G. J. D. Manual de Uso Eficiente del Agua. Medidas para el usos eficiente de agua en Instalaciones Universitarias. UNAM. PUMAGUA. México (2009).
- 21.- Ochoa, A. L. Métodos y sistemas de medición de gasto. Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. México (1993).
- 22.- Aparicio R. A. Medidores de Velocidad. Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. México (2001)
- 23.- Ochoa, A. L., Bourguett, O.V. Micro medición. Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. México (2003)
- 24.- CEA Guanajuato. Manual de micro medición. Comisión Estatal Del Estado De Guanajuato. México 2001.
- 25.- Hernández, R. E. Montero, M. G. Manual de pruebas a instalaciones sanitarias. UNAM. PUMAGUA. 2009.

26.- Vela, B. J. Análisis de fenómenos transitorios en la línea de conducción que une al pozo tres de Ciudad Universitaria con los tanques de regulación del vivero alto. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2015.

27. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/hidraulica_mecanica/1999_n1/medidor.htm. Ultimo acceso 25 de septiembre de 2016

28 <http://civilgeeks.com/2010/10/08/obras-de-captacion-sistema-de-agua-potable/>. Ultimo acceso: 25 de septiembre de 2016.

29 <http://www.censo2010.org.mx/>. Ultimo acceso 25 de septiembre de 2016.