



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL – APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS

IMPLEMENTACIÓN DE SECTORES HIDRÁULICOS EN LA CIUDAD DE XALAPA, VER.

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. VICTOR HUGO GARCÍA PACHECO

TUTOR PRINCIPAL  
DR. VICTOR HUGO ALCOCER YAMANAKA  
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

MÉXICO, D. F. JUNIO 2013

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: M.I. VÍCTOR BORUGUETT ORTÍZ  
Secretario: DR. OCTAVIO RAMÓN SALAZAR SAN ANDRÉS  
Vocal: DR. VÍCTOR HUGO ALCOCER YAMANAKA  
1<sup>er</sup>. Suplente: DR. CARLOS A. ESCALANTE SANDOVAL  
2<sup>do</sup>. Suplente: DR. CARLOS EDUARDO MARIANO ROMERO

Cuernavaca, Morelos.

**TUTOR DE TESIS:**

Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka.

---

**FIRMA**

# Contenido

1	VERIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN DE AGUA EN EL SISTEMA DE ABASTO PARA LA COMISIÓN MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE XALAPA, VERACRUZ (CMAS) .....	3
1.1	Producción.....	3
1.1.1	Medición directa de gasto.....	5
1.1.2	Conclusiones sobre la producción de agua .....	26
2	VERIFICACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN EL SISTEMA DE ABASTO PARA LA COMISIÓN MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE XALAPA, VER(CMAS) .....	27
2.1	Consumo .....	27
2.1.1	Verificación de errores en medidores de servicio.....	27
2.1.2	Procedimiento de verificación .....	28
2.1.3	Equipo y material requerido .....	29
2.1.4	Procedimiento .....	31
2.1.5	Visita a predios seleccionados en la muestra. ....	31
2.1.6	Aforo de volúmenes .....	31
2.1.7	Resultados .....	34
2.1.8	Azteca .....	35
2.1.9	Conclusiones.....	41
2.2	Verificación de los procesos de lectura de consumo en medidores y procesamiento de información de consumo .....	42
2.2.1	Análisis de los consumos históricos .....	47
2.2.2	Conclusiones.....	48
2.3	Consistencia en el padrón de usuarios de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS).....	49
2.3.1	Conclusiones.....	51
2.4	Balance hidráulico del sistema de distribución de la ciudad de Xalapa de Enríquez.....	52
2.4.1	Plan de acciones .....	55
2.4.2	Levantamiento de catastro hidráulico .....	58
2.4.3	Conformación de sectores hidrométricos.....	65
2.5	Actualización del Padrón de Usuarios.....	68
2.6	Mejora de medición de consumos .....	68

2.7	Levantamiento de catastro hidráulico .....	68
2.8	Conformación de sectores hidrométricos (UN SECTOR).....	68
3	MODELO DE SIMULACIÓN HIDRAULICA EN SCADRED DE LA RED DE AGUA POTABLE PARA LA COMISIÓN MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE XALAPA, VERACRUZ (CMAS) .....	68
3.1.1	Recopilación de información del Sistema de Agua Potable.....	68
3.2	CONTRUCCION DEL MODELO DE SIMULACIÓN .....	73
3.3	PROPUESTA PROVISIONAL DE SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCION DE LA CIUDAD DE XALAPA-ENRIQUEZ, VERACRUZ.....	75
3.4	REFERENCIAS.....	80

## Índice de figuras

Figura 1.1. Esquemático de las captaciones operadas por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) y concentradas en cinco sistemas de conducción de agua a la ciudad de Xalapa, Ver.....	3
Figura 1.2. Medidor portátil de tiempo de travesía tipo ultrasónico. ....	5
Figura 1.3. Sistema de tiempo de travesía típico. ....	6
Figura 1.4. Perfiles de flujo.....	7
Figura 1.5. Aforo en la Presa de Huitzilapan. ....	9
Figura 1.6. Aforo en Caja No. 4. ....	10
Figura 1.7. Evaluación del medidor electromagnético en la presa de cinco palos. ....	10
Figura 1.8.-Verificación del medidor instalado en la presa de cinco palos.....	11
Figura 1.9. Presa de cinco palos.....	12
Figura 1.10. Verificación del medidor instalado en la captación Cofre de Perote.....	14
Figura 1.11. Comportamiento de la captación Cofre de Perote. ....	15
Figura 1.12. Comportamiento del gasto en la conducción de la presa Cofre de Perote a tanque Zona Alta, en el sitio identificado como mesa de la hierba. ....	15
Figura 1.13. Sitio de aforo Mesa de la Hierba. ....	16
Figura 1.14. Sitio de aforo en Cedeño.....	16
Figura 1.15. Verificación del medidor instalado en la captación El Castillo.....	18
Figura 1.16. Instalación de medidor patrón para verificar el bombeo El Castillo.....	19
Figura 1.17. Comportamiento del gasto en la captación El Castillo.....	19
Figura 1.18. Verificación del medidor instalado en la captación de la Presa de Socoyolapan. ....	21
Figura 1.19. Medidor instalado en la presa de Socoyolapan. ....	21
Figura 1.20. Llegada al tanque Lomas Sol. ....	22
Figura 1.21. Aforo en la llegada al tanque Lomas Sol. ....	23
Figura 1.22. Canales en la captación del Pixquiac Medio. ....	24
Figura 1.23. Conducciones en el Pixquiac Medio.....	24
Figura 1.24. Aforo antes de la llegada al tanque zona media. ....	25
Figura 1.25. Aforo entes de la llegada de la conducción al tanque zona media. ....	25
Figura 2.1. Probador portátil de medidores.....	29
Figura 2.2. Medida volumétrica calibrada. ....	30
Figura 2.3. Formato de levantamiento de información de verificación de medidores domiciliarios. ....	30
Figura 2.4. Configuración de equipo de prueba de medidores domiciliarios. ....	32
Figura 2.5. Nivelación de la medida volumétrica.....	33
Figura 2.6. Probador portátil de medidores.....	33
Figura 2.7. Medida volumétrica graduada para flujos bajos.....	33
Figura 2.8. Configuración general. ....	33
Figura 2.9. Rango metrológico de medidores de agua fría. ....	35
Figura 2.10. Resultados para medidores Azteca en el rango superior. ....	36

Figura 2.11. Resultados para medidores azteca en el rango inferior. ....	37
Figura 2.12. Resultados de la verificación de medidores marca Dorot en el rango superior. ....	38
Figura 2.13. Resultados de la verificación de medidores marca Dorot en el rango inferior. ....	38
Figura 2.14. Resultados de la verificación de medidores de marca Cicasa con gastos en el rango superior. ....	39
Figura 2.15. Resultados de la verificación de medidores marca Cicasa con gastos en el rango inferior. ....	39
Figura 2.16. Resultados para medidores Elster en el rango superior. ....	40
Figura 2.17. Resultados para medidores Elster en el rango inferior. ....	41
Figura 2.18. Comparación de consumos leídos por el IMTA y consumos medios para 12 meses. ....	43
Figura 2.19. Comparación de consumos por debajo de los 10 m <sup>3</sup> . ....	45
Figura 2.20. Comportamiento de consumos para el mes de septiembre de 2012. ....	46
Figura 2.21. Zonas de verificación de consistencia en el padrón de usuarios de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) ....	50
Figura 3.1.- Imagen del CEM 2.0 ....	73
Figura 3.2.-Red de Agua potable de Xalapa, modelada en el programa SCADRED®. ....	74
Figura 3.3.-Sector Propuestos. ....	79

## Índice de tablas

Tabla 2.1. Comportamiento de los consumos históricos para el 2010. ....	47
Tabla 2.2. Comportamiento del consumo a lo largo del 2011 ....	47
Tabla 2.3. Comportamiento del consumo a septiembre del 2012. ....	48
Tabla 2.4. Producción ....	52
Tabla 2.5. Pérdidas por deficiencias en la lectura de consumos. ....	54
Tabla 2.6. Programa de ejecución de acciones. ....	68
Tabla 3.1.-Conjunto mínimo de propiedades necesarias para el modelo de componentes de una red de distribución [Alcocer y Tzatchkov, 2007]. ....	69
Tabla 3.2.-Observaciones pendientes por resolver por parte de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS). ....	72
Tabla 3.3.-Información implementada en el Programa SCADRED®. ....	74
Tabla 3.4.-Tuberías a Cerrar de la Red de Agua Potable de Xalapa. ....	75

# 1 Antecedentes

La Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Xalapa (CMAS), como parte de sus objetivos estratégicos considera la reducción de los niveles de pérdidas reales, actualmente estimadas por la misma CMAS del orden del 45%. Dicha estimación surge de un balance empleando los valores de producción y consumo no validados respecto a su certidumbre y confiabilidad. Por lo tanto se establece la pregunta sobre el origen de las pérdidas estimadas y su potencial remediación o anulación.

Con base en lo anterior, la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) en Xalapa de Enríquez define que es necesario realizar un diagnóstico de los sistemas de distribución, de cuantificación de caudales y de consumos, a fin de poder definir la certidumbre de la información con la que las pérdidas son estimadas. Conocer además el origen específico de las pérdidas y determinar de manera precisa, la contribución de cada componente al balance total de pérdidas de agua en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Xalapa de Enríquez.

Complementario al diagnóstico, buscando concretar los resultados que del mismo se obtendrán, la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), solicita la elaboración de la definición de los anteproyectos requeridos para reducir, si es posible anular, las pérdidas identificadas. Los anteproyectos referidos deberán contar con el análisis de beneficio esperado y costo estimado, la priorización de las acciones a ejecutar para el logro de un valor de eficiencia esperada, y la estimación potencial de la reducción de pérdidas o incremento potencial de la eficiencia.

Dado que es del interés de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), el establecimiento de políticas óptimas de distribución del agua potable en la ciudad, considerando además que como producto del diagnóstico será posible identificar las deficiencias operativas, comerciales y de distribución del agua en la ciudad, se desarrollará un modelo de simulación hidráulica para la red de distribución de agua potable.

El modelo por desarrollar, se apoyará en la interface conocida como SCADRED, y se considerará para su desarrollo la información de catastro disponible propiedad de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS).

El modelo de simulación hidráulica se empleará para definir las políticas de operación en conjunto con el personal de operación de la CMAS. Las políticas por definir tendrán como objetivo principal mejorar la calidad en el servicio brindado por la CMAS en términos de presión de suministro y horas de servicio continuo con el menor costo de operación. Finalmente el modelo de simulación, permitirá analizar y diseñar, los sectores y distritos hidrométricos que administrará la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), en el corto y mediano plazos.

## 2 Introducción

El presente informe contiene los resultados obtenidos del estudio para la implementación de sectores hidráulicos en la Ciudad de Xalapa de Enríquez, en el estado de Veracruz Llave. Como se definió en los términos de referencia, el estudio consideró cuatro objetivos; siendo el primero la identificación del origen de las pérdidas de agua en el sistema, esto a través inspeccionar las componentes para un balance hídrico a nivel de la ciudad. En relación al diagnóstico, fue posible identificar que la principal causa de pérdidas es el tema de deficiencias comerciales y clandestinaje, principalmente lo relacionado con la cuantificación de los consumos a nivel domiciliario, seguido de la cuantificación de la producción que actualmente se estima de manera poco precisa.

El segundo objetivo fue la definición de anteproyectos que permitan el incremento de eficiencia para el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Xalapa. Para ello se hizo uso de los resultados obtenidos con la modelación hidráulica de las redes de distribución y conducción y el diagnóstico de pérdidas en el sistema.

Los objetivos tercero y cuarto incluyen la construcción de un modelo de simulación de las redes de distribución que permita reproducir el comportamiento actual del sistema en su conjunto. A partir de la modificación con el modelo de las políticas de operación, que fue realizado tomando como base la cobertura de tanques y de bombeo directo a red. Lo anterior resulta en el diseño de sectores hidrométricos a nivel anteproyecto, diseñados para mejorar la calidad de servicio a nivel global y para mejorar la eficiencia de los sistemas. La conformación de los sectores propuestos permitirá además establecer control sobre parámetros de desempeño, calculados a fin de establecer mejora continua de la eficiencia del sistema de distribución, mejorar la cobranza y la calidad del servicio.

El presente informe está dividido en tres secciones. La primera que incluye el análisis de la producción de agua para el sistema de distribución de Xalapa. La segunda que considera el análisis del sistema de cuantificación de consumos. En estas dos secciones primeras se analiza el estado del conservación de los sistemas y se verifica la confiabilidad de los valores de volumen producido manejados por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS). Se determina además la causa de los valores de pérdidas encontrados y se precisa su posible solución. La tercera sección muestra el modelo de simulación creado para la ciudad de Xalapa, se incluye el diseño de los sectores en la ciudad y se analiza la problemática y las acciones de mejora para la calidad de servicio.

### 3 VERIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN DE AGUA EN EL SISTEMA DE ABASTO PARA LA CMAS XALAPA, VERACRUZ

#### 3.1 Producción

El abastecimiento de agua en la ciudad de Xalapa se hace a través e la explotación de ocho fuentes, todas ellas captaciones de escurrimientos superficiales. Las ocho fuentes explotadas conforma cinco sistemas de conducción identificados como: a) Cofre de Perote; b) El castillo; c) Presa Huitzilapan; d) Pixquiác medio; y e) Presa de Socoyolapan. La Figura 3.1.1 muestra de forma esquemática cada uno de los cinco sistemas operados por la Comisión Municipal de Agua Potable y saneamiento de Xalapa (CMAS).

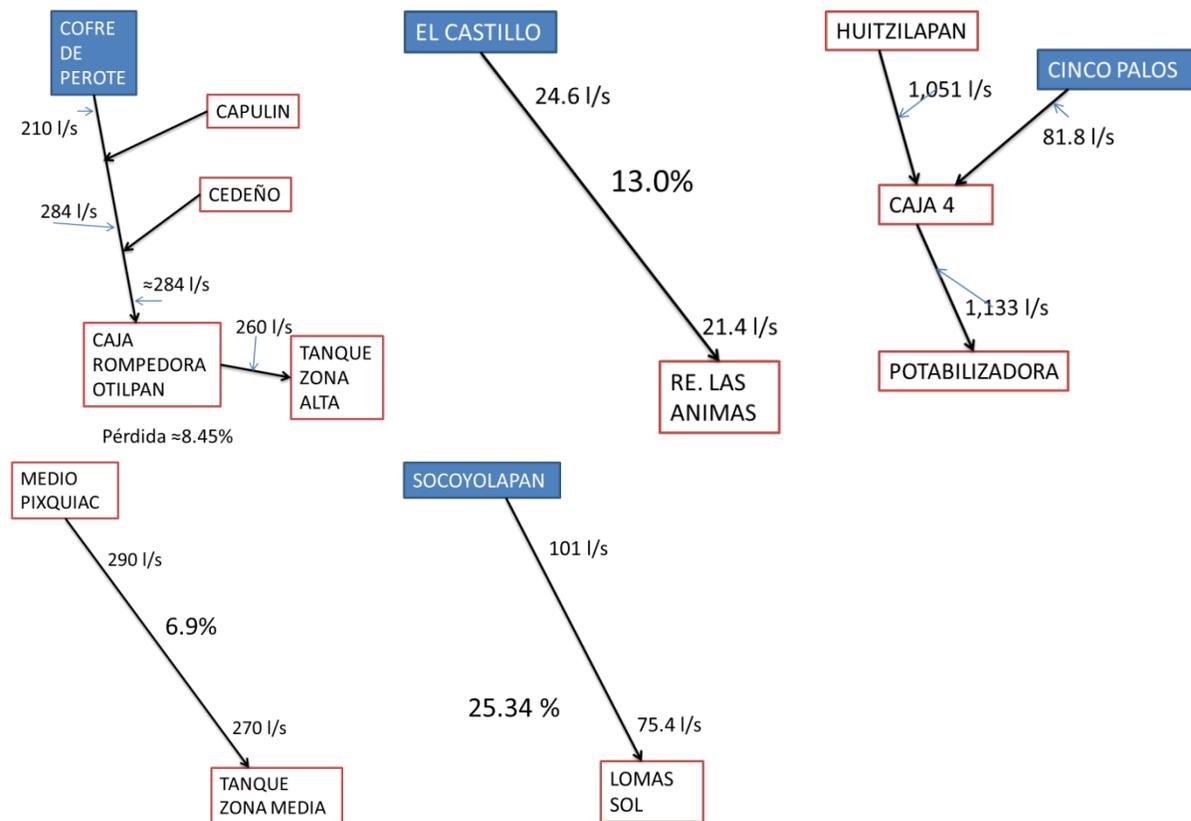


Figura 3.1. Esquemático de las captaciones operadas por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) y concentradas en cinco sistemas de conducción de agua a la ciudad de Xalapa, Ver.

De la Figura 3.1. que incluye los nombres de las captaciones en recuadros de texto se debe deducir que aquellas enmarcadas en recuadros de color azul corresponden a captaciones en las que la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), tiene instalado un medidor de gasto que permite llevar el registro del caudal circulante e ingresado al sistema de conducción, y en consecuencia del volumen producido para un lapso de tiempo. El resto de las captaciones carece de medidor instalado, lo que hace complicada la cuantificación del volumen producido en el tiempo.

Cualquier proyecto de mejora de eficiencia demanda el establecimiento de bases para determinar la mejora, es decir, no es posible mejorar algo que no se sabe su situación y en consecuencia cuanto se puede mejorar. Tal es el caso de la ciudad de Xalapa, en específico de la mejora de eficiencia en el sistema de distribución de agua potable. Es necesario saber la cantidad de agua que se ingresa al sistema, para ello se debería contar con medidores instalados en todas y cada una de las captaciones explotadas por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), llevar registros periódicos de los volúmenes medidos por los aparatos de medición y que los periodos de cuantificación sean equivalentes a fin de tener capacidad de determinar descensos o incrementos en la producción de agua potable entre periodos.

Sin embargo, como solo contamos con cuatro de las ocho captaciones con capacidad de ser medidas habrá que hacer uso de recursos adicionales para poder establecer la producción de manera aproximada.

En términos generales cuando se desconoce a ciencia cierta la magnitud de un fenómeno físico, en este caso la cantidad de agua que circula por una tubería en un intervalo de tiempo, es necesario recurrir a métodos alternos para aproximar el valor de la magnitud deseada. En este sentido, los métodos pueden ser muy diversos y generar valores diferentes para un mismo fenómeno.

En el caso de la producción de agua para la ciudad de Xalapa se emplearon dos métodos para la estimación, el primero consistió en medir por intervalos de tiempo suficientemente largos el gasto circulante en los conductos de las captaciones a verificar. Para efecto de lo anterior, se buscó a lo largo de las conducciones los sitios donde se pudiera obtener la mejor calidad de la medición. Con los registros de gasto obtenido se analizó la variación del gasto y se extrapoló para periodos mensuales.

El segundo método empleado en la estimación de la producción fue la cuantificación del tiempo en el que se desplaza un volumen conocido, en este caso y por tratarse de una medición puntual, se realizan repeticiones de la misma a fin de establecer un grado mínimo e confiabilidad de la estimación.

Los detalles de las estimaciones se describen más adelante en este documento, sin embargo, los valores resultantes considerados en el balance se presentan en la Figura 3.1. Donde se aprecia que la fuente con mayor aporte es la Presa de Huitzilapan, seguida de la captación en el río Pixquiaco medio, el Cofre de Perote, la presa de Socoyolapan y El Castillo.

En los casos en los que se cuenta con medidor instalado se realiza un análisis de sesgo empleando un medidor cuyo error se conoce que se instala en serie al medidor a evaluar. Los gastos leídos de ambos medidores se analizan a fin de establecer el grado de confiabilidad de las lecturas aportada por el medidor evaluado respecto a un medidor patrón calibrado y cuyo error se conoce.

Con base en lo anterior, se describe cada uno de los procedimientos empleados para la estimación del volumen producido, agregando los resultados de los casos para los que se empleó cada uno de ellos.

### 3.1.1 Medición directa de gasto

Para la estimación de la producción en los sitios en los que no se tiene medidor fijo instalado se asume la medición del gasto por periodos de tiempo prolongados como indicio del gasto producido a lo largo de los periodos de tiempo. La finalidad de este procedimiento es verificar la variación horaria del gasto producido en las fuentes, además de conocer el valor de gasto producido para el periodo de tiempo evaluado. Si bien es cierto con este método es imposible verificar la variación estacional de las fuentes de producción, sin embargo lo que se busca es realizar un balance de agua entre la producción y el consumo.

El equipo empleado para cuantificar el gasto circulante es un medidor de tipo ultrasónico de velocidad en tránsito con sensores secos Thermo Polysonics, la fotografía incluida en la Figura 3.2 muestra el equipo empleado.



Figura 3.2. Medidor portátil de tiempo de travesía tipo ultrasónico.

El medidor es de tipo tiempo de travesía de correlación digital con capacidad para medir flujos de líquidos limpios y homogéneos incluyendo los flujos de líquidos con concentraciones elevadas de partículas suspendidas o gases tales como burbujas de aire. El medidor es no invasivo, lo que implica que mide el flujo desde fuera de la tubería. Los transductores empleados para la medición del flujo se montan rápidamente sin la necesidad de interrumpir el flujo en las tuberías.

El principio de operación consiste en el viaje que realiza una onda de sonido en los fluidos con velocidad específica que depende del tipo de fluido. Si el fluido tiene movimiento, la onda de sonido viaja a una velocidad igual a la suma de la velocidad de la onda de sonido en el fluido y la velocidad del fluido relativa a la posición del transductor. Una onda de sonido que viaja en la misma dirección a la del flujo (aguas abajo) llegará más rápido que una onda de sonido viajando en

sentido contrario al flujo (aguas arriba). Un medidor de tiempo de travesía opera midiendo tanto el tiempo absoluto de las ondas de sonido y la diferencia en tiempo requerido por las ondas para viajar entre los transductores montados en el exterior de las tuberías.

Considerando el tiempo de travesía de dos ondas de sonido, es como el medidor calcula la velocidad media del fluido en la tubería, tal y como se muestra en la Figura 3.3 .

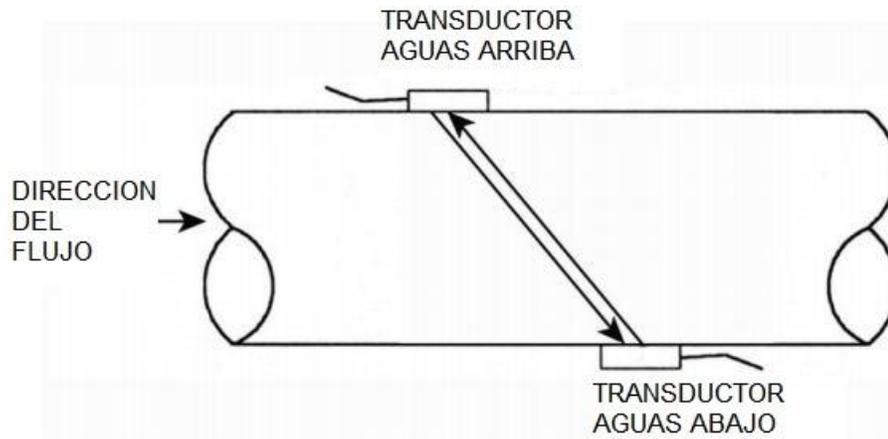


Figura 3.3. Sistema de tiempo de travesía típico.

Una vez calculado el tiempo de travesía diferencial es necesario tener en cuenta la influencia de algunas variables adicionales. La velocidad del fluido se conforma de muchas velocidades locales diferentes conforme a su distancia a las paredes de la tubería. Las velocidades al centro de la tubería son mayores respecto a las velocidades de las zonas cercanas a las paredes de los tubos. La combinación de estas velocidades individuales para un tipo particular de fluido conducido en una tubería específica conforma lo que se conoce como el perfil de flujo, el cual es función del número de Reynolds. La correcta configuración del medidor permite involucrar el efecto del perfil de flujo ( Figura 3.4) en las mediciones realizadas con este tipo de equipos de medición. El medidor multiplica la velocidad calculada por la sección transversal de la tubería para obtener el flujo volumétrico.

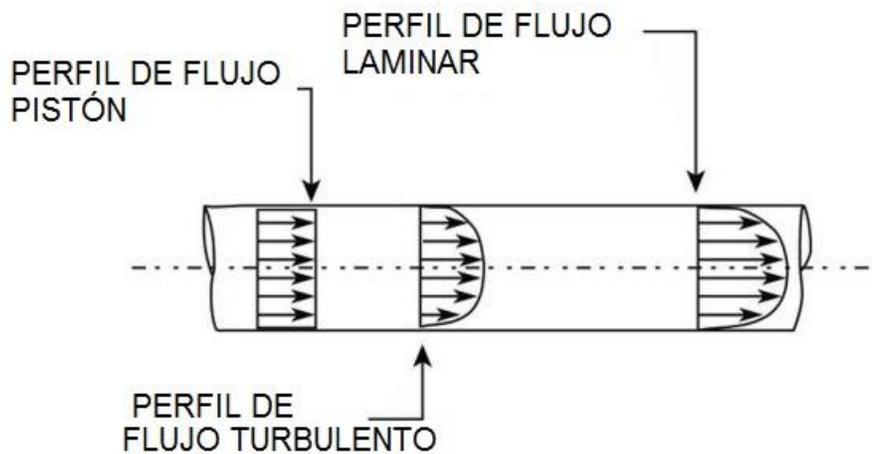


Figura 3.4. Perfiles de flujo.

En lo relacionado a la precisión del equipo, existe un conjunto de efectos que pueden influenciar la precisión de las mediciones. La totalidad de los medidores ultrasónicos son dispositivos que miden la velocidad e infieren el flujo volumétrico empleando el diámetro interior de la tubería que el operador captura en la fase de configuración. Al elevar al cuadrado el valor de diámetro interior para determinar la sección transversal un error del 1% representa un error equivalente del 2% en el flujo volumétrico. En la práctica las tuberías comerciales ocasionalmente presentan inconsistencias superiores al 1%, aun empleando los procedimientos más estrictos y los instrumentos de medición más precisos para determinar el diámetro interior, este valor de incertidumbre no es reducible a través de la calibración del instrumento de medición de caudal.

Los medidores de flujo tipo tiempo de travesía más sofisticados incorporan correcciones a los patrones de flujo para compensar a través de la modificación del número de Reynolds. Sin embargo, estos factores de corrección requieren que los operadores conozcan el valor de la rugosidad de la tubería. En el caso de la mayoría de los medidores se inferirá un valor para la rugosidad si los operadores no dan de alta algún valor, pero este valor es solamente un estimado basado en los valores de rugosidad para tuberías nuevas. Las tuberías generalmente acumulan depósitos que pueden, obviamente, reducir el diámetro interior de las tuberías, sino además, afectar la rugosidad. Los errores del orden del 2% como resultado de este fenómeno oscilan del orden del 2% [1].

Dado que existen muchos otros factores que influyen en la precisión de este tipo de medidores en magnitudes menores, los elementos referidos anteriormente son los más relevantes para la precisión de este tipo de equipos. Mientras que la calibración de este tipo de medidores empleando flujos conocidos y condiciones de conducción controladas representa un ejercicio útil para determinar la precisión potencial, no es garantía suficiente para lograr reducir la incertidumbre que ronda alrededor de la instalación y configuración de este tipo de equipos sobre tuberías en condiciones de operación reales.

Sin embargo, las especificaciones del fabricante para este tipo de medidores establecen los siguientes valores para el desempeño de este tipo de instrumentos.

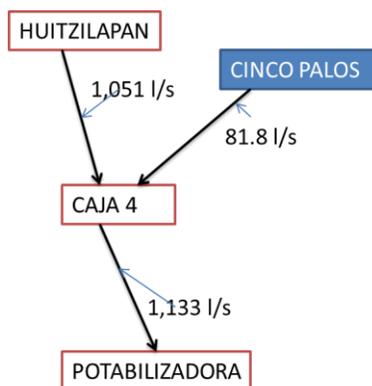
Rango del flujo:	0 a 12 m/s
Precisión:	$\pm 1\%$ de la velocidad o $\pm 0.0152$ m/s, típico
Sensibilidad:	0.3 m/s en cualquier valor de gasto incluyendo cero
Linealidad:	$\pm 0.1\%$ de la escala
Tamaño de tubería:	1 a 200 plg
Fluidos:	líquidos homogéneos con burbujas

La medición directa de gasto se realizó sobre la mayoría de las fuentes que abastecen de agua a la ciudad de Jalapa. Los gastos indicados en la Figura 3.1 son el resultado de la medición de los gastos a lo largo de periodos extendidos de 72 horas.

### 3.1.1.1 Sistema Presa de Huitzilapan

En el sistema Presa de Huitzilapan se realizó un total de tres verificaciones de gasto, dos de ellas midiendo directamente el gasto circulante por la tubería de conducción a fin de poder establecer la cantidad de agua que produce la CMAS y que abastece a la población de Jalapa.

Las dos mediciones directas corresponden a los aforos realizados en puntos seleccionados considerando como criterio la existencia de una longitud de tubería libre de accesorios aguas arriba del sitio de instalación del medidor en un valor equivalente a los 10 diámetros nominales de la tubería donde se desea conocer el gasto circulante, y una longitud equivalente mínima aguas abajo del sitio de cinco diámetros.



La Figura anterior esquematiza los dos aforos realizados y los gastos determinados para estos sitios. El caso de la presa Huitzilapan con un aforo medio de 1,051 l/s y luego de la caja rompedora de presión identificada como “Caja No. 4” con un aforo medio igual a los 1,133 l/s. La gráfica

contenida en la Figura 3.5 muestra el comportamiento del gasto para el periodo de evaluación de 72 horas definido para determinar con información suficiente el valor medio de gasto circulante que se conduce de la presa Huitzilapan a la ciudad de Jalapa.

La Figura 3.6 muestra, de la misma forma, el comportamiento del gasto en el tiempo a lo largo del periodo de 72 horas de evaluación.

Como se observa existen variaciones de gasto a lo largo del tiempo esto se debe principalmente a los trabajos de limpieza que se realizaban en los sedimentadores de la planta potabilizadora localizada en la presa. Se considera que el gasto entregado por esta presa es del orden de los 1,050 l/s.

El segundo aforo directo realizado se realizó en la caja No 4. La Figura 3.6, que como se observa en el esquema del sistema permite contabilizar la totalidad del agua entregada por este sistema a la ciudad. Gasto que el sistema produce es del orden de los 1,133 l/s.

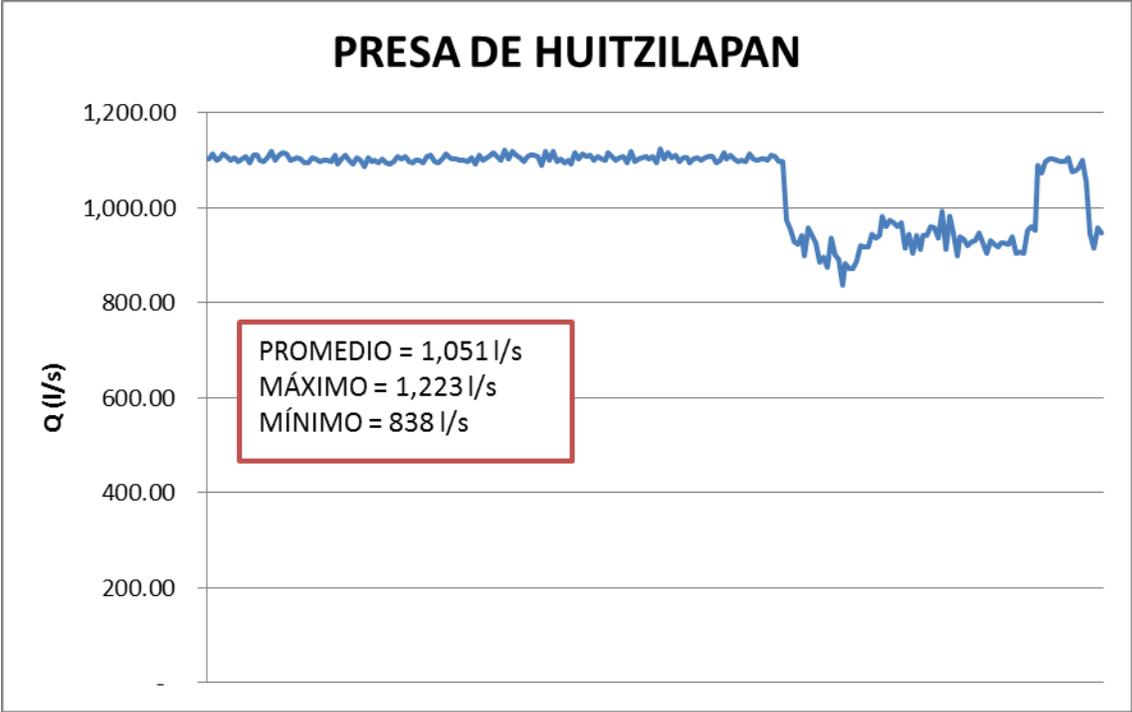


Figura 3.5. Aforo en la Presa de Huitzilapan.

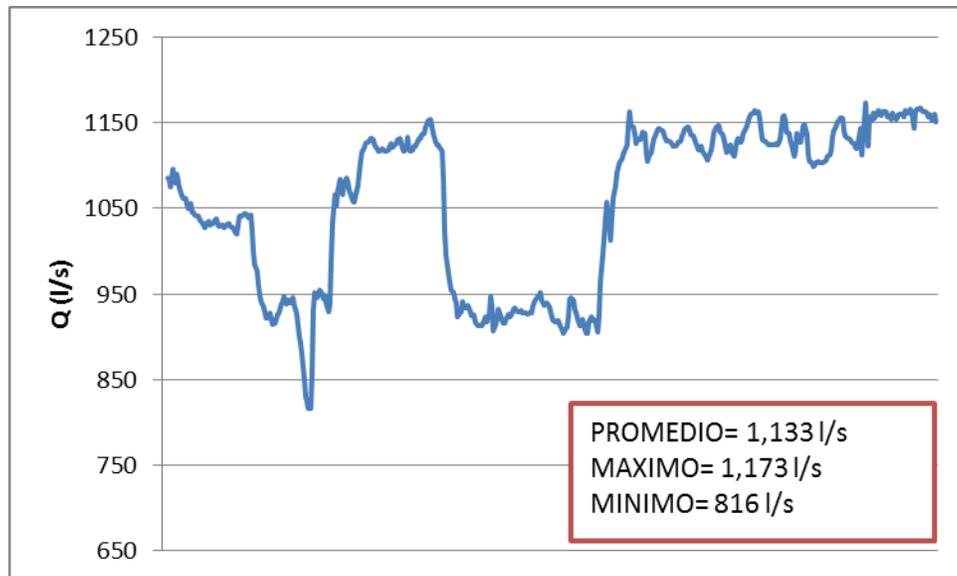


Figura 3.6. Aforo en Caja No. 4.

Ahora bien la segunda fuente de abastecimiento en el sistema Presa de Hutizilapan es la presa de cinco palos, en este caso la CMAS tiene instalado un medidor tipo electromagnético, que se verificó a fin de evaluar la consistencia de sus registros respecto a los registros de un medidor conectado en serie midiendo el mismo gasto, la Figura 3.7 muestra el arreglo de medidores realizado para la evaluación.



Figura 3.7. Evaluación del medidor electromagnético en la presa de cinco palos.

Los resultados obtenidos se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

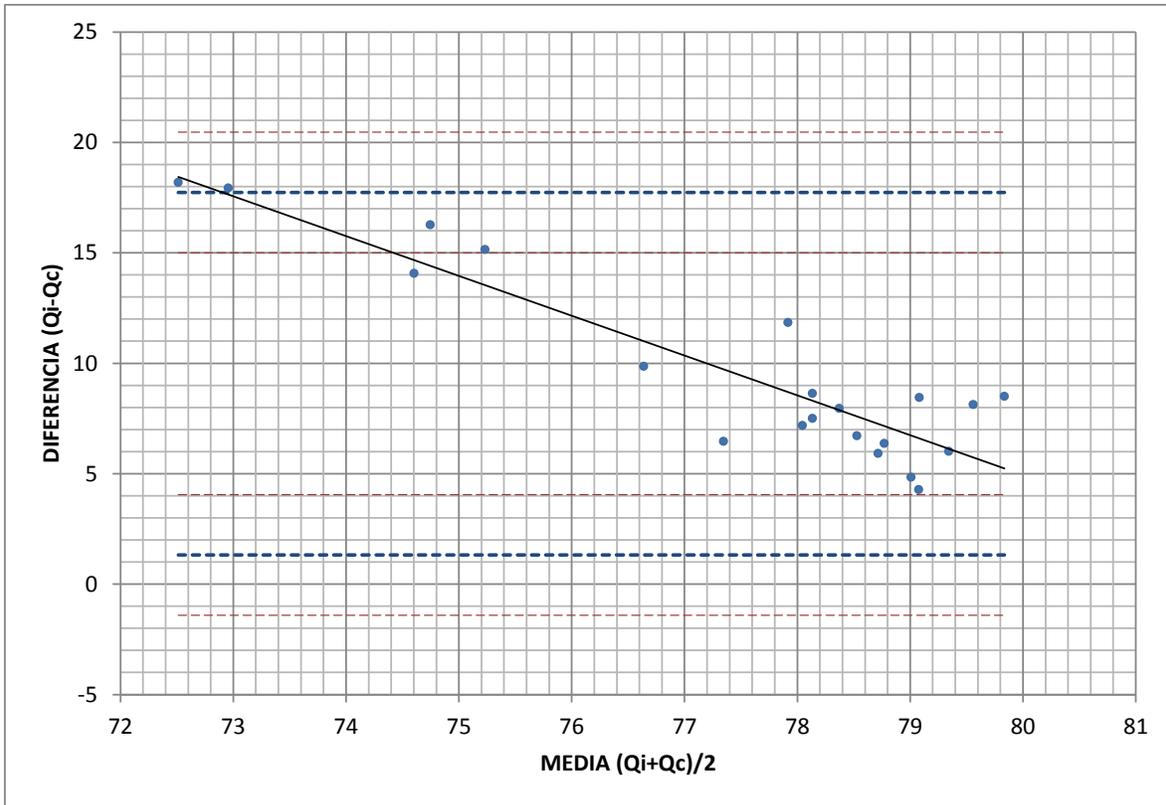


Figura 3.8.-Verificación del medidor instalado en la presa de cinco palos.

El análisis de concordancia realizado nos indica que el medidor instalado propiedad de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), registra menor cantidad de gasto respecto al medidor testigo del orden de los 10 l/s en promedio, pudiendo llegar hasta los 20 l/s, y el valor medio de las lecturas simultaneas de ambos medidores oscila entre los 73 y los 80 l/s que de obtiene de promediar el registro del medidor testigo y el del medidor verificado para un mismo intervalo de tiempo.

La gráfica presentada en la Figura 3.8. contiene el intervalo de confianza para la muestra de lecturas simultaneas realizada para el proceso de verificación del medidor instalado, y está definido por el espacio entre las líneas punteadas en color azul y corresponde a un 95% de exactitud y representan los límites inferior y superior del intervalo de confianza. Para cada uno de los límites del intervalo de confianza se muestra el error máximo a través de líneas en color marrón.

De esta forma la interpretación que se debe dar a la gráfica en la Figura 3.8. es que los registros del medidor verificado concuerdan con los registros del medidor patrón en la medida de que sus diferencias respecto a su promedio estén dentro del intervalo de confianza definido para la totalidad de registros en la muestra. De esta forma podemos afirmar que los registros del medidor propiedad de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), son confiables, pues al verificar su consistencia con un medidor patrón, estos concuerdan estadísticamente.

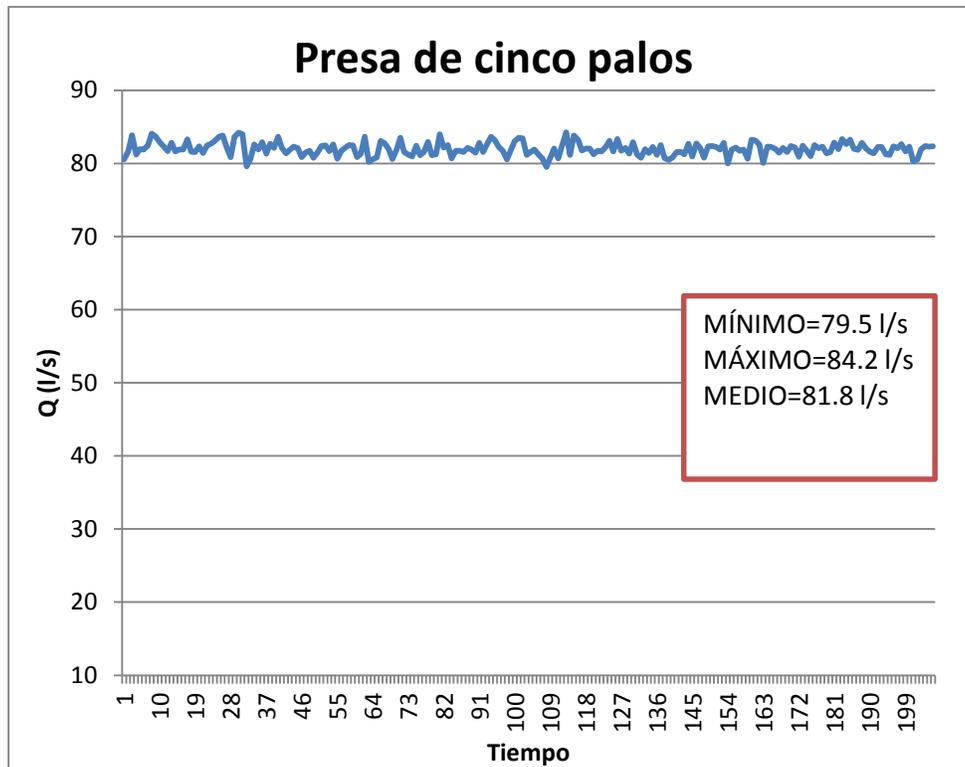


Figura 3.9. Presa de cinco palos

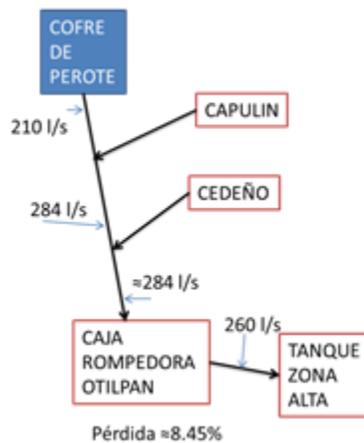
La gráfica contenida en la Figura 3.9 muestra el comportamiento del gasto registrado por el medidor de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) S a lo largo del periodo de evaluación de 72 horas, el cual es muy consistente y uniforme. El valor de gasto medido producido por esta fuente es del orden de los 81 l/s.

Con los resultados mostrados previamente se afirma que la producción de agua en el sistema Presa de Hutzilapan es del orden de los 1,133 l/s y que no es evidente la existencia de pérdidas en conducción que sean representativas, pues a través de la verificación realizada no fue posible identificarlas.

Se recomienda para este sistema mejorar la calidad de la medición de volúmenes producidos, esto a través de la instalación de medidores a la salida de la presa de Huitzilapan y en la entrega de agua en la planta potabilizadora. Es necesario también llevar registros mensuales del comportamiento de los volúmenes captados a fin de poder establecer los indicadores de eficiencia y pérdidas en las conducciones, esto permitiría a la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), identificar problemas operativos en estos sistemas, así como identificar robo de agua a lo largo de las conducciones.

### 3.1.1.2 Sistema Cofre de Perote

Como se mencionó previamente el sistema Cofre de Perote está conformado por las captaciones Cofre de Perote, Capulín, y Cedeño. La mayor aportación de agua en este sistema corresponde a la que se realiza en la presa Cofre de Perote que produce un promedio de 210 l/s y la captación tiene un medidor tipo electromagnético de inserción. Las dos captaciones restantes no cuentan con medidor instalado.



Para determinar la producción de agua en este sistema se realizaron mediciones directas del gasto en tres sitios a lo largo de las conducciones y se verificó la concordancia de los registros del medidor tipo inserción instalado en la captación de la presa del Cofre de Perote.

Se presenta el resultado de la verificación del medidor existente instalado en la captación de la presa Cofre de Perote en primer término. La Figura 3.10 muestra el análisis de concordancia practicado sobre el medidor. Para este análisis se empleó como medio de verificación el medidor DCT7088 de marca ThermoPolysonic mostrado en la Figura 3.2, el cual está calibrado y se conoce su sesgo respecto a una medida volumétrica certificada.

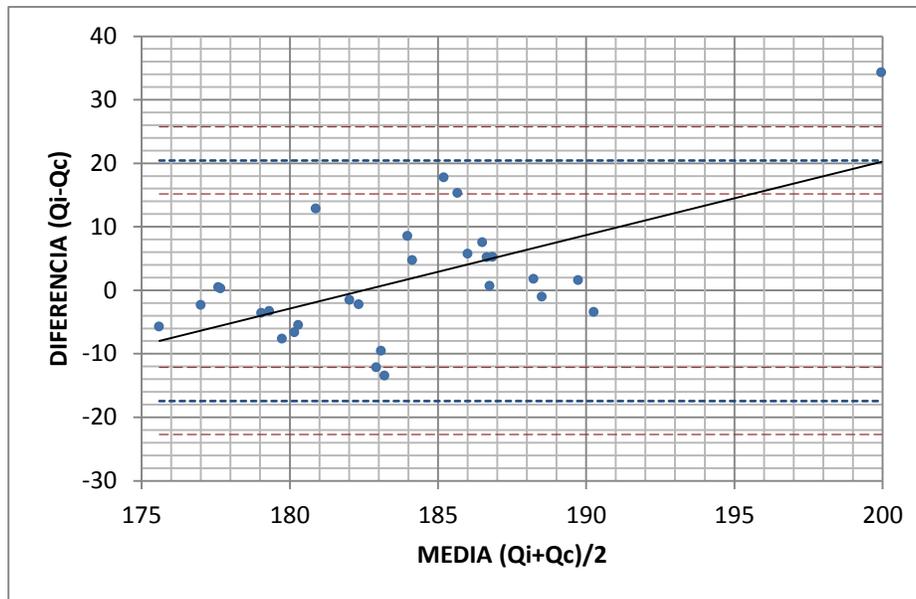


Figura 3.10. Verificación del medidor instalado en la captación Cofre de Perote.

De la misma forma que para el caso del medidor de la presa cinco palos la gráfica muestra el intervalo de confianza para la muestra de registros verificados, en el eje de las abscisas se considera el valor medio para pares de registros del medidor patrón y el verificado, mientras que en el eje de las ordenadas se considera la diferencia para el par de gastos registrados, en todos los casos de lecturas simultaneas de gasto de los medidores patrón y verificado. De no ser por el punto más a la derecha de la gráfica, la variación de registros estaría entre 175 y 190 l/s, lo cual es un intervalo muy reducido. La diferencia como ya se comentó esta sobre -20 y +20 l/s lo que fortalece aún más la conclusión de que el medidor instalado se comporta de manera confiable y los registros producidos son útiles para efectos de operación del sistema de captación de la presa Cofre de Perote.

La gráfica incluida en la Figura 3.11 muestra el comportamiento a lo largo del periodo de evaluación de 72 horas para la captación. Se muestra que a lo largo del tiempo de verificación el gasto medido fue muy estable y los valores oscilaron alrededor de los 210 l/s que es el valor que se considera como promedio para la producción de agua de esta captación, siendo además un valor confiable de acuerdo al análisis de concordancia elaborado.

En el caso de las dos captaciones adicionales en el sistema cofre de Perote, se realizaron mediciones directas del gasto circulante por las tuberías de conducción. El primer sitio de aforo es el conocido como Mesa de la Hierba localizado sobre la línea de conducción sienta este un punto de aforo del personal de hidrometría de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS). El segundo sitio de aforo hizo después de la captación de agua conocida como Cedeño, lugar donde no fue posible aforar de manera confiable sobre la tubería y se optó por medir directamente en el canal de conducción existente.

La fotografía incluida en la Figura 3.13 y la Figura 3.14 muestran los sitios referidos para los aforos realizados.

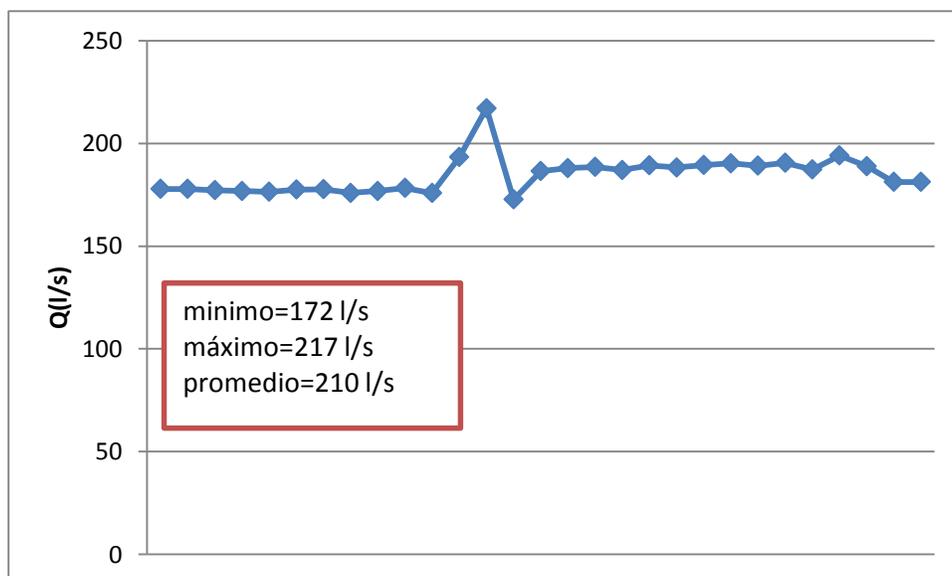


Figura 3.11. Comportamiento de la captación Cofre de Perote.

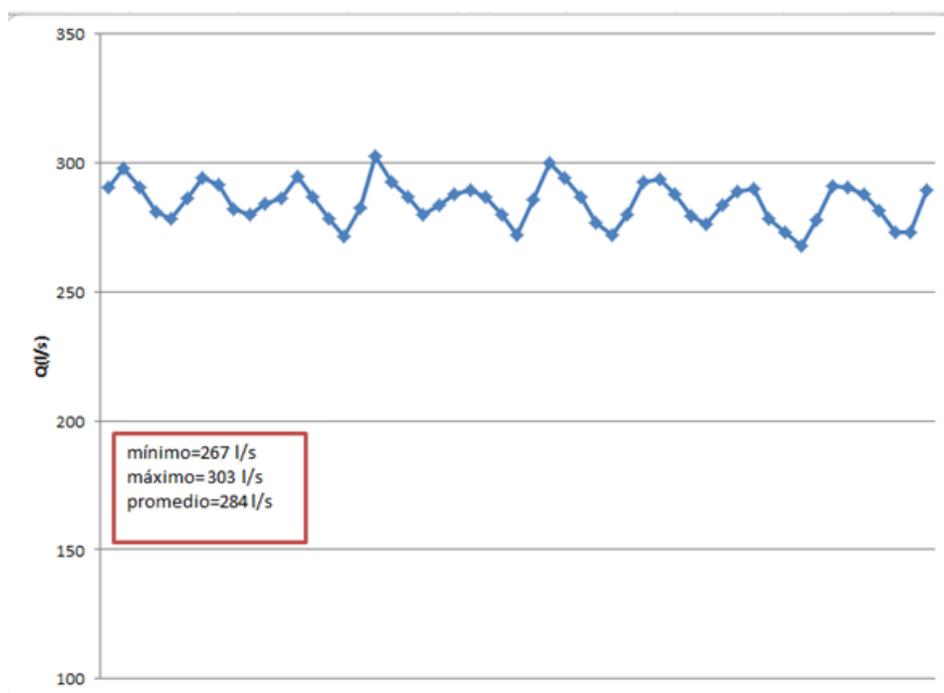


Figura 3.12. Comportamiento del gasto en la conducción de la presa Cofre de Perote a tanque Zona Alta, en el sitio identificado como mesa de la hierba.



Figura 3.13. Sitio de aforo Mesa de la Hierba.



Figura 3.14. Sitio de aforo en Cedeño.

El aforo en Mesa de la Hierba se comporta como se muestra en la Figura 3.12. El valor promedio de los registros de gasto obtenidos para el periodo de verificación fue de 284 l/s. Considerando que esta aforo corresponde a la suma de las aportaciones de las captaciones Cofre de Perote que se calculó en 210 l/s y el Capulín que no cuenta con sistema de medición, además de que su acceso es complicado, se determina por diferencia de valores de gasto promedio que la aportación de el Capulín es de 74 l/s.

El aforo en Cedeño se realizó empleando un molinete electrónico. La complejidad para realizar un aforo continuo en el sitio obligó a realizar mediciones puntuales y promediar sus valores a fin de poder establecer un valor de gasto circulante. El resultado nos indica que al momento del aforo circulaba en el túnel un gasto aproximado a los 284 l/s. En el momento del aforo la captación de

Cedeño estaba fuera de operación, por lo que se considera que no existe pérdida de gasto entre los puntos de Mesa de la hierba y Cedeño para la conducción de la captación Cofre de Perote.

El último aforo sobre esta conducción se realizó en la llegada al tanque zona alta. En este sitio se intentó instalar el medidor ultrasónico portátil sin éxito de obtener registros confiables de gasto. Se optó por verificar el caudal de llegada al tanque por medio de la diferencia de volumen ingresado al tanque para un tiempo específico. El resultado obtenido luego de tres repeticiones del mismo procedimiento nos indica que el volumen ingresado al tanque para un tiempo específico fue de 260 l/s.

Con base en lo anterior se obtiene que de los 284 l/s aforados en Mesa de la Hierba 24 l/s no lleguen a su destino final que es el tanque zona alta. Esta observación es debe en gran medida a que la línea de conducción pasa por la ciudad y es altamente probable que haya conexiones a lo largo de su trayectoria. Este tipo de pérdidas son aparentes pues es muy probable que el destino de este volumen se agua sea el consumo. De esta forma la eficiencia para la conducción de la presa del Cofre de Perote es del 91.55%, es decir, el 8.45% se pierde a lo largo de la su trayectoria.

En el caso de este sistema se recomienda iniciar el monitoreo de los gastos producidos y conducidos y mejorar la calidad de la medición de volúmenes producidos, esto a través de la instalación de medidores en cada una de las captaciones, a lo largo de la conducción en sitios ya identificados como estratégicos y en la llegada al tanque zona alta. Es necesario llevar registros mensuales del comportamiento de los volúmenes captados a fin de poder establecer los indicadores de eficiencia y pérdidas en las conducciones, esto permitiría a la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), identificar problemas operativos en estos sistemas, así como identificar robo de agua a lo largo de las conducciones. Además de que con este tipo de control se podrá establecer los valores reales para el consumo en las redes de distribución.

### 3.1.1.3 El Castillo

La captación El Castillo, localizada en la parte este de la ciudad de Xalapa es la única captación que requiere de bombeo. El agua que se aprovecha de esta captación se bombea al rebombeo Las Aminas. La Figura 3.15 muestra el resultado del análisis de concordancia realizado al equipo de medición instalado en la captación. El equipo instalado es un medidor Azteca de turbina y la Figura 3.16 muestra la instalación del medidor portátil para efectuar la verificación de concordancia de registros de gasto.

Los resultados mostrados en la Figura 3.15 indican que los registros del medidor Azteca tienen fuerte concordancia con los registros del medidor portátil tipo velocidad en tránsito empleado para dicho análisis, el rango de variación este entre los 22 y 28 l/s y las diferencias oscilan entre  $\pm 1.5$  l/s. Estos resultados permiten afirmar que los valores de gasto obtenidos son confiables y que el medidor permite cuantificar el volumen producido por esta fuente de manera confiable.

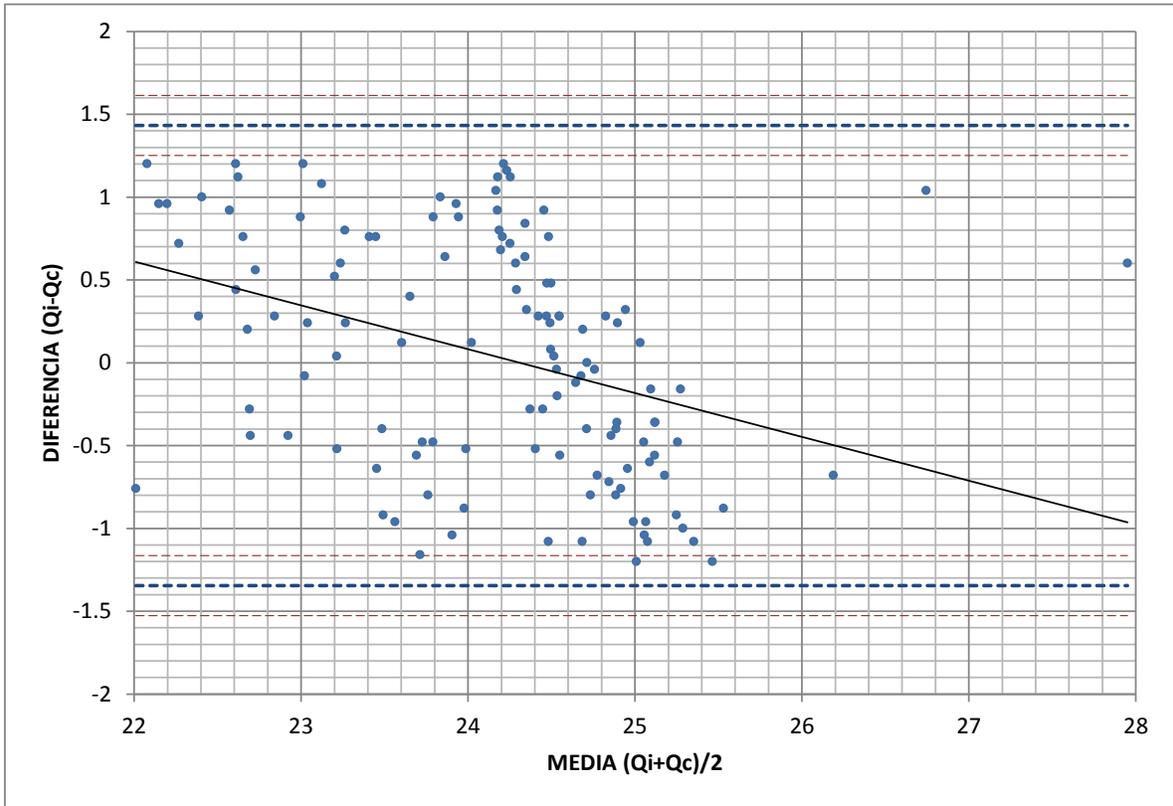


Figura 3.15. Verificación del medidor instalado en la captación El Castillo.

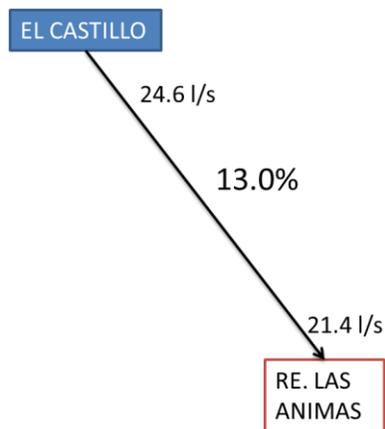




Figura 3.16. Instalación de medidor patrón para verificar el bombeo El Castillo.

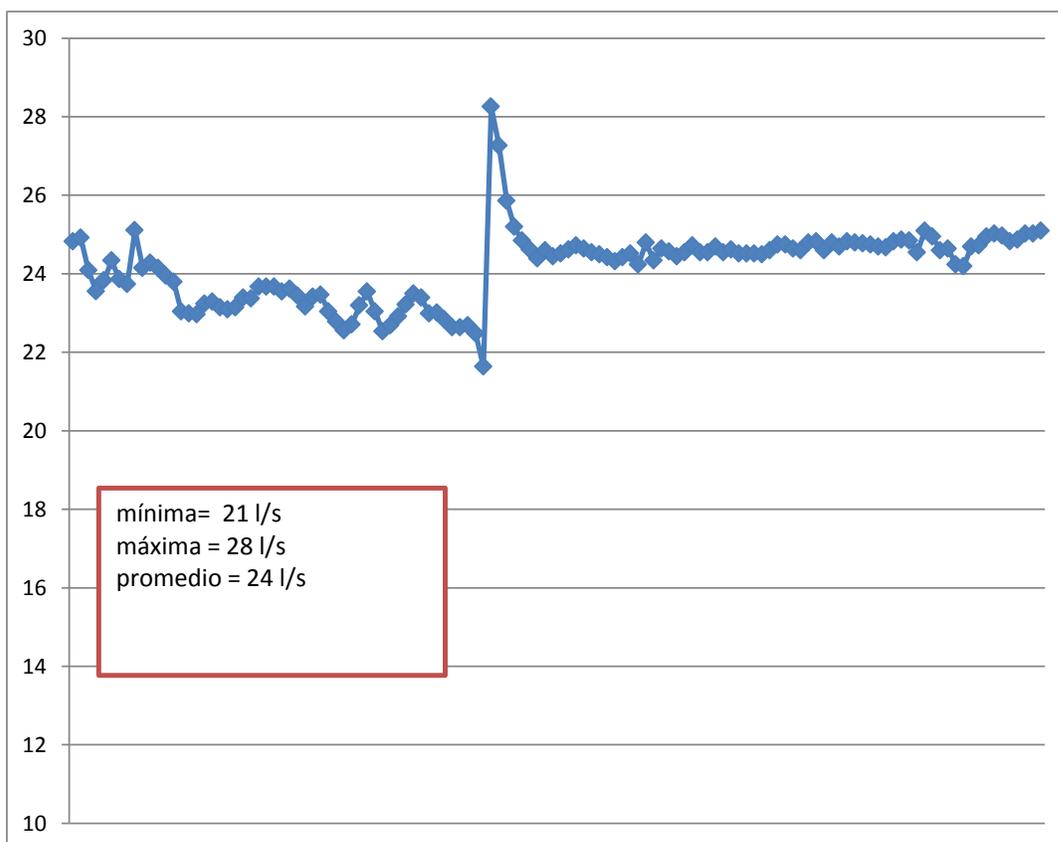


Figura 3.17. Comportamiento del gasto en la captación El Castillo.

La gráfica en la Figura 3.17 refleja la variación del gasto observada a lo largo del periodo de evaluación. Como se aprecia la variación es ligera lo que permite suponer que esta captación pudiera ser considerada en la fase de diseño de distritos hidrométricos como una alternativa

viable para el suministro de agua a una zona de influencia específica definida por la cobertura que pudiese satisfacer el gasto producido medio de 24 l/s.

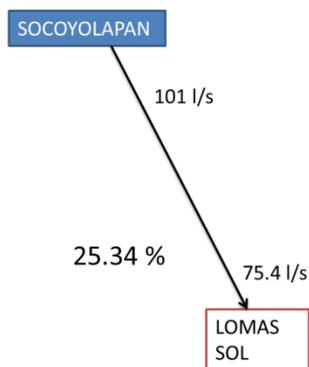
El caudal entregado por esta captación en el tanque de rebombeo Las Animas no fue posible aforarlo dada la complejidad que implicaba instalar un medidor debido a las condiciones de configuración de las líneas de llenado del tanque. Se realizó la cuantificación del gasto a través de cuantificar el volumen de agua que ingresa al tanque en un tiempo determinado. El resultado obtenido es que llegan al tanque de rebombeo Las Animas un caudal de agua igual a 21 l/s.

La eficiencia de la conducción en la captación El Castillo – Las Animas es entonces del 87%, es decir aproximadamente 13% del agua que se bombea al tanque Las Animas no llega a su destino final. Dadas las condiciones de trayectoria de la línea de conducción que atraviesa zona poblada en desarrollo, es muy probable que las pérdidas identificadas sean ocasionadas por extracciones no controladas a lo largo de la línea de conducción de agua.

En este sistema se sugiere recorrer la línea de conducción tratando de identificar las conexiones existentes y determinar los usuarios que hacen uso clandestino del agua. Esto acompañado de la actualización del padrón de usuarios en la zona a fin de poder identificar usuarios sin servicio contratado pero que gozan de los beneficios del robe del agua.

#### 3.1.1.4 Socoyolapan

Al sistema que aprovecha el agua de la Presa de Socoyolapan se muestra en la Figura siguiente. Esta captación lleva el agua hasta el tanque Lomas Sol conducida por gravedad.



El resultado del análisis de concordancia se muestra en la gráfica de la Figura 3.18. Se aprecia que el medidor instalado tiende a sub medir, es decir la cantidad de agua que en realidad pasa por el medidor es superior a la registrada, esto considerando como parámetro de referencia el medidor patrón empleado para la verificación.

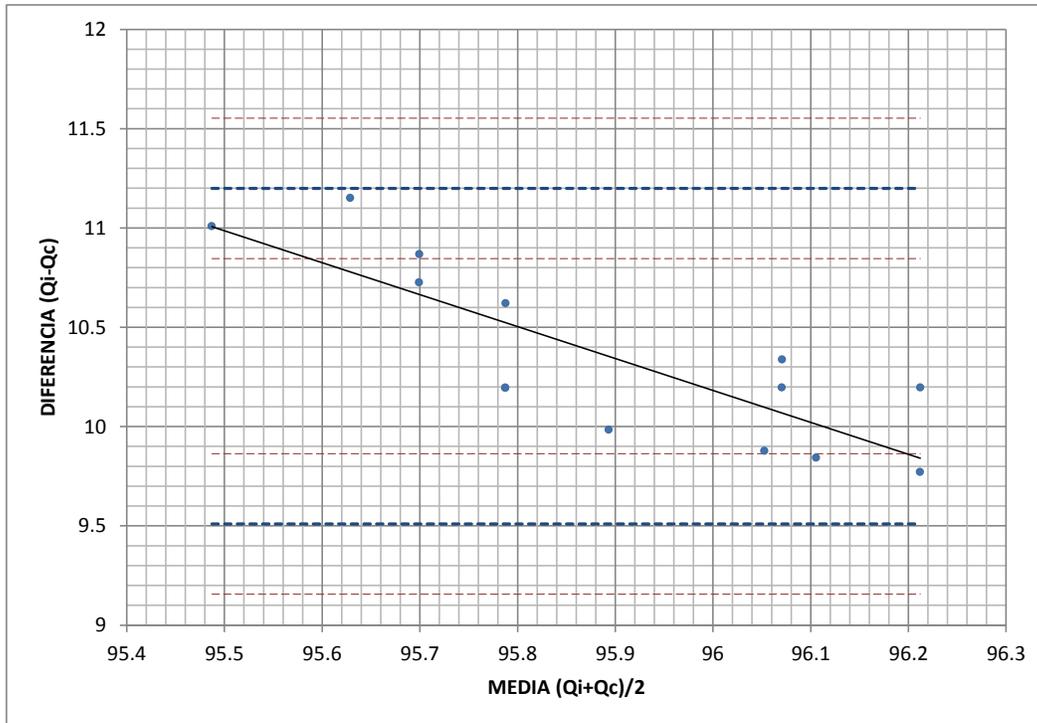


Figura 3.18. Verificación del medidor instalado en la captación de la Presa de Socoyolapan.



Figura 3.19. Medidor instalado en la presa de Socoyolapan.

Sin embargo los mismos resultados nos permiten verificar que el rango de variación de los gastos es reducido y está entre los 95.5 y los 96.2 l/s, lo cual es benéfico para el medidor. El intervalo de confianza oscila entre 9.5 y 11.2 l/s y la totalidad de los registros caen dentro de este rango.

Con los resultados anteriores podemos considerar una corrección al gasto registrado con una magnitud del 10 l/s que es el tamaño del sesgo encontrado para este medidor y es de submedición.

Por el lado de la entrega en la llegada al tanque Lomas Sol se instaló un medidor para verificar el comportamiento del gasto de llegada al tanque, la instalación realizada se muestra en la fotografía de la Figura 3.20.



Figura 3.20. Llegada al tanque Lomas Sol.

Los registros obtenidos se presentan en la Figura 3.21. El gasto promedio de llegada es de 75.4 l/s que comprado con los 101 l/s de gasto medio medido en la captación de la presa de Socoyolapan hace que la eficiencia de la conducción sea del orden del 89.7%, es decir del orden del 105 se pierde a lo largo de la trayectoria de la tubería.

De la misma forma que en el sistema El Castillo, la conducción pasa por zona urbana lo que incrementa la probabilidad de que exista robo de agua a lo largo del recorrido de la tubería.

En este sistema se sugiere recorrer la línea de conducción tratando de identificar las conexiones existentes y determinar los usuarios que hacen uso clandestino del agua. Esto acompañado de la actualización del padrón de usuarios en la zona a fin de poder identificar usuarios sin servicio contratado pero que gozan de los beneficios del robe del agua.

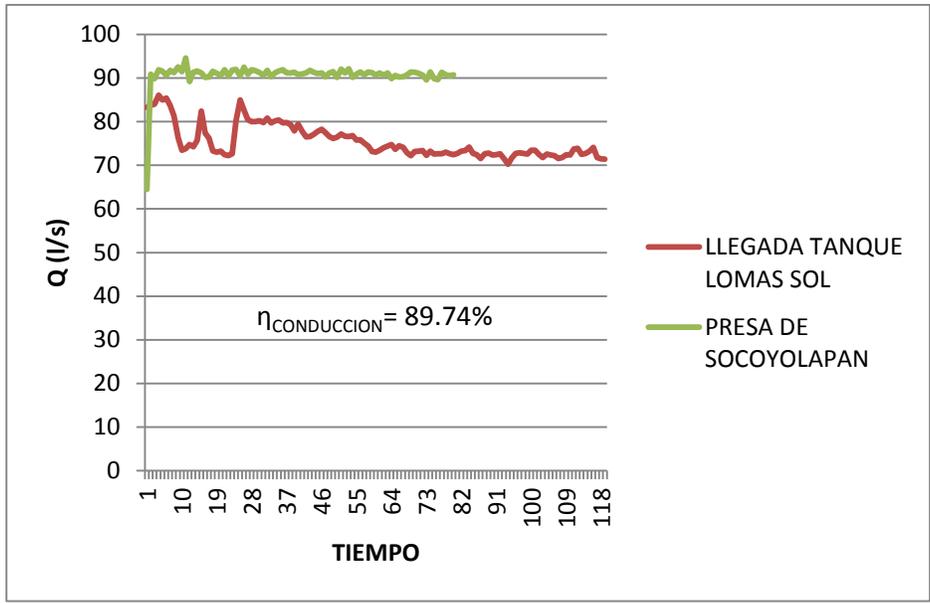
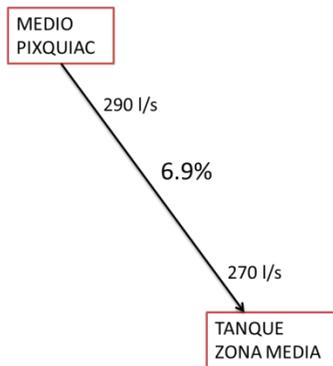


Figura 3.21. Aforo en la llegada al tanque Lomas Sol.

### 3.1.1.5 Pixquiac Medio

El sistema Pixquiac medio entrega agua a través de dos líneas de conducción que se alimentan de dos canales existentes en la captación, tal y como se muestra en las fotografías de las Figura 3.22 y Figura 3.23.





**Figura 3.22. Canales en la captación del Pixquiac Medio.**



**Figura 3.23. Conducciones en el Pixquiac Medio.**

La verificación del gasto circulante no fue posible sobre las tuberías, esto debido a que el material de construcción es asbesto cemento y fue complicado lograr una buena calidad de medición, lo que llevó a emplear un perfilador acústico tipo molinete electrónico para el aforo de velocidad directamente en los dos canales existentes.

Existe un medidor tipo inserción instalado en una de las tuberías y que se encuentra fuera de operación. Aun si el medidor funcionará, la cuantificación de la producción sería deficiente pues son dos las conducciones y una de ellas se deja de cuantificar.

El resultado del aforo permitió obtener el gasto medio de 290 l/s para la totalidad del agua que se extrae de este sistema. El valor medio se logra obtener tras realizar 10 repeticiones del aforo con

el perfilador sobre cada uno de los canales, y luego sumar los valores medios obtenidos para cada uno de ellos.



Figura 3.24. Aforo antes de la llegada al tanque zona media.

El agua que se capta en el río Pixquiac medio se conduce hasta el tanque Zona Media. La llegada no cuenta con medidor instalado y es imposible determinar el valor del agua que llega solo del Pixquiac medio pues antes de llegar al tanque se mezcla con el agua proveniente del tanque zona alta. Bajo estas condiciones se buscó el sitio más apropiado para realizar el aforo, resultando como mejor opción el paso de la línea de conducción justo frente a la planta potabilizadora de la ciudad de Xalapa. La fotografía incluida en la Figura 3.24 muestra la ubicación del sitio de aforo.

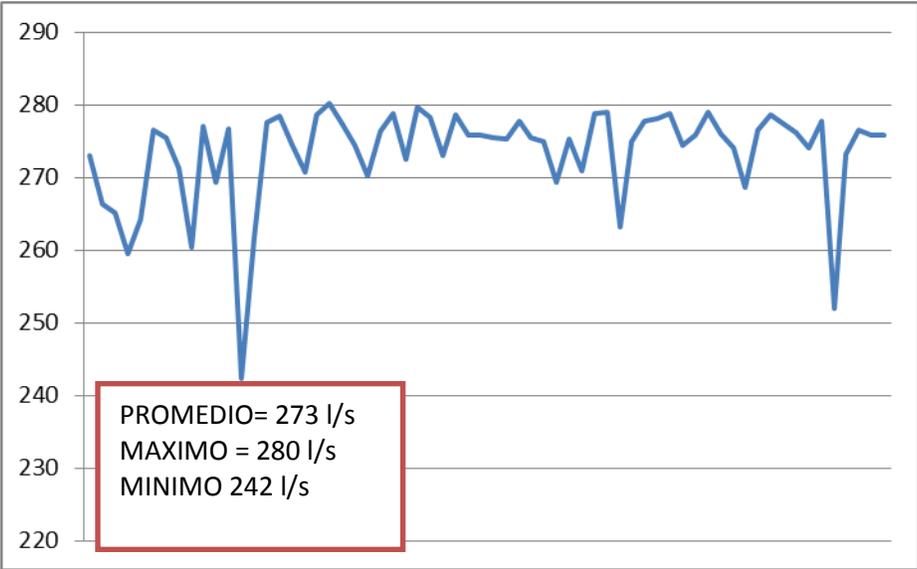


Figura 3.25. Aforo antes de la llegada de la conducción al tanque zona media.

El comportamiento del gasto a lo largo del tiempo se muestra en la Figura 3.25. El gasto promedio medido fue de 273 l/s, al no contar con medición a la llegada al tanque se considera este valor como determinante en la eficiencia de conducción y para el diseño de los sectores hidrométricos.

Con base en lo anterior resulta entonces que la eficiencia de la conducción es del 93.4% quedándose en el camino de la trayectoria de la conducción 6.9% del volumen captado en esta conducción.

Para este sistema se recomienda incrementar la medición instalando medidores en las dos tuberías existentes en la captación o en los dos canales. Además se requiere instrumentar la llegada al tanque zona media a fin de poder identificar fallas en el sistema de conducción.

### 3.1.2 Conclusiones sobre la producción de agua

Los cinco sistemas que explota la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) producen un total de 1,832.6 l/s, de los cuales solo 1,759.8 l/s llegan a los tanques de rebombeo y almacenamiento que administra la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS). Esto implica pérdidas del orden del 4% del total del agua producida. Se presume que las pérdidas son aparentes y corresponden a robo de agua o usuarios no registrados para la CMAS. Lo anterior debido a que los sistemas con mayores pérdidas corresponden a aquellos cuya trayectoria pasa por zonas urbanas.

Se identifica que la medición de la producción es deficiente y que los registros no se llevan de manera sistemática. Es necesario que la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), instale medidores en la totalidad de sus captaciones y en las llegadas a los tanques, esto con la finalidad de poder monitorear de manera confiable la cantidad de agua con la que realmente se dispone para el abasto de la ciudad. En términos de procedimientos es urgente el uso de indicadores de desempeño para las captaciones y las conducciones a fin de contar con información veraz para la toma de decisiones. Si bien es cierto el agua es abundante en la región de Xalapa, también es cierto que para la población que habita la ciudad de acuerdo a los resultados del censo de población 2010 del INEGI la producción cuantificada es por mucho superior a lo que se considera como dotación normativa en el sector. La dotación resultante para la ciudad de Xalapa es del orden de los 347 l/hab-día, lo que permite suponer baja eficiencia del sistema.

Resta analizar el comportamiento del consumo para identificar las causas de las pérdidas potenciales en el sistema.

## 4 VERIFICACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN EL SISTEMA DE ABASTO PARA LA CMAS XALAPA, VER

### 4.1 Consumo

El objetivo de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), es la producción de agua potable para abastecer a la población en la ciudad de Xalapa. Esto se logra a través de la operación de redes de distribución conformadas por tuberías de diversos diámetros y materiales, acopladas entre si a los tanques de regulación o a directamente a las líneas de conducción. El total de elementos que conforman las redes se controla mediante accesorios que permiten controlar el flujo y la presión, satisfaciendo los requerimientos de servicio tanto en calidad como en cantidad a los usuarios.

De esta forma la CMAS busca identificar las condiciones y características con las que presta el servicio y la forma como el servicio ofertado se refleja en consumo de los usuarios. Toda vez que el consumo representa ingresos para la CMAS, es la intención de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) CMAS conocer el nivel de pérdidas que representa las deficiencias potenciales y sus causas en la sección comercial.

Este informe presenta los resultados obtenidos tras la verificación de las componentes que permiten evaluar la calidad en la cuantificación de consumos a nivel conexión de servicio. Para tal efecto se realizaron los siguientes trabajos enfocados a determinar la calidad de los registros manejados por la CMAS para el cobro del servicio:

1. Verificación de error en medidores de servicio
2. Verificación de los procesos de lectura de consumo en medidores
3. Consistencia en el padrón de usuarios de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS).

De tal forma que el contenido de este informe son los resultados obtenidos para cada uno de los rubros en los estudios realizados, iniciando con una descripción de los procedimientos empleados para cada uno de los estudios referidos.

#### 4.1.1 Verificación de errores en medidores de servicio

El número total de conexiones en el padrón de usuarios de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), a septiembre del 2012 era de 133,020, de las cuales solo dos de ellas carecían de medidor instalado, todo esto con base en la información proporcionada por la CMAS. Lo anterior implica que el 100% del consumo ocurrido en la Comisión es medido.

Partiendo del hecho de que la cobertura de medición es total en la ciudad de Jalapa, es posible suponer que la cuantificación de consumos pudiera ser confiable pues los consumos que son estimados se reducen a solo dos usuarios de tipo doméstico por lo que el error que pudiera existir relacionado a la mala estimación es mínimo y de muy bajo impacto en los valores de consumo globales para la Comisión.

Con base en el hecho de que las coberturas de medición son elevadas y que los resultados de la verificación de los procesos de lectura de medidores y captura de los datos de consumo no presentan problemas evidentes, pareciera que los valores bajos de eficiencia física se debe principalmente a pérdidas reales en las redes de distribución y conexiones domésticas, es decir, el problema no es comercial. Sin embargo y con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento de los medidores instalados, es decir, la garantía de que los aparatos instalados cuantifiquen adecuadamente los consumos reales de los usuarios, se verificó un total de 25 medidores domésticos de ½ plg de diámetro nominal y tres medidores no domésticos con diámetro nominal superior a 1 plg.

Se establece entonces como medio de verificación el establecimiento de un tamaño de muestra suficientemente grande que garantice un error no mayor al 5% y un nivel de confianza del 95%. Se determina que para 400 elementos en la muestra el nivel de confianza se vuelve asintótico y variaciones del tamaño de la muestra no representarán mejoras en el valor de confiabilidad.

Con la finalidad de garantizar la completa aleatoriedad en la selección de los elementos en la muestra se realizó una distribución de los elementos a verificar proporcional al número de conexiones para cada uno de los sectores en la ciudad. Bajo este criterio se define el número máximo de medidores por zonas definidas dentro de los sectores, buscando satisfacer el total de medidores a verificar para todo el sector. No existe en el proceso de selección una búsqueda específica de medidores, se recorren las calles en las zonas definidas y se seleccionan medidores de manera arbitraria y sin criterio específico, solo se define que el medidor corresponda a un predio donde haya evidencia de servicio. Una vez seleccionado un medidor, se levanta la totalidad de la información relativa a la cuenta correspondiente y se aplican los procedimientos descritos a continuación. La información recopilada de la cuenta se emplea para verificar la consistencia del padrón de usuarios, tema que se describe en secciones subsecuentes en este informe.

#### 4.1.2 Procedimiento de verificación

Con la finalidad de calcular el error inducido por los medidores de volumen instalados a nivel domiciliario, se diseñó un método de evaluación que permite verificar la desviación de lecturas de consumo respecto a una medida patrón calibrado. La metodología diseñada permite conocer el comportamiento de los medidores bajo condiciones de operación reales, partiendo de la premisa de que las condiciones de operación e instalación de los medidores influyen en la calidad de medición.

La metodología se aplica sobre la gama de caudales de funcionamiento de los medidores, la cual está acotada por la presión de operación y el diámetro de las conexiones de servicio. Se establecen dos puntos de verificación, el primero considera el 100% del gasto circulante para la presión a la que opera la conexión, que denominamos gasto total; y un último punto sobre el 4% del gato total buscando localizar el gasto por debajo del gasto de transición.

Como unidad de verificación se utiliza una medida volumétrica que cumple con las especificaciones normadas en la norma NMX-CH-49 *“Instrumentos de medición-medidas*

volumétricas metálicas para líquidos-métodos de calibración”. La comparación se establece a partir del caudal circulante por el medidor aforado a través de la medida volumétrica referida.

Se establece como medida de verificación la repetición de los aforos para los medidores instalados en dos ocasiones, tratando de corroborar la legitimidad de las pruebas realizadas.

#### 4.1.3 Equipo y material requerido

Para completar el procedimiento planteado se requiere del siguiente equipo y material:

Probador de medidores portátil: Equipo portátil de verificación de exactitud de medidores (ver Figura 4.12.1). Este equipo consta de un manómetro, un medidor volumétrico clase metrológica C con un exactitud igual a  $\pm 1.5\%$  sobre el rango que va del  $\frac{1}{2}$  GPM a 25 GPM aplicable a conexiones de  $\frac{1}{2}$  pulg. De diámetro y hasta 2 plg. De diámetro. La característica fundamental del medidor instalado en el probador portátil es el registrador electrónico digital con capacidad de desplegar el gasto instantáneo circulante por el medidor y al volumen acumulado para el gasto circulante por el medidor. Esta característica nos permite ajustar el gasto de prueba a los valores descritos en la primera sección.



Figura 4.1. Probador portátil de medidores.

El probador portátil consta además de dos válvulas una de compuerta para el ajuste del caudal circulante deseado para la ejecución de la verificación y una de bola para el cierre y apertura rápido del flujo por el medidor, ver Figura 4.1.

Medida volumétrica calibrada: Medida volumétrica de cuello largo como la mostrada en la Figura 4.2. La capacidad de la medida empleada es de 20 litros y la división de la mirilla de lectura instalada en el cuello de lectura es de 10 ml, lo que permite errores máximos de lectura de 10 ml, es decir 0.05%. El material de construcción es de acero inoxidable lo que evita la deformación por la fuerza hidrostática del fluido contenido, en apego a las dimensiones y consideraciones normadas en la NMX-CH-49.

La calibración de la medida volumétrica se realiza en apego al procedimiento IBSI-PC-001 “procedimiento para la calibración de medidas volumétricas por métodos gravimétricos partes 1 y

2". El uso de la medida volumétrica es como medida patrón, es decir, se toma como base del error influenciado por el medidor verificado.

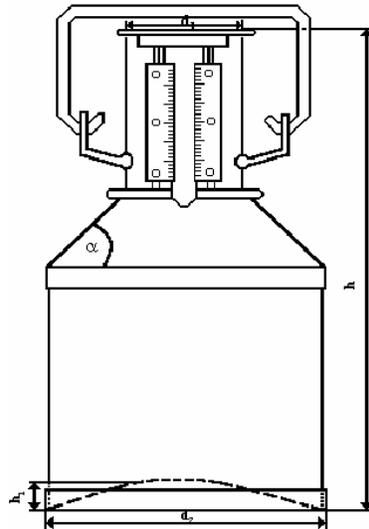


Figura 4.2. Medida volumétrica calibrada.

Se requiere además:

**Cronómetro:** Para cuantificar el tiempo de llenado de la medida volumétrica, mismo que servirá para calcular el gasto real de la prueba obtenido a través del cociente del volumen medido entre el tiempo.

**Nivel de gota:** para asegurar que la lectura del volumen captado en la medida volumétrica se hace de manera adecuada, estableciendo que el borde superior de la medida volumétrica deberá estar nivelada.

**Formato de anotación** (ver Figura 4.3): Contempla las variables que se deberán recopilar a lo largo de la ejecución de la prueba de verificación de medidores.

MARCA:			CALLE:			DISTRITO:		
NO SERIE:			NUMERO:					
CUENTA:			DIAMETRO:					

TIEMPO		LECTURA MEDIDOR T		PRESION DE PRUEBA		DIFERENCIA	VOLUMEN	GASTO DE PRUEBA	%	% ERROR	% ERROR
MIN	SEG	INICIAL (m <sup>3</sup> )	FINAL (m <sup>3</sup> )	INICIAL (PSI)	FINAL (PSI)	IED. No. T (Litros)	PATRON (Litros)	REAL (lts/hr)	Q	NOM-012-SCF094	CALCULADO

OBSERVACIONES:			ELABORÓ:		
			VsBo:		
			FECHA Y HORA:		

Figura 4.3. Formato de levantamiento de información de verificación de medidores domiciliarios.

#### 4.1.4 Procedimiento

El procedimiento que se sigue para la ejecución de las verificaciones de medidores domiciliarios tiene por objetivos:

- a) determinar el volumen medido por la medida volumétrica patrón y el medidor verificado (instalado en el domicilio), y con ellos establecer una comparación;
- b) determinar el gasto de funcionamiento de los medidores dadas las condiciones de operación, con ello se pretende verificar la posición del gasto de operación en la gama de validez de los medidores instalados de acuerdo a su tipo y clase metrológica, y;
- c) verificar las condiciones de instalación de los medidores.

#### 4.1.5 Visita a predios seleccionados en la muestra.

En apego a las rutas de verificación diseñadas se visitan los predios. Al llegar a cada uno de los predios se verifica que la información de localización del medidor sea la adecuada, es decir calle, colonia, número. Se verifica además el número de serie del medidor y la marca, información conformada en el padrón de usuarios. El formato de verificación mostrado en la Figura 4.3 contiene los campos *Marca, No. De serie, Calle, Número, Diámetro*; en los cuales el lectorista anota los valores observados en sitio. El campo *Cuenta*, del mismo formato se llena con la información contenida en el padrón de usuarios de los listados que se le proporcionan para el seguimiento de la actividad. Cualquier discrepancia en los valores concentrados en el padrón de usuarios con los observados en sitio se anota al margen de las observaciones.

En las observaciones se incluyen además las condiciones de instalación de medidores no aceptables de acuerdo con los criterios definidos para la instalación de medidores domésticos y a situaciones que puedan obstaculizar la lectura o buen funcionamiento de los medidores.

Levantada la información general del sitio, se procede a determinar el volumen aforado por el medidor verificado y la de la medida volumétrica de verificación, en apego a los criterios descritos en la sección siguiente.

#### 4.1.6 Aforo de volúmenes

La verificación consiste en comparar dos volúmenes, uno determinado por el medidor verificado, es decir, el medidor instalado por la Junta y que emplea en su proceso de facturación, y el segundo un medidor testigo para el cual se conoce su precisión. El segundo es la referencia sobre la cual se determina un error de medición o cuantificación de volúmenes del medidor verificado.

La forma cómo es posible dicha cuantificación se basa en el empleo de los componentes descritos en la sección de Equipo y materiales de este informe y que se configuran como se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4. Configuración de equipo de prueba de medidores domiciliarios.

De la Figura 4.4 se aprecia a la izquierda el medidor verificado, conectado con mangueras flexibles al equipo probador portátil (localizado al centro de la figura), que a su vez se conecta con la medida volumétrica calibrada, que como se indicó previamente es el medidor testigo o medidor de verificación.

La prueba inicia con la apertura de la llave de paso al 100%, lo que permite que el total del flujo que puede pasar por la conexión y por el medidor verificado, dadas las condiciones de presión, pase. Este flujo se registra en la carátula del medidor instalado en el equipo probador portátil, se registra su valor en la hoja de levantamiento de bajo el cuadro de gasto de prueba real para la primera prueba. Se toma también el valor de la presión de suministro en la conexión como presión inicial de la primera prueba en su primera repetición.

Identificados estos dos parámetros iniciales, se registra en la hoja de levantamiento la lectura del medidor verificado en el campo correspondiente a la lectura inicial del medidor verificado. La medida volumétrica testigo deberá en este momento estar humedecida, requisito básico para el desarrollo de las verificaciones, y conectada con la manguera de salida del equipo portátil de verificación. El cronómetro se deberá iniciar en cero y el operador de la prueba deberá estar listo para la apertura súbita de la válvula de bola instalada en el equipo portátil de prueba de medidores.

En el instante en que el operador abre de manera súbita la llave de bola, se inicia el conteo del tipo. El final lo determina el llenado de la medida volumétrica. Al momento en que el nivel del agua en el cuello graduado de la medida testigo llega a los 20 l, se cierra de forma súbita la llave de bola y se detiene el cronómetro. En caso de que el volumen contenido en la medida volumétrica sea menor o mayor a los rangos de lectura de la gradación del cuello de la medida, entonces es necesario repetir la prueba realizada a partir de la anotación de la lectura inicial del medidor verificado la cual por obvias razones se alteró.

Completada la prueba se anotan los valores resultantes para la lectura final del medidor verificado y del volumen contenido en la medida volumétrica, así como el tiempo de desarrollo de la prueba y la presión final. Es importante tener en cuenta que la lectura del volumen en la medida volumétrica debe hacerse con la vista al mismo nivel de la graduación y cuidando que la base sea completamente horizontal, lo cual se verifica a través del uso de un nivel de gota.

Completadas las dos repeticiones para el 100% del gasto se ajusta la válvula de compuerta en el probador portátil de medidores para lograr un gasto igual al 4% del mismo, medido en la carátula digital del medidor instalado en el probador portátil. El proceso de prueba se repite por completo a partir de la toma de lectura del medidor verificado, cuidando que los requerimientos para cada uno de los elementos incluidos en la prueba se cumplan a plenitud.

Completadas las repeticiones para cada uno de los gastos se conecta el medidor verificado al servicio del domicilio y se procede al visitar el predio siguiente en la ruta de verificación. Para todos los predios en la ruta se realiza el mismo trabajo de verificación. Las Figuras siguientes buscan ilustrar el proceso de verificación.



Figura 4.5. Nivelación de la medida volumétrica.



Figura 4.6. Probador portátil de medidores.



Figura 4.7. Medida volumétrica graduada para flujos bajos



Figura 4.8. Configuración general.

#### 4.1.7 Resultados

Como resultado de la evaluación de los medidores domésticos seleccionados se encontró que la totalidad de los medidores revisados con de tipo velocidad y bajo el principio de funcionamiento conocido como chorro múltiple, clase metrológica B, con designación N 1.5, que implica que el gasto de sobrecarga  $Q_s$  será igual a 3,000 l/h, todo esto con base en la NOM-012-SCFI-1994. De esta forma y con base en la misma norma, el valor de gasto mínimo  $Q_{min}$  será igual a 30 l/h y el gasto de transición,  $Q_t$  igual a 120 l/h. Esta es la denominación de medidores de mayor incidencia en la ciudad de Xalapa.

Existe también una población importante de medidores clase metrológica C, para estos casos el gasto de sobre carga,  $Q_s$ , es también igual a los 3,000 l/h, sin embargo, el  $Q_{min}$  es igual a los 22.5 l/h y el  $Q_t$  oscila entre los 20 l/h.

Los valores descritos anteriormente nos definen las franjas de error máximo permisible de acuerdo a la normatividad aplicable, misma que define que el error máximo permisible en el rango inferior, el que se define inicial en  $Q_{min}$  y terminal en  $Q_t$ , no debe ser superior a  $\pm 5\%$ ; y para el rango superior, el definido iniciando en  $Q_t$  y finalizando en  $Q_s$ , no deberá ser superior al  $\pm 2\%$ . Lo anterior se muestra en la gráfica de la Figura 4.9 para las tres clases metrológicas más comunes.

Por otro lado, el error al que se hace referencia se calcula empleando la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{V_m - V_p}{V_p} \times 100;$$

Donde:  $V_m$  es el volumen aforado con el medidor verificado;

$V_p$  es el volumen aforado con el medidor patrón, en este caso la jarra de cuello graduado;

$\varepsilon$  es el error en porcentaje.

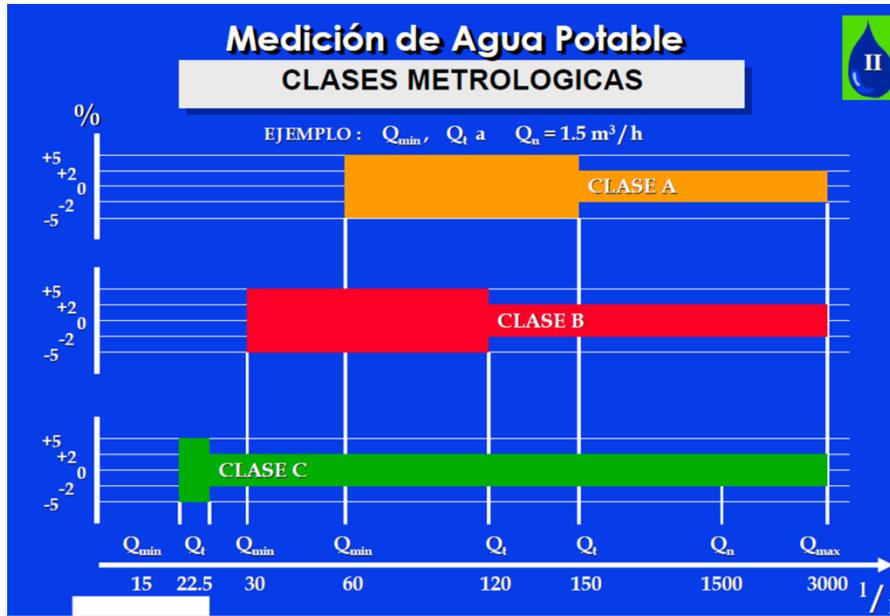


Figura 4.9. Rango metrologico de medidores de agua fría.

Con base en lo anteriormente expuesto, y considerando los resultados de verificación de volúmenes aforados presentada en la sección anterior de este informe, que en conjunto permitirán verificar la calidad de la medición instalada se presenta el análisis de errores inducidos por los aparatos de medición para cada una de las marcas de medidores instaladas en la ciudad de Xalapa.

#### 4.1.8 Azteca

Los resultados para los medidores de marca Azteca instalados en la ciudad de Xalapa se muestran en la gráfica de la Figura 4.10.

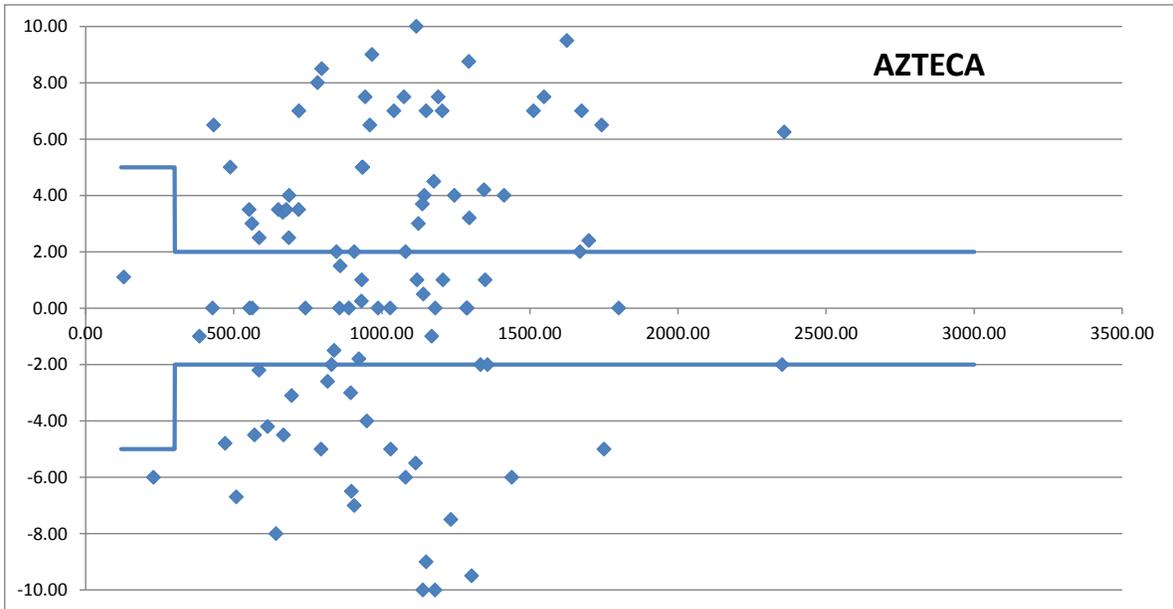


Figura 4.10. Resultados para medidores Azteca en el rango superior.

La gráfica anterior muestra los resultados para un total de 123 pruebas realizadas para el gasto a llave completamente abierta. Los puntos sobre la gráfica representan el error o desviación que presenta el medidor para cada uno de los dos gastos verificados. Las líneas sólidas representan el error máximo admisible para el tipo de medidos instalado, se considera en esta gráfica que la totalidad de los medidores son te clase A, que es el caso más general. Para este gasto el 71% de las pruebas realizadas arrojan que el error inferido por el medidor es superior al admisible, de acuerdo con el criterio emitido en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCFI-1994. El resto, 29% si cumple con los errores normados.

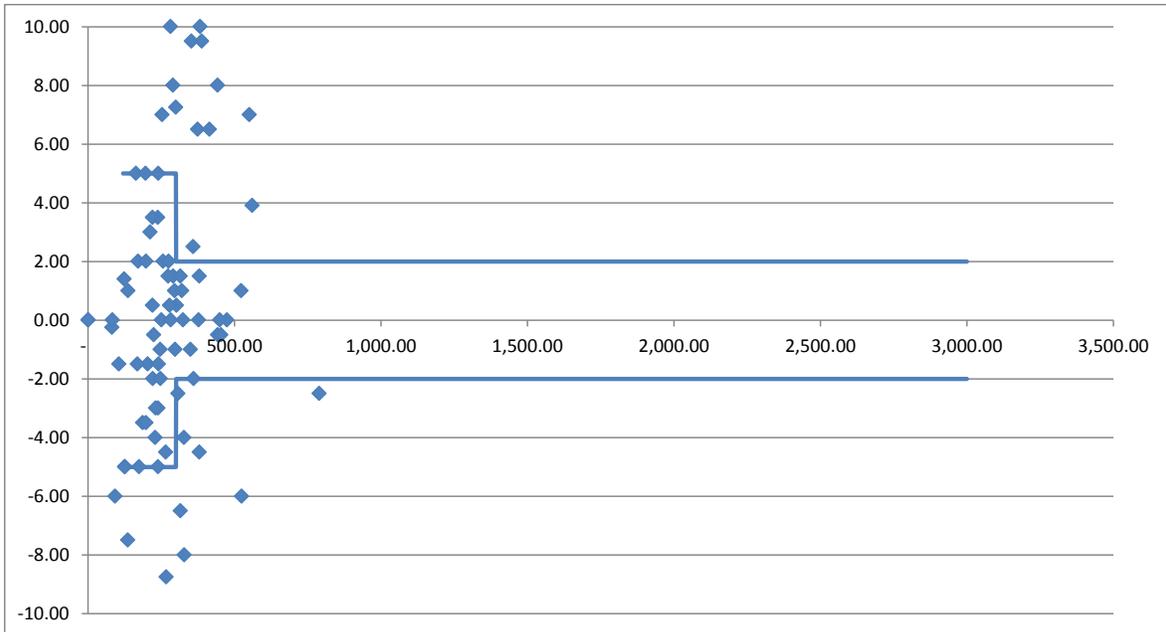


Figura 4.11. Resultados para medidores azteca en el rango inferior.

La gráfica de la Figura 4.11 presenta el análisis realizado para la misma muestra de medidores, solo que en este caso corresponde a las verificaciones realizadas con gastos en el la parte inferior del rango de aplicación de los medidores. En estos casos, el 67% de las pruebas realizadas arrojan que los medidores no cumplen con la normatividad en el tema de los errores máximos admisibles.

#### 4.1.8.1 Dorot

Los resultados de la verificación de medidores de marca Dorot arrojan los resultados presentados en la gráfica de la Figura 4.12 para el caso de los medidores verificados con gastos en el rango superior. El total de medidores verificados de esta marca es de 19 y los resultados para las pruebas en el rango superior indican que para el 56% de las pruebas realizadas el error obtenido esta fuera de los límites permitidos en la normatividad.

La Figura 4.13 corresponde a las pruebas en el rango inferior sobre la misma muestra de medidores. Los resultados obtenidos indican que del total de medidores verificados, el 50% resulta con errores que sobrepasan los límites permitidos de acuerdo a la normatividad aplicable.

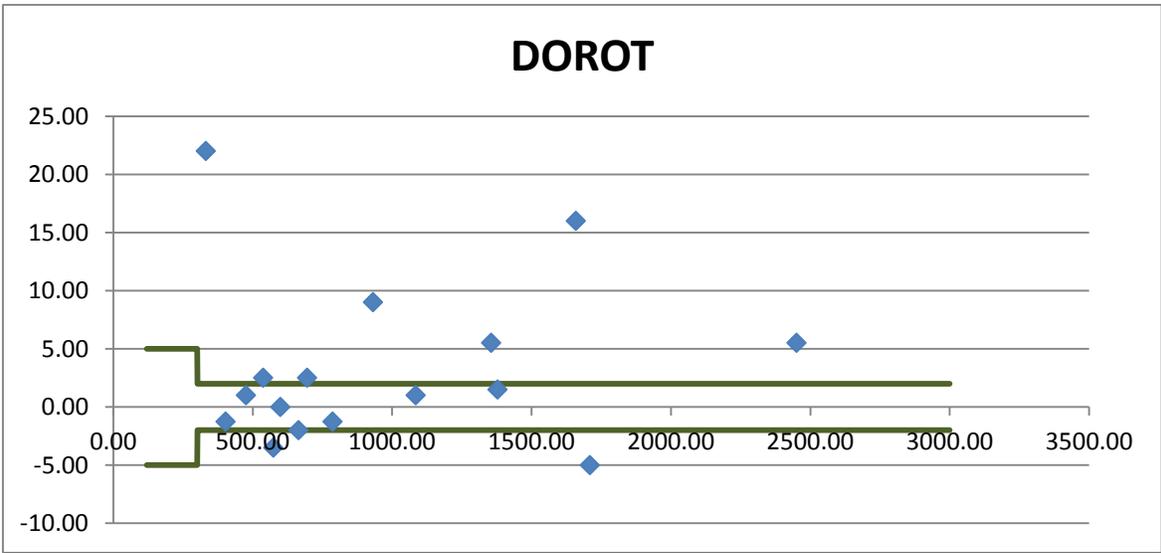


Figura 4.12. Resultados de la verificación de medidores marca Dorot en el rango superior.

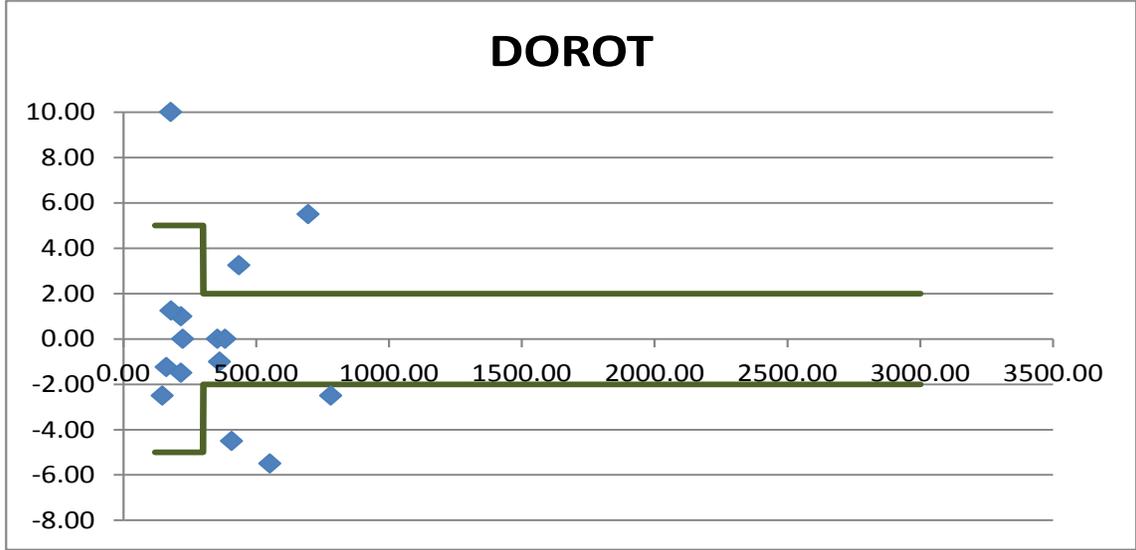


Figura 4.13. Resultados de la verificación de medidores marca Dorot en el rango inferior.

4.1.8.2 Cicasa

Los medidores de marca Cicasa representan el 41% de los medidores en la muestra y debido a la forma de conformación de la misma esta representatividad debe ser muy aproximada a la de la totalidad de medidores instalados en la ciudad. Es pues la marca con mayor incidencia en la totalidad de medidores instalados en las conexiones de servicio de la ciudad de Xalapa Ver.

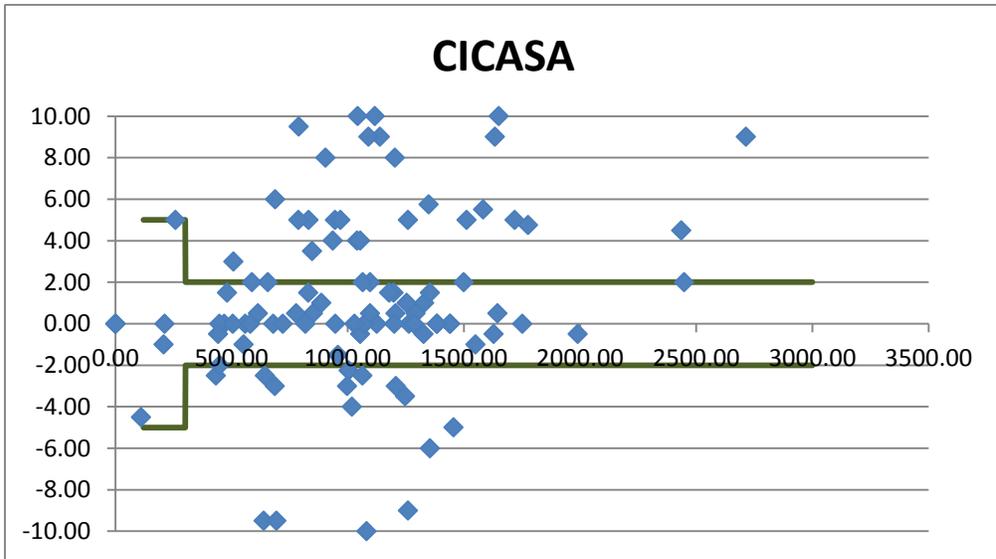


Figura 4.14. Resultados de la verificación de medidores de marca Cicasa con gastos en el rango superior.

La Figura 4.14 incluye la gráfica de errores calculados para cada uno de los medidores evaluados con gastos en el rango superior. El total de medidores de marca Cicasa verificados en la muestra fue igual a 163. El comportamiento del error de los medidores en la muestra para gastos ubicados en el rango superior se presenta en la Figura 4.14. El 53% de los medidores presentan errores superiores a los permitidos en la normatividad.

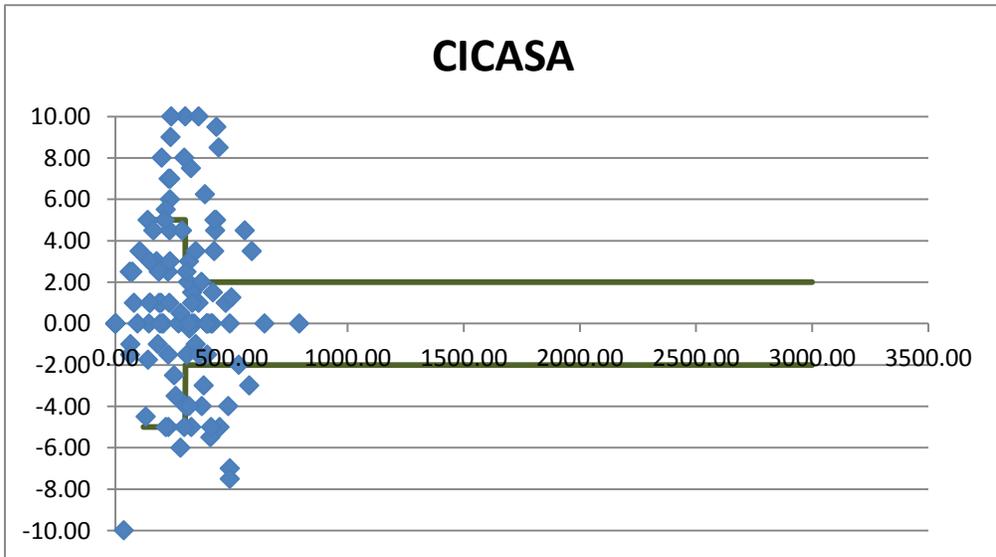


Figura 4.15. Resultados de la verificación de medidores marca Cicasa con gastos en el rango inferior.

Los resultados para los medidores de marca Cicasa en la misma muestra pero para gastos en el rango inferior, se muestran en la Figura 4.15. El comportamiento es similar, pues el 67% de los medidores presentan errores fuera del rango válido para este tipo de equipos de medición.

### 4.1.8.3 Elster

El caso de los medidores de marca Elster se revisó un total de 68 medidores instalados en conexiones de servicio a lo largo de la ciudad. Elster representa la tercera marca de mayor incidencia en la ciudad, luego de azteca, que es la segunda y cicasa que es la marca de mayor incidencia. Los resultados obtenidos los gastos empleados se muestran en la Figura 4.16, para los gastos en el rango superior y en la Figura 4.17 para los gastos en el rango inferior.

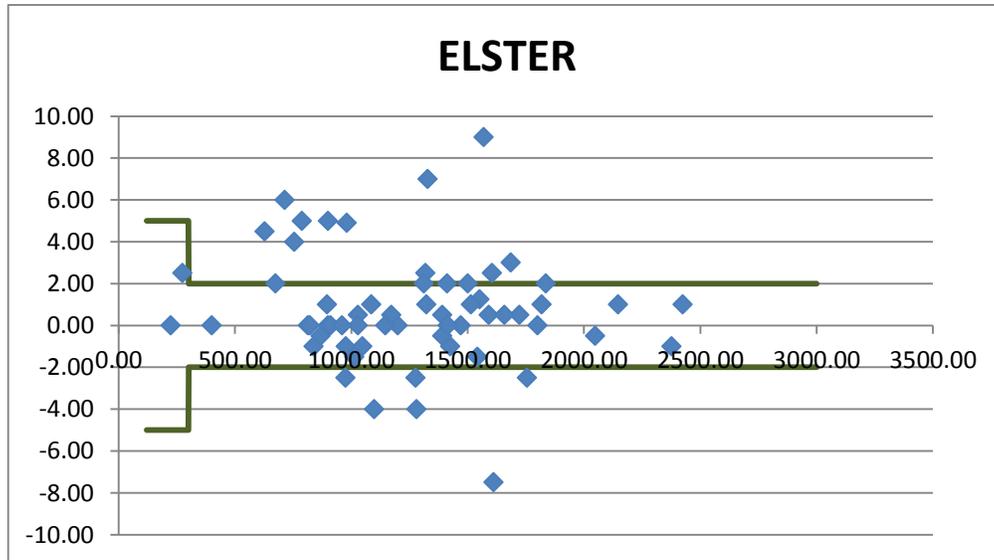


Figura 4.16. Resultados para medidores Elster en el rango superior.

El comportamiento de los medidores de esta marca es el que mejor obedece a los criterios de aceptación contenidos en la norma oficial mexicana que manifiesta los errores máximos permisibles para medidores de agua fría en conductos presurizados. En el caso de los errores en el rango superior, Figura 4.16, el porcentaje de medidores para los que su error esta fuera del rango permisible es del 40%, lo que implica que el 60% si satisface los criterios de error máximo para el tipo de medidores instalado. La proporción, a pesar de que es la única favorable al tratar con las marcas de medidores, no implica que corresponda con los valores de error aceptables para este tipo de medidores, por el contrario, no deja de ser un signo de alarma en lo relacionado a la cuantificación de consumos que merece contar con atención pronta.

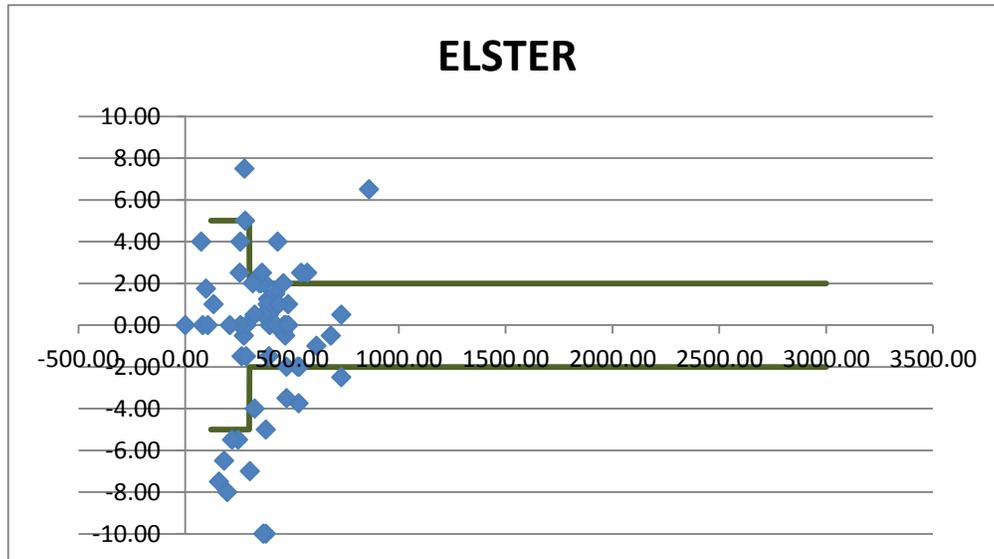


Figura 4.17. Resultados para medidores Elster en el rango inferior.

Los resultados de la evaluación en el rango inferior se muestran en la Figura 4.17. Para estos valores de gasto, la proporción de medidores cuyo error está dentro de los valores permitidos es igual al 51%, contra el complemento del 49% que no cumple, implica que los medidores funcionan inadecuadamente.

#### 4.1.9 Conclusiones

Con la finalidad de verificar la calidad de los registros que los medidores de consumo arrojan se realizó la evaluación de 401 medidores de consumo seleccionados aleatoriamente sobre la totalidad de los medidores instalados en la ciudad de Xalapa. Se verificó la desviación del volumen cuantificado por cada uno de los medidores respecto a un volumen cuantificado con una jarra de cuello graduado certificada con un error máximo en condiciones controladas. La desviación encontrada para cada medidor constituye el error en la cuantificación del volumen circulante para un tiempo específico. Con la finalidad de aplicar la normatividad vigente en lo relativo a los medidores de consumo, se aplicaron dos gastos diferentes para las pruebas, el primero un gasto a llave de paso completamente abierta, que dadas las condiciones de presión de operación diferencial existentes por la topografía de la ciudad de Xalapa hacen que las condiciones de entrega del agua en las zonas de la ciudad sean distintas, obteniendo el gasto máximo a entregar por las conexiones de servicio dadas las condiciones de operación particulares. Con el gasto máximo es posible verificar si los medidores instalados son adecuados para el gasto máximo a medir.

El segundo gasto empleado se busca este localizado en la zona identificada como rango inferior, es decir, la región en la que se localizan los gastos más pequeños. En este rango de gastos el error máximo admisible es de  $\pm 5\%$ , lo que implica que los medidores son más sensibles a fallas con gastos en este rango y en consecuencia las pérdidas pueden ser superiores para esta gama de gastos de agua circulante por los medidores.

Se realizó el análisis de los resultados y se presentaron los mismos agrupados por marcas, que a juicio de los expertos resulta más productivo que agruparlos por edad o zona de instalación. Lo anterior debido a la variabilidad espacial que existe en la ciudad, pues no es posible definir zonas en las que exista uniformidad en la presencia de marcas de medidores.

Otro aspecto importante que merece ser comentado es que la selección aleatoria de los medidores permitió también identificar fallas en el padrón de usuarios, usuarios inexistentes y estado de conservación del parque de medidores.

Como ya se comentó en las secciones de presentación de resultados por marca, no existe una marca que garantice registros de consumos confiables, pues los índices de falla son elevados. Una de las causas posibles que origina el deterioro de los medidores de gasto es que están sometidos a sobre elevaciones súbitas de presión, esto debido a los tandeos a los que se someten las redes y a valores elevados de presión pues existen zonas en las que la presión de servicio llega a valores por encima de los 14 kgf/cm<sup>2</sup>.

El anexo A contiene la totalidad de fichas de campo levantadas que son parte del producto de verificación de los medidores. El anexo digital A contiene los archivos de análisis de errores en formato de Excel.

#### 4.2 Verificación de los procesos de lectura de consumo en medidores y procesamiento de información de consumo

Con la finalidad de verificar el proceso de lectura de medidores de consumo se seleccionó aleatoriamente un conjunto de 200 medidores de la totalidad de medidores instalados en la ciudad, se buscó incluir la totalidad de sectores administrados por la CMAS. Los medidores seleccionados se les tomó lectura del registro de consumo para una fecha y hora específica. Se dejó transcurrir el tiempo a fin de que los consumos a lo largo de ese periodo de evaluación se registren a través de los medidores instalados propiedad de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS). El periodo de evaluación fue, para el caso de menor tiempo igual a tres semanas, y para el caso de algunos medidores hasta de cinco semanas.

El personal que levanto las lecturas para este periodo de evaluación nunca tuvo conocimiento del consumo histórico para los medidores seleccionados, además de que no era el personal que normalmente realiza esas actividades, y considerando que la selección fue completamente aleatoria, se garantiza que el proceso de lectura fue verificado sin sesgos.

El procedimiento empleado para el procesamiento de los consumos para el periodo de evaluación consiste en calcular el consumo promedio para cada una de las cuentas seleccionadas para validación y para el consumo registrado para el mes en el que se realizó la verificación. El consumo promedio se calcula para los doce meses inmediatos anteriores a la fecha de lectura en este proceso de evaluación. En los casos en los que el periodo de evaluación no corresponde a un mes exacto se calcula el consumo diario medio y se extrapola este valor para 30 días de un mes.

Los resultados obtenidos para el caso de comparación de consumos contra consumos medios para doce meses se muestran en la Figura 4.18.

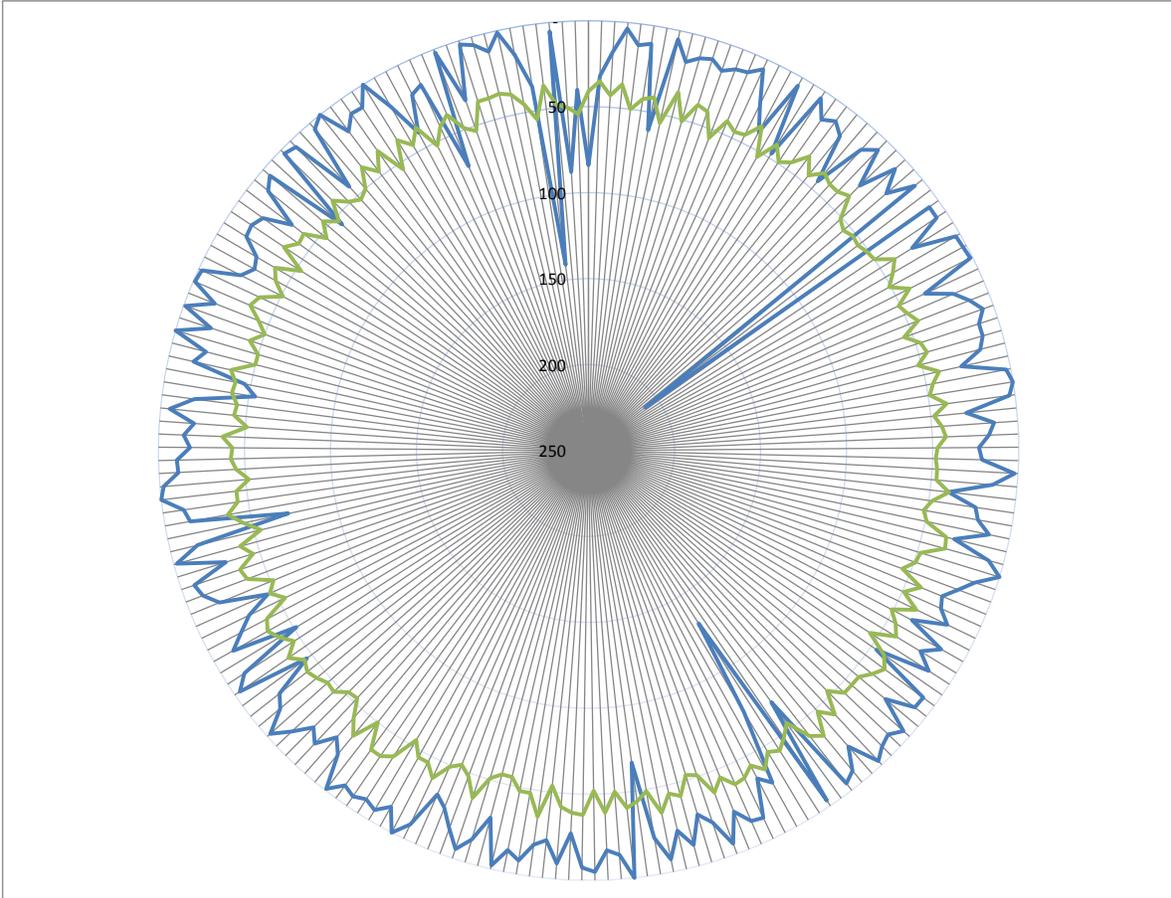


Figura 4.18. Comparación de consumos leídos y consumos medios para 12 meses.

La gráfica de la Figura 4.18 muestra el comportamiento de los consumos propiedad de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), con una línea de color azul. Los consumos levantados se representan a través de una línea de color verde. Cada una de las líneas que converge en el centro de la gráfica corresponde a uno de los medidores evaluados, de tal forma que existe para la construcción de esta gráfica 200 puntos de comparación.

Los valores mínimos de consumo en  $m^3$  corresponden a los valores más distantes del centro de la circunferencia, de esta forma el valor de máximo consumo corresponde al centro de la misma, en este caso para  $250 m^3$ .

En primera instancia se aprecia que los consumos levantados por el personal del IMTA son superiores a los consumos medios propiedad de la CMAS. Por otro lado se identifican consumos mínimos en de cero para los registros de la CMAS mientras que en ninguno de los casos de los consumos del IMTA no se identificó ningún consumo nulo. El valor del consumo máximo en los registros de la CMAS es de  $209 m^3$ , mientras que para el caso de los consumos generados por el IMTA es de  $55 m^3$ . **El valor promedio para los consumos de la Comisión Municipal de Agua**

**Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) resulta igual a 20 m<sup>3</sup>, mientras que el valor medio para los consumos generados resultó igual a los 45 m<sup>3</sup>.** Lo que representa una pérdida en volumen del orden de los 25 m<sup>3</sup> por cada una de las conexiones de servicio.

Los resultados anteriores muestran una alta discrepancia, lo que hace suponer lo siguiente:

- Existen medidores instalados en predios que no se leen, a pesar de que forman parte del padrón de usuarios y mensualmente se registra consumo nulo. **Del total de medidores en la muestra se identificaron 8 casos de 200, lo que pudiera implicar que un 4% de las conexiones con medidor y que están registradas por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) no se lea y se omita el consumo real de estas en la facturación.**
- Existen 59 de 200 registros en la muestra con consumos medios para los 12 meses de promedio menores a los 10 m<sup>3</sup>, con valores de consumo promedio igual a 4 m<sup>3</sup>. Sin embargo para esta proporción de la muestra, el consumo medio leído fue de 38 m<sup>3</sup>. **Esto pudiera implicar que el 29.5% de las cuentas estén sub-facturadas y que representen en pérdidas del orden de los 34 m<sup>3</sup> cada una de ellas,** esto considerando solo la diferencia obtenida en este estudio. La gráfica que ilustra la diferencia para este segmento de la muestra se incluye en la Figura 4.19. El resto de los estratos de consumo en la muestra es: 87 medidores con consumos entre 10 y 25 m<sup>3</sup>, con consumo promedio de 16 m<sup>3</sup>; 23 medidores con consumos entre los 25 y 35 m<sup>3</sup>; 9 medidores con consumos medios entre los 35 y 45 m<sup>3</sup>, con consumo promedio de 47 m<sup>3</sup> para las lecturas y 18 medidores con consumos medios superiores a los 45 m<sup>3</sup> y con valor de consumo promedio de 76 m<sup>3</sup>, contra 45 m<sup>3</sup> leídos. Lo anterior hace suponer que el proceso de lectura de medidores no es adecuado o que los medidores no se están leyendo en realidad y se estiman los consumos reportados.

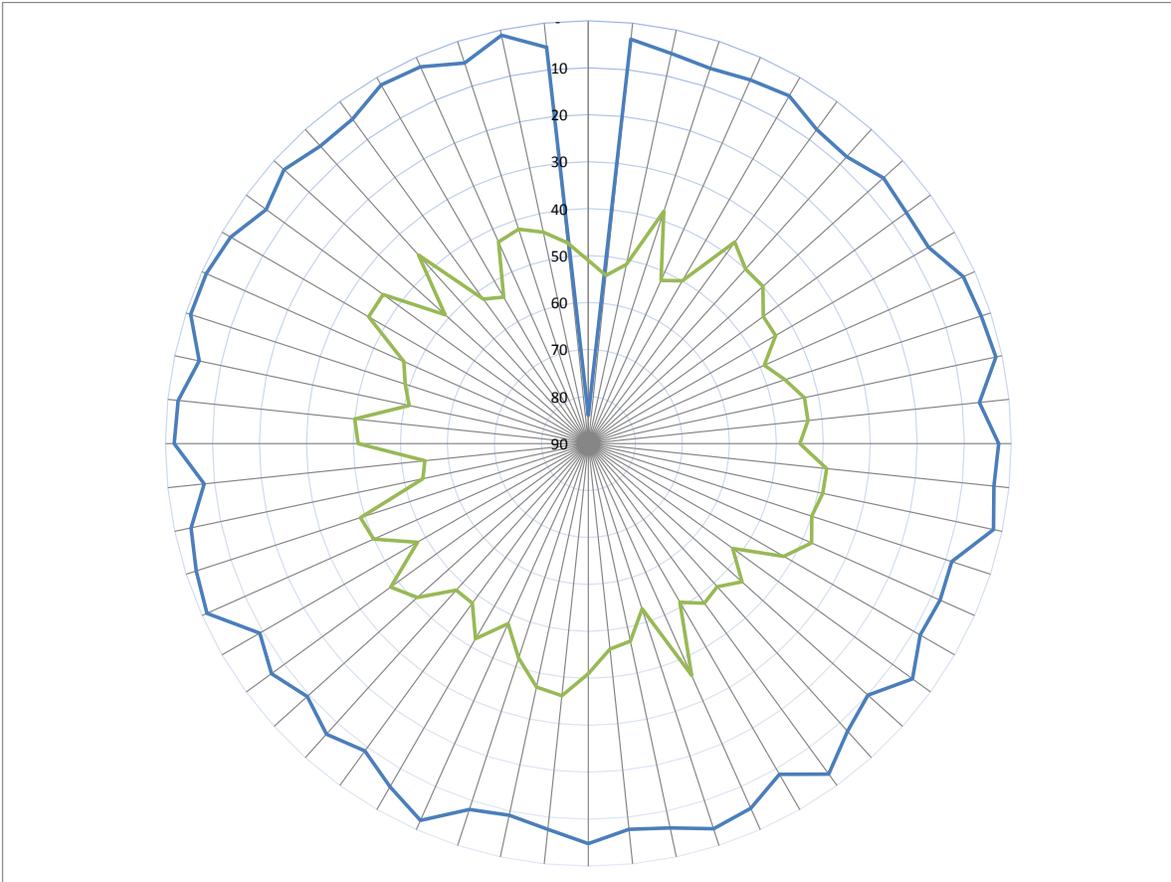


Figura 4.19. Comparación de consumos por debajo de los 10 m<sup>3</sup>.

- La Figura 4.20 muestra la comparativa de los valores de consumo leídos comparados con los consumos reportados para esas mismas cuentas en el mes de septiembre correspondiente al mes en el que realizó el levantamiento de información. Como se aprecia, la comparación es muy similar a la comparación con valores medios de consumo para 12 meses. Esto hace suponer que mucho del consumo reportado como leído es en realidad estimado.

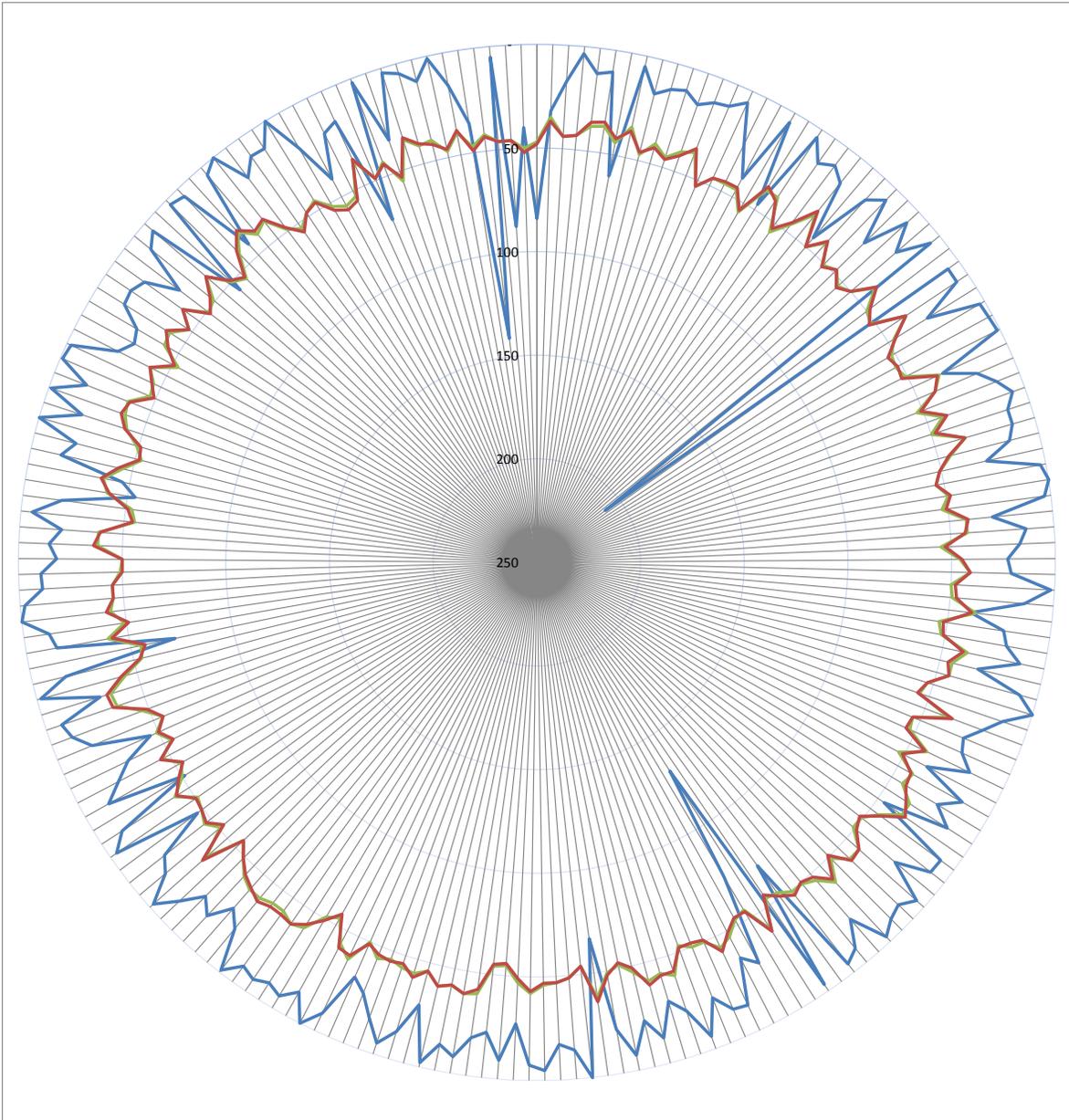


Figura 4.20. Comportamiento de consumos para el mes de septiembre de 2012.

La estimación de los consumos no es un tema que no se debe dar, pero si se da deberá tener en cuenta que las estimaciones deberán realizarse aplicando métodos que permitan que los valores estimados se apeguen lo mayormente posible a la realidad. Para poder estimar los consumos adecuadamente se requiere utilizar como referencia las lecturas de consumo reales que suceden en predios con similitud de infraestructura, horarios de servicio y presiones de suministro, solo así se podrá aproximar el valor de consumo estimado al valor real del consumo.

#### 4.2.1 Análisis de los consumos históricos

La Tabla 4.1 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el condensado del comportamiento de los consumos registrados en el sistema comercial de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS). El primer aspecto que hay que resaltar es que el sistema solo contaba en esas fechas con tres usuarios sin medidor y que para estos tres usuarios domésticos se estimó un consumo igual a los 1,200 m<sup>3</sup>, es decir un equivalente a 400 m<sup>3</sup>/año o 33.3 m<sup>3</sup>/mes, mientras que para los usuarios domésticos con servicio medido se facturó en promedio 12.3 m<sup>3</sup>/mes. Pareciera que es mejor estimar que leer los medidores, pues el promedio de la muestra de 200 medidores empleados para la verificación del consumo arroja un promedio por encima de los 38 m<sup>3</sup>.

Otro aspecto que merece revisarse es que la incorporación de usuarios domésticos a lo largo del año 2011 (ver la información de la Tabla 4.2) fue de 198,821 cuentas y el valor promedio facturado para esas cuentas fue solo del orden de los 6.5 m<sup>3</sup>/mes, lo cual es aún más distante del promedio obtenido con lecturas directas de los medidores. El número de usuarios incorporados se saca con la diferencia de usuarios a diciembre del 2010 y diciembre del 2011.

**Tabla 4.1. Comportamiento de los consumos históricos para el 2010.**

2010												
TIPO DE USUARIOS	AGUA POTABLE 2010					m <sup>3</sup>	DIF FACT 2010-2010	DIF USUARIOS 2011-2010	CONSUMO MEDIO USUARIOS INCORPORADO	CONSUMO MEDIO USUARIOS	MENSUAL	MENSUAL
	CUOTA FIJA		SERVICIO MEDIDO									
	NÚMERO DE TOMAS	VOL ESTIMADO (M <sup>3</sup> )	NÚMERO DE TOMAS	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )	TOTAL							
Domésticos	3	1,200	111,046	16,329,055	16,330,255	198,821.00	2,554	77.8469068	147.047665	6.48724223	12.2539721	
Comerciales	0	0	13,295	3,974,943	3,974,943	4,663.00	268	17.3992537	298.980293	1.44993781	24.9150244	
Industriales	0	0	1,016	478,682	478,682	-45,897.00	-10	4589.7	471.143701	382.475	39.2619751	
Servicios	0	0	0	0	0							
Otros (especificar)	0	0	0	0	0							
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>1,200</b>	<b>125,357</b>	<b>20,782,680</b>	<b>20,783,880</b>							

**Tabla 4.2. Comportamiento del consumo a lo largo del 2011**

2011											
TIPO DE USUARIOS	AGUA POTABLE 2011					m <sup>3</sup>	CONSUMO MEDIO USUARIOS	MENSUAL			
	CUOTA FIJA		SERVICIO MEDIDO								
	NÚMERO DE TOMAS	VOL ESTIMADO (M <sup>3</sup> )	NÚMERO DE TOMAS	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )	TOTAL						
Domésticos	3	800	113,600	16,527,876	16,528,676		145.49	12.12			
Comerciales	0	0	13,563	3,979,606	3,979,606		293.42	24.45			
Industriales	0	0	1,006	432,785	432,785		430.20	35.85			
Servicios	0	0	0	0	0						
Otros (especificar)	0	0	0	0	0						
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>800</b>	<b>128,169</b>	<b>20,940,267</b>	<b>20,941,067</b>						

Tabla 4.3. Comportamiento del consumo a septiembre del 2012.

2012 SEPTIEMBRE						CONSUMO MEDIO USUARIOS	MENSUAL
TIPO DE USUARIOS	AGUA POTABLE 2012				m <sup>3</sup>		
	CUOTA FIJA		SERVICIO MEDIDO				
	NÚMERO DE TOMAS	VOL. ESTIMADO (M <sup>3</sup> )	NÚMERO DE TOMAS	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )	TOTAL		
Domésticos	2	540	116,638	12,187,354	12,187,894	104.488709	13.0610886
Comerciales	0	0	14,371	3,056,147	3,056,147	212.660706	26.5825882
Industriales	0	0	1,059	309,091	309,091	291.870633	36.4838291
Servicios	0	0			0		
Otros (especificar)	0	0	0	0	0		
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>540</b>	<b>132,068</b>	<b>15,552,592</b>	<b>15,553,132</b>		

La Tabla 4.3 muestra los valores de consumo a septiembre del 2012, es preciso destacar de los registros contenidos en esta tabla que el valor de consumo medio mensual para usuarios domésticos se mantiene en valores muy similares para los tres a los analizados 12.25 m<sup>3</sup>/mes para el 2010; 12.12 m<sup>3</sup>/mes para el 2011; y 13.06 m<sup>3</sup>/mes para el 2012. El mismo comportamiento se observa para los consumos domésticos e industriales.

El comportamiento anterior pareciera ser ajustado, más aun si se considera el crecimiento poblacional de la ciudad en los últimos tres años tiende a decrecer en lugar de aumentar, según INEGI la tasa de crecimiento para el periodo 2005-2010 es del 0.5%, esto es se agregaron a la ciudad de Xalapa del orden de los 41,678 habitantes.

#### 4.2.2 Conclusiones

La ciudad de Xalapa, Ver., cuenta con medidores instalados en la totalidad de sus conexiones de servicio, esto debiera implicar que el consumo leído deberá ser muy cercano a su valor real, sin embargo esto no sucede y es en parte a que los medidores no son leídos. Lo anterior representa pérdidas para la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) y es quizá este rubro el de mayor participación. Es necesario establecer mecanismos que permitan anular lo que debido a no leer los medidores se está perdiendo. Una posibilidad es auditar las lecturas levantadas, establecer además un mecanismo de verificación continuo sobre los valores reportados por el personal.

Uno de los problemas actuales es que no es posible identificar el sitio donde se presenta la falla para la cuantificación de los consumos, es decir, no es posible identificar si la falla está en el proceso de levantamiento de la lectura por parte de los lecturistas o en el procesamiento de la información obtenida por los lecturistas y reportada para el cálculo de los consumos. Por otro lado, desde que se termina la lectura de un medidor transcurre un tiempo de aproximadamente tres días hasta que esta información se procesa, la identificación de errores no es una procedimiento que incluya la verificación en sitio de la lectura actual de los medidores y por lo tanto no es posible identificar y corregir adecuadamente las fallas identificadas. Este vicio se arrastra y con el paso del tiempo los errores no corregidos se hacen más grandes, llevando a las pérdidas por procesamiento en lecturas a valores elevados. Como lo demuestra el análisis de lecturas presentado en esta sección.

La facturación en sitio pudiera representar una alternativa para reducir el factor de error y centrar la responsabilidad de la generación de consumos, se puede implantar un sistema que permita al

momento de la captura de la lectura de un medidor, hacer el cálculo del monto a pagar e imprimir la factura para ser entregada al momento en el domicilio, con este mecanismo podemos establecer una auto regulación de los letrados, pues sería ellos los únicos responsables de la adecuada cuantificación de consumos evitando que haya procesamiento de las lecturas capturadas. De esta forma será posible dar seguimiento al rendimiento de cada uno de los empleados destinados a este rubro, haciendo a demás más eficaz el proceso de facturación.

Es necesario y urgente una actualización del padrón de usuarios, los consumos facturados como nulos, aun cuando existe evidencia de que existe consumo en esos predios es muestra cabal que el proceso de lectura-procesamiento de consumos no está siendo realizado de manera adecuada.

Otro aspecto que deberá implantarse son mecanismos en el sistema comercial que ayuden a la identificación de errores a tiempo, es decir, la información que se alimenta a los sistemas comerciales deberá emplearse para tomar decisiones de tipo gerencial sobre la evolución de los consumos y en consecuencia la facturación y recaudación, solo a través de contar con información continua sobre el comportamiento de las variables que afectan el desempeño de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), es posible tomar decisiones precisas a tiempo a fin de garantizar la correcta gestión de los recursos naturales utilizados para brindar el servicio de agua potable y recaudar los recursos monetarios.

En términos de pérdidas el volumen que se pierde por concepto de lectura y procesamiento de información de consumos es del orden de

#### **4.3 Consistencia en el padrón de usuarios de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS).**

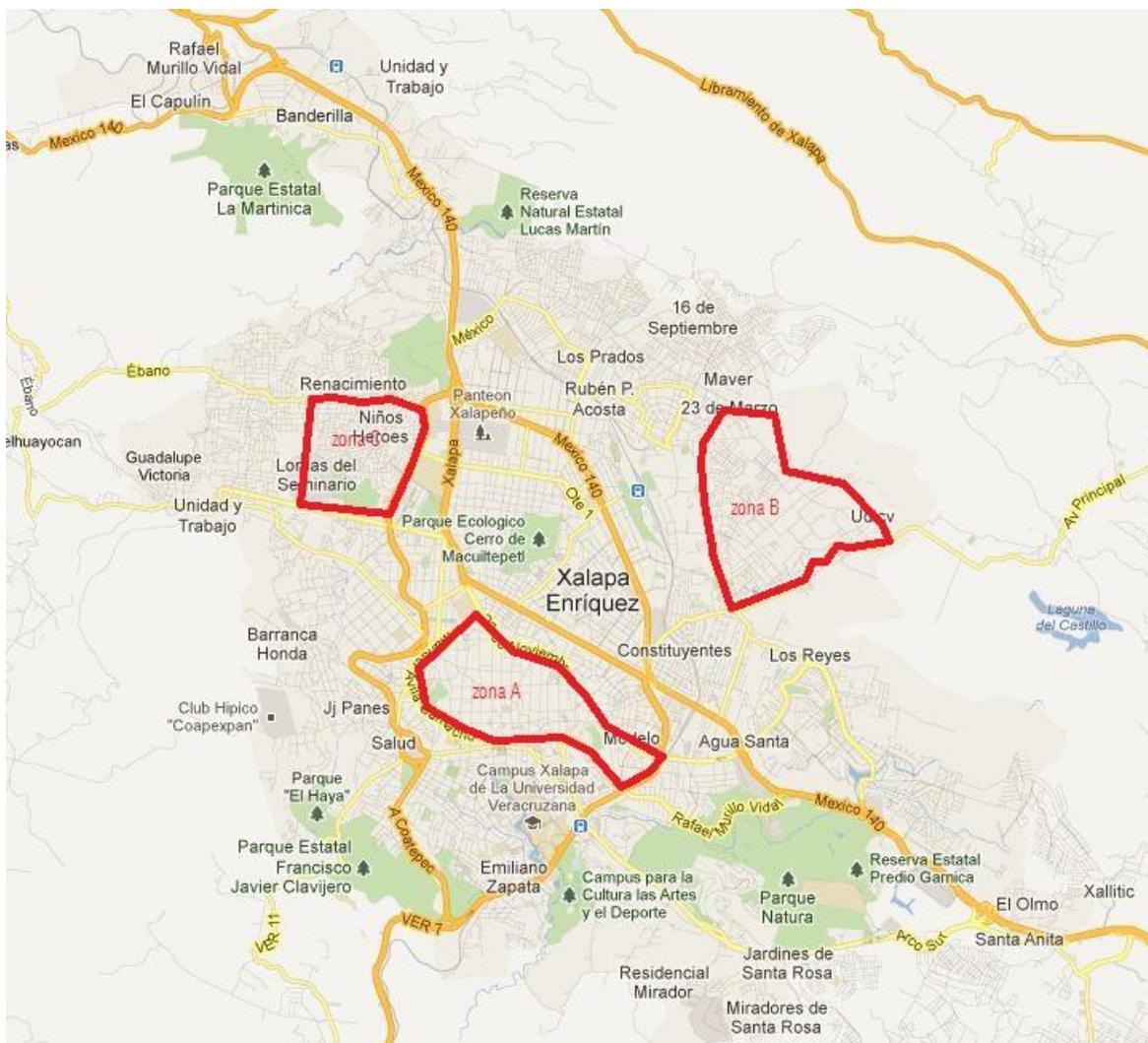
A pesar de que existe evidencia de que los registros en el padrón de usuarios no son confiables, ver los resultados de la verificación de consumos y procesamiento de información, se realizó un ejercicio de cuantificación de predios en tres zonas de la ciudad de Xalapa. El objetivo de este ejercicio fue comparar el número real de conexiones existentes obtenido a través de la identificación física de los predios en las colonias con los registros contenidos en el padrón de usuarios de la CMAS.

Las zonas en las que se realizaron recorridos de conteo de predios se muestran en la Figura 4.21. Se consideraron las tres zonas en la ciudad tratando de considerar una región en el centro, sitio en el que se debiera tener mayor control de los usuarios por ser una zona antigua y que no está sometida a crecimiento. Dos zonas de nivel socioeconómico medio y alto, en la que los predios son regulares y el crecimiento es ordenado y autorizado por el municipio y donde debiera existir un control completo sobre los usuarios que se incorporan al sistema de distribución de agua potable de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), estas zonas son las marcadas como zona B y C.

El procedimiento empleado para la cuantificación de los predios fue el recorrido por las calles de las zonas definidas, cuantificando para cada una de las manzanas en la zona el número de predios con servicio de agua potable. Se considera que un predio tiene servicio de agua potable cuando se

identifica una conexión de servicio en los límites del mismo. En el caso de terrenos baldíos, se aplica el mismo criterio. De esta forma se conforma la totalidad de las conexiones encontradas, las cuales se clasifican de acuerdo con su uso.

La base de comparación se extrae del padrón de usuarios proporcionado por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), la búsqueda se hace por calle, número y colonia, en el caso de que no se encuentre un registro que coincida se considera como error del padrón de usuarios.



**Figura 4.21. Zonas de verificación de consistencia en el padrón de usuarios de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS).**

Los resultados obtenidos con la comparación de padrones de usuarios es que para la zona A se logró identificar solo el 91% de los predios identificados en sitio, para la zona B solo se identificó el 82% de los predios identificados en sitio y para la zona C se identificó solo el 79%.

De esta forma se considera como valor medio de clandestinaje el 15%, que resulta de promediar las diferencias de los predios identificados. Este valor de clandestinaje es muy elevado y es una de las posibles causas que ocasionan las pérdidas de agua en el sistema.

#### 4.3.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos de los estudios realizados sobre los registros de consumo permiten concluir que la base de clientes que maneja la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) S no está actualizada y demanda un proceso de actualización urgente, la carencia de una base confiable que permita identificar a cada uno de los usuarios que recibe el servicio de agua potable, poder saber con certeza su nivel real de consumo y la tarifa correcta que se le debe aplicar, genera una componente de pérdidas elevada, más aún si se considera que el agua que se consume y no se paga está afectada por el precio de venta, que generalmente es superior al costo de producción, lo que implica que las pérdidas que sufre la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), en términos financieros son por mucho superiores a las pérdidas que se generan por concepto de fugas en líneas o pérdidas físicas.

Lo anterior está fuertemente ligado a contar con un sistema de información que haga un manejo de la información comercial de forma completa, es decir, no basta con que un sistema comercial emita las facturas y concentre el monto pagado mes tras mes, es necesario que el sistema comercial, además de llevar el seguimiento de los montos recaudados tanto global como por cada una de las cuentas, permita a los directivos identificar los aspectos que no permiten que los valores de eficiencia física y comercial lleguen a los niveles que la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), tiene proyectados. Lo anterior se logra haciendo del sistema comercial un sistema de toma de decisiones que presente información de tipo gerencial en forma de indicadores de desempeño de los procesos relevantes a darles seguimiento. El sistema requerido deberá presentar el análisis del comportamiento de los indicadores diseñados con una periodicidad suficiente que permita a los directivos actuar con base en acciones identificadas como de mejora para poder reducir el riesgo de que los valores de eficiencia decrezcan o dejen de crecer como se tenga proyectado.

Ahora bien, otro de los problemas identificados es la facturación, entendiendo que el proceso de facturación inicia con la lectura de los medidores, seguido del procesamiento de las lecturas levantadas en el sistema comercial, la aplicación de la tarifa correspondiente, la validación de los volúmenes y montos facturados, terminando con la impresión de la factura y su entrega. Este proceso muestra que no es del todo eficiente, pues los reportes de consumos contrastan respecto a los valores de consumos leídos en la campaña de verificación. Uno de los aspectos de mejora es la intervención de muchas personas a lo largo de todo el proceso, que ocasiona que los errores se dispersen a lo largo de todas las intervenciones y no sea posible identificar que parte del proceso no está funcionando adecuadamente y no sea posible mejorar la parte fallando. Se propone que una sola persona sea la responsable de la lectura de medidores, el procesamiento de la información y aplicación de tarifa se haría a través de un sistema de información preconcebido, y

la impresión y entrega de la factura se haría en el mismo momento que se levanta la lectura y a cargo del responsable de su levantamiento. De esta forma se reducen los tiempos dedicados a la generación, emisión y entrega de facturas y se limita la responsabilidad de la generación de las mismas, lo que permite que a los valores de volumen se les pueda dar seguimiento y en consecuencia identificar oportunamente las fallas y su origen.

Con la conjunción de estos tres esfuerzos puede ser posible mejorar los valores de eficiencia física y comercial de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), toda vez que el problema mayor de los bajos valores de eficiencia está en el área comercial de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS).

#### 4.4 Balance hidráulico del sistema de distribución de la ciudad de Xalapa de Enríquez

Para la presentación del balance hidráulico del sistema de distribución de la ciudad de Xalapa de Enríquez, se considera el volumen producido por mes estimado en la sección de verificación de medidores de producción o macro medidores, la cual se presenta en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4. Producción**

	l/s	l/s	% EFICIENCIA			
perote	284.00	260				
huitzilapan	1,133.00	1133				
medio pixquiac	290.00	270				
castillo	24.60	21.4				
socoyolapan	101.00	75.4				
	1,832.60	1,759.80	96.03%			
	m3/s	m3/dia	m3/mes	m3/año		
volumen producido	2	158,337	4,750,099	57,001,190		
población	424,750					
dotación l/hab-día		373	l/HAB-DÍA			
		3.6	INDICE DE HACINAMIENTO			
CONEXIONES DOMESTICAS	117,181					
CONEXIONES NO DOMÉSTICAS	15,839					
		1.35	m3/VIVIENDA-DÍA	40.54	m3/VIVIENDA-MES	

De la Tabla 4.4 se puede apreciar que el volumen suministrado a la red es del orden de los 4'750,099 m<sup>3</sup>.

Por otro lado el consumo medido con base en los registros proporcionados por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), de la facturación, arroja lo presentado en la Tabla 4.2, para el año 2011, misma que se copia a continuación.

2011								
TIPO DE USUARIOS	AGUA POTABLE 2011					m3	CONSUMO MEDIO USUARIOS	
	CUOTA FUA		SERVICIO MEDIDO				MENSUAL	
	NUMERO DE TOMAS	VOL ESTIMADO (M3)	NUMERO DE TOMAS	VOLUMEN (M3)	TOTAL			
Domésticos	3	800	113,600	16,527,876	16,528,676	145.49	12.12	
Comerciales	0	0	13,563	3,979,606	3,979,606	293.42	24.45	
Industriales	0	0	1,006	432,785	432,785	430.20	35.85	
Servicios	0	0	0	0	0			
Otros (especificar)	0	0	0	0	0			
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>800</b>	<b>128,169</b>	<b>20,940,267</b>	<b>20,941,067</b>			

Se considera el 2011 por ser un periodo completo, sin embargo los datos no difieren sustancialmente pues el consumo se comporta muy similar año tras año como se refleja en el análisis presentado en la sección correspondiente. De la Tabla anterior se puede verificar que el consumo total para el 2011 fue de 20'941,067 m<sup>3</sup>, lo que representa que para un mes el consumo medio fue del orden de los 1'745,089 m<sup>3</sup>.

De esta forma el valor de eficiencia física resulta:

$$\delta = \frac{1'745,089}{4'750,099} = 36.74\%$$

Ahora bien, de los aspectos cuantificables en los procesos de revisión resulta que dos de ellos son plenamente dimensionables, se trata de las deficiencias encontradas en los procesos de lectura-procesamiento de consumos y de la actualización del padrón de usuarios. Para el tema de la lectura de medidores resulta la información contenida en la Tabla 4.5. La Tabla 4.5 contiene la columna denominada "Error en Volumen" que es la diferencia media encontrada en las lecturas realizadas a 200 medidores y su comparación para los mismos medidores pero con los registros propiedad de la CMAS. Los estratos que se manejan representan los valores de consumo identificados, la descripción de los mismos se incluye en la sección correspondiente. Los valores negativos representan consumos sobre medidos, mientras que los positivos representan submedición. De esta forma y afectando el número de medidores o cuentas domésticas por la diferencia media de lecturas se obtiene el valor de pérdida en volumen, que se contiene en la columna de la derecha de la misma Tabla. La sumatoria de todas esas diferencias nos permite estimar el valor del volumen perdido por concepto de deficiencias en el procesamiento de lecturas de consumo, el valor total resulta igual a los 1'919,766.27 m<sup>3</sup> por mes.

Tabla 4.5. Pérdidas por deficiencias en la lectura de consumos.

NO DE CUENTAS DOMÉSTICAS	POR DEFICIENCIA EN LA LECTURA DE MEDIDORES			
	% DE MEDIDORES CON ERROR DE LECTURA	NO DE MEDIDORES QUE REPRESENTA EL PORCENTAJE	ERROR EN VOLUMEN	PERDIDA QUE REPRESENTA EL ERROR
116,638	30.10%	35,110	34	1,193,754.22
	44.39%	51,773	-1 -	51,772.99
	11.73%	13,687	4	54,748.45
	4.59%	5,356	-7 -	37,490.79
	9.18%	10,712	71	760,527.37
<b>TOTAL</b>	100.00%	116,638		1,919,766.27

El otro rubro cuantificable es el relacionado con el claudestlaje encontrado a lo largo del proceso de verificación. Como se describe en la sección correspondiente, se estima que existe un 15% del número de conexiones en el padrón de usuarios que no está registrada por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) . Este valor implica que existen en la ciudad un total de 17,497 conexiones no registradas, todas ellas de tipo doméstico. Si las conexiones no registradas consumen el consumo medio leído igual a los 38 m<sup>3</sup>, resulta que el volumen consumido por los usuarios claudestlajos pudiera ser del orden de los 664,837 m<sup>3</sup>.

Si los dos rubros cuantificados se pudieran regularizar al 100%, se podría recuperar un volumen aproximado de 2'584,603 m<sup>3</sup> como máximo, lo que implicaría que el valor del consumo pudiera llegar a niveles de los 4'329,692 m<sup>3</sup>. **Ocasionando que el valor de eficiencia física llegue a valores del 90% aproximadamente, todo esto reconociendo las imprecisiones de este cálculo.** Con la finalidad de reducir el porcentaje de pérdidas identificado se presenta el siguiente plan de acciones.

#### 4.4.1 Plan de acciones

##### 4.4.1.1 Actualización del Padrón de Usuarios

Como parte de los resultados obtenidos en el estudio de diagnóstico y de balance hidráulico del sistema de distribución de agua potable en la ciudad de Xalapa, Ver. Se identificó como altamente prioritaria la actualización del padrón de usuarios. Se estimó que aproximadamente 15% de los usuarios que consumen agua no están registrados por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS).

La actualización del padrón de usuarios deberá ejecutarse a través de recorridos por las calles de la ciudad, considerando como base planos de cartografía de la ciudad en su versión más actualizada. Se sugiere la construcción de planos de trabajo a través del uso de imágenes satelitales de INEGI, en su versión más reciente. Los planos de cartografía que se utilicen para los levantamientos de usuarios deberán contener las manzanas identificadas desde la imagen de referencia.

Los recorridos deberán planearse de modo que los encuestadores recorran zonas completas por jornada de trabajo, es decir, se deberá evitar que los levantamientos se hagan para zonas definidas en más de un día, esto con la finalidad de procesar la información y poder avanzar en el proceso de revisión y validación.

La información a levantar por parte de los encuestadores será aquella que se pueda obtener sin la necesidad de interactuar con el usuario, se considera de inicio, calle, número, diámetro de conexión, marca y serie del medidor instalado, giro y uso de la conexión, número de viviendas que abastece cada conexión identificada, además del manejo de códigos que permitan identificar situaciones o consideraciones especiales para la conexión de servicio. Esta información deberá definirse en conjunto con la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) y la supervisión del proyecto.

Se consideran dos etapas del levantamiento, la primera concluye cuando los encuestadores hayan identificado la totalidad de las conexiones en la ciudad. Tras el proceso de identificación, se iniciará un proceso de verificación de concordancia, es decir, por cada uno de los registros levantados en campo se buscará su correspondiente en las bases de datos de usuarios de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS). De este proceso de concordancia se construirán tres conjuntos de usuarios, el primero que corresponde a los usuarios levantados para los cuales existe un registro que corresponde a alguno de los registros en la base de datos de usuarios y para los cuales pudiese haber alguna adecuación en sus campos de registro. El segundo conjunto, que corresponderá a los usuarios incluidos en el padrón de usuarios y para los que no existe una correspondencia con alguno de los registros levantados en campo. El tercer y último conjunto que estará formado por los usuarios levantados en los recorridos de campo y para los que no existe un registro en el padrón de usuarios de la CMAS, podría pensarse que este conjunto este del orden del 15% del número de usuarios que actualmente contiene al padrón de usuarios.

El tratamiento que se le deberá dar a los dos últimos conjuntos es visitar cada uno de los usuarios contenidos en el tercer conjunto y completar la información requerida para que se les registre adecuadamente en el padrón de datos actualizado. De este proceso seguramente se eliminarán muchos de los registros en el segundo conjunto de registros del padrón sin correspondiente en el levantamiento de campo.

Al final del proceso será posible contar con una base confiable de usuarios y se estima que este trabajo oscila del orden de los 5 millones de pesos.

Ahora bien, puede considerarse en este proceso el incremento de las capacidades del sistema de información que existe en la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) y aprovechar para desarrollar un Sistema de Información nuevo, con capacidades de localización de usuarios, tal vez un GIS.

#### 4.4.1.2 Mejora de medición de consumos

Es evidente que los medidores instalados no aportan confiabilidad al tema de cuantificación de los consumos a nivel domiciliario. Se sugiere hacer una renovación total de los medidores de consumo, sin embargo, es prioritario mejorar los procedimientos de lectura y procesamiento de información de consumos antes de iniciar un proceso de sustitución de medidores pues se corre el riesgo de que las inversiones sean inútiles.

Se considera urgente cambiar la práctica que actualmente se emplea para el procesamiento de las lecturas de consumo a nivel domiciliario. El bajo rendimiento de los lecturistas, por debajo de 150 conexiones por día, asociado a la ineficacia de la lectura de medidores que se refleja con la disparidad de las lecturas comparadas en este estudio, hace pensar que los procedimientos empleados por la CMAS requieren un proceso de reingeniería relevante.

Como medio de corrección del proceso de lecturas se sugiere la implantación de lectura y facturación en sitio empleando dispositivos de captura automáticos que faciliten la verificación de los consumos leídos iniciando un proceso de mejora continua para estos procedimientos. La facturación en sitio permitirá que los recorridos se optimicen y que los tiempos y costos destinados a la emisión de facturas y reparto de las mismas se reduzcan.

La facturación en sitio deberá ser a través de dispositivos móviles los que deberán tener la capacidad de almacenar las rutas de lectura para cada uno de los días del mes y para cada lectorista. La ruta de lectura que se almacene en cada dispositivo móvil estará conformada del listado de los usuarios o cuentas que cada uno de los lectoristas deberá levantar en la jornada de trabajo, además de las lecturas del periodo de facturación previo anterior. El lectorista recorrerá cada uno de los medidores en la ruta de lectura capturando la lectura que visualice en el medidor. El dispositivo móvil debe tener la capacidad geoposicionar cada uno de los sitios de lectura, de esta forma se controlará que los medidores realmente sean leídos. Los dispositivos deben contar además con la capacidad de calcular el consumo de cada una de las cuentas levantadas, esto a través de la diferencia de lecturas actual y pasada almacenada en la memoria de cada uno de los dispositivos. El cálculo de cada consumo deberá estar asociado a un conjunto de reglas, mismas

que deben ser evaluadas en los dispositivos y emitir alarmas en caso de que alguna de ellas no sea cumplida. Los dispositivos deberán contar con la capacidad de permitir a los lecturistas identificar el error o la causa por la que el dispositivo móvil emite alarmas y corregir.

Los dispositivos propuestos deberán contar con la capacidad de conectarse vía *bluetooth* a una impresora térmica, configurada para emitir la factura o aviso de pago de la cuenta leída en ese momento, los datos contenidos en los recibos de pago serán definidos por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS). El lectorista entrega el aviso de pago al usuario o deja el mismo de la misma forma como entrega el recibo impreso en la actualidad.

Los dispositivos móviles contarán con la capacidad de conectarse tras concluir la jornada de lecturas a estaciones de descarga en la CMAS. Estas estaciones descargarán la información levantada a lo largo de la jornada y actualizarán el sistema comercial de la CMAS. El sistema comercial de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), a su vez, actualizará la ruta de lectura a ser trabajada el día siguiente. La estación de descarga deberá contar con capacidad de cargar las baterías, con el fin de que los dispositivos puedan ser empleados al día siguiente.

El sistema comercial deberá contar con la capacidad de calcular indicadores de desempeño que auxilien a los directivos de la CMAS a conocer los problemas que enfrentan los lecturistas, además de identificar aquellos que cometen menos errores a lo largo del proceso de captura de lecturas y emisión de facturas, esto a través de la medición de la eficiencia de pago de los usuarios, que es una medida directa de la eficiencia del proceso de facturación. El sistema comercial deberá emitir un informe diario del proceso de facturación cerrado, y éste se enviará a los directivos quienes podrán dar seguimiento al proceso completo de facturación cobranza. Los directivos podrán ejecutar acciones de mejora o correctivas. Para cada uno de los lecturistas el sistema deberá contar con la capacidad de dar seguimiento a su trabajo.

#### 4.4.1.3 Mejora de medición de producción

La medición de caudales y volúmenes producidos es deficiente, se cuenta solo con el 50% de cobertura y las fuentes de mayor aporte no se miden (presa de Huitzilapan). Es necesario incrementar la cobertura de macro medición al 100%, esto a través de la instalación de medidores precisos, se sugiere medidores de tipo electromagnéticos de carrete debidamente seleccionados para los rangos de gasto que se presentan. Los medidores electromagnéticos deberán estar acoplados a un sistema de telemetría conectado a una estación central que aglutine la totalidad de registros generados en las captaciones explotadas por la CMAS. Lo anterior dado que las distancias de la ciudad de Jalapa a las fuentes de producción es larga y el monitoreo de las mismas es difícil, además de que actualmente no se cuenta con procedimientos correctos para su seguimiento.

El sistema de telemetría deberá contar con la capacidad de almacenar los registros de gasto instantáneo con una frecuencia no menor a un valor por hora, se sugiere cuatro valores por hora.

De la misma forma deberá tener la capacidad de almacenar el valor del volumen acumulado, haciendo balances totalizados cada hora para la totalidad de las fuentes operadas por la CMAS. Así mismo deberá contar con la capacidad de registrar los eventos que sucedan a lo largo de las jornadas en una bitácora que estará almacenada para ser revisada por los operadores. El sistema de telemetría deberá contar con la capacidad de emitir informes de los balances a lo largo del día, de las fallas identificadas y de las alarmas emitidas. Este informe deberá ser enviado a los directivos vía correo electrónico cada 24 horas de operación.

Un sistema de este tipo permitirá operar más eficientemente los sistemas de producción actuales, además de que facilitará la toma de decisiones y corregirá vicios que se generan por la falta de información.

El sistema de telemetría se puede ampliar a los tanques y a líneas de conducción importantes, las variables a ser monitoreadas serán objeto de un diseño en donde deberá participar el organismo operador.

#### 4.4.2 Levantamiento de catastro hidráulico

##### *4.4.2.1 Recopilación y análisis de la información de catastro*

Esta actividad corresponde a la recopilación, análisis, verificación, actualización de la información existente que pueda ser de utilidad en la elaboración del proyecto ejecutivo. Se recopilará todos los datos topográficos, socioeconómicos como población, área territorial, etc., de infraestructura de abastecimiento de agua potable y drenaje y estudios realizados con anterioridad, entre otros aspectos, que existan sobre la zona de estudio, además se observará lo siguiente:

- Catastro hidráulico disponible del Organismo.- La Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), proporcionará dicha información para que sea rectificadas o ratificadas lo registrado en los planos de las líneas de agua potable y drenaje, que le sirva de apoyo para el trabajo contratado. El contratista se encargará de actualizar la información proporcionada.
- Ubicación de válvulas de desfogue para el monitoreo de presiones.- La Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS) proporcionará los planos de ubicación de las válvulas de desfogue; a fin de que se puedan utilizar como testigos para comprobar el comportamiento real del sistema y los datos obtenidos en las simulaciones, para calibrar el modelo aplicando con estos datos.

Se deberá generar un documento técnico como producto terminado de este concepto.

En Dependencias Normativas (CAEV, CNA, INEGI, GAS NATURAL, JUNTA LOCAL DE CAMINOS, PEMEX Y TELMEX)

Se deberá recopilar la información de dependencias Federales, Estatales y Municipales deberá estar avalada por cada una de las dependencias en donde se consiga; además de la investigación de información se incluirá la renta o adquisición de todos los bancos geodésicos que dispone el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática en la entidad, con el fin de vincular el estudio con el sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) adoptando el sistema geodésico de referencia ITRF92, época 1988.0, en el GRS80 para todos los planos y cartografía que se genere, así como para referenciar cualquier punto específico. Lo anterior deberá permitir establecer el marco físico de la región en donde se llevará a cabo el proyecto, delimitar su área de influencia y definir propuestas de adecuación del sistema de agua potable y drenaje. Para la formulación del marco físico y la evaluación de los aspectos socioeconómicos, derivados de la situación actual y de los planes vigentes de desarrollo de la región, se recopilará, analizará y evaluará la información existente. La información recopilada se verificará, complementará y actualizará con la que se obtenga en forma directa durante los reconocimientos en campo.

En CNA se verificará la información referente a la normatividad aplicable a este tipo de estudios y en CAEV se pondrá especial atención a la información de infraestructura hidráulica que opera y administra en el Municipio de Xalapa de Enríquez.

Es importante definir en su momento de desarrollo de esta actividad, se tenga previamente una reunión para tratar específicamente que tipo de información es importante disponer, para no investigar y obtener una gama de información que no le pueda servir a sus necesidades.

#### 4.4.2.2 Visitas de reconocimiento

Visitas a Campo para Reconocimiento del Sistema.

En conjunto con el personal de la CMAS se realizarán 2 visitas de reconocimiento a la zona de estudio en horario diurno y nocturno, las cuales podrán componerse de un número no limitado de recorridos que cubran fuentes de abastecimiento, tanques, redes de agua potable y drenaje, cajas operadoras de válvulas, pozos de visita y colectores de la zona de estudio, con el objeto de identificar plenamente el funcionamiento actual de las instalaciones existentes, verificar las características de la obras relevantes del sistema primario de abastecimiento así como de los sistemas que operan de manera independiente a partir de una fuente subterránea de abastecimiento y, en su caso, para definir los trabajos de campo que se requerirán para rectificar, validar y/o complementar la información existente, dando a conocer a la supervisión sus comentarios y observaciones sobre estas visitas, así mismo se ubicarán físicamente las válvulas más importantes que requieren especial atención por ser puntos clave en la conducción y alimentación de agua potable. Para el caso del drenaje se visitarán los puntos de interconexión de los principales afluentes, descargas, pozos, puntos conflictivos de inundación y de interés por parte del Organismo.

En caso de que se presente duplicidad de información y ésta discrepe entre sí, durante las visitas que se realicen al municipio y a las dependencias ya mencionadas, se aclararán las diferencias observadas a efecto de utilizar la información más confiable para el estudio. Al finalizar esta etapa, se deberá presentar un nuevo reporte de avance parcial, conteniendo un informe fotográfico detallado de las visitas realizadas a estructuras del sistema (pozos, tanques, líneas de conducción y redes de distribución), así como una descripción de las observaciones registradas.

#### 4.4.2.3 Trabajos de Campo

##### Levantamiento planimétrico de las redes

Durante el desarrollo de este apartado, se realizará el levantamiento físico de la infraestructura existente de agua potable y drenaje en la totalidad de las calles de la ciudad de Xalapa y zona conurbada, sin importar la sección y/o ancho de la calzada, la cual incluye el área correspondiente a banquetas, andadores y zonas con jardines, con las cuadrillas de personal que considere necesarias para cumplir con los tiempos establecidos, referenciándolo al sistema de coordenadas obtenido en la etapa de recopilación de información.

Los estudios básicos comprenden el desarrollo de actividades para complementar, verificar y actualizar la información recopilada y generar información de importancia para la ejecución del estudio. Los trabajos a realizar en esta fase del proyecto incluyen, entre otras, las actividades que se señalan a continuación.

En las áreas no cubiertas con servicio de agua potable y en superficies que no cuenten con información planimétrica, se hará un levantamiento de cruceros mediante poligonales abiertas o cerradas dependiendo el caso, que serán ligadas a los planos existentes. Dichas poligonales serán levantadas por el método de deflexiones marcando con pintura los cruceros y cambios bruscos de pendientes en calles pavimentadas y mediante la utilización de trompos o señalamientos en las no pavimentadas para poder efectuar las correspondientes nivelaciones y ubicando las nuevas vialidades con al menos 5 puntos de referencia, los cuales deberán ser permanentes, entregando dicha información topográfica a la supervisión en campo y en las libretas correspondientes.

Estas poligonales y la planimetría existente se verificarán para referenciarlas al sistema de coordenadas que actualmente posee el INEGI. La tolerancia angular permitida de las poligonales será de dos segundos por cada vértice.

El levantamiento de los ejes de las calles de la localidad se efectuará por medio de poligonales, de las cuales se desprenderán las de relleno o transversales, utilizadas para situar todos los cruceros,

comprobando en cada caso los cierres lineal y angular respectivamente. Los vértices de las poligonales se referenciarán a los paramentos de las calles; se referenciarán los PI, PST y puntos importantes. También en todos los conceptos referentes a la topografía, se deberá recopilar la información existente de estudios topográficos, cartográficos y fotogramétricos existentes de cada área en estudio, con el objeto de apoyar el levantamiento de planimetría. Las fuentes de información básica para consultar serán organismos de autoridad técnica reconocida.

La ubicación de los pozos de visita y cajas de válvulas de agua potable será mediante radiaciones a partir de los vértices de la poligonal de apoyo y referenciado al sistema ITRF92.

Este concepto se ejecutará por Kilómetro de calle con aproximaciones de 1 decimal, incluye la información en archivos electrónicos, así como la generada en libretas de campo.

Nivelación diferencial.

Las nivelaciones diferenciales se realizaran en los siguientes casos:

- a) Bancos de nivel autorizados por AST.
- b) Llevar a cabo la nivelación de estructuras especiales de las redes primarias de agua potable, con el propósito de realizar el análisis hidráulico de dichas redes y el proyecto ejecutivo de sectorización.
- c) Se hará la nivelación de las estaciones de las poligonales, de los cruceros de calles, de puntos con cambios de pendientes y de cruces importantes, esta nivelación incluirá cualquier tipo de terreno, sea éste plano. Medio o abrupto. Cada nivelación se comprobará y no se aceptará como banco de nivel un punto con cota sin comprobar con los bancos del INEGI. Con la información obtenida en este concepto se configurarán las áreas donde se localicen asentamientos urbanos no contemplados en la información existente, así como aquellas que se consideren dentro de los planes de desarrollo urbano de la localidad contemplándose así la configuración de toda el área de proyecto con curvas de nivel equidistantes a 1.0 m.

Se partirá de los bancos de nivel obtenidos de INEGI, y establecerá bancos de nivel fijos a cada 2 kilómetros en sentido norte-sur y ubicará su localización en planos, considerando sus referencias y fotografías, para referenciar toda la altimetría y desniveles con respecto a un banco de nivel maestro.

Se aceptará para la nivelación de ambos sentidos entre los bancos, una tolerancia de:

$T=+0.01 K$ , donde: K = desarrollo de la línea nivelada, en Kilómetros.

La nivelación de cruceros y puntos intermedios se efectuara partiendo de los bancos de nivel previamente establecidos con el fin de tener el perfil aproximado de las calles.

Este concepto se ejecutará por Kilómetro de calle con aproximación a un decimal, e incluye la información en archivos electrónicos, así como la generada en libretas de campo.

**Levantamiento Físico y Sondeos a Detalle, incluye: red de agua; cajas de operación de válvulas; redes de drenaje; pozos de visita libres, azolvados y/o sellados; no se incluyen rupturas de pavimento asfáltico y/o hidráulico.**

- Para el levantamiento de la red de agua potable, se realizará la revisión de las redes principales y secundarias de la totalidad de las calles en la ciudad y zonas conurbadas, sin importar el número de ellas que se encuentra a lo largo de la calle, a fin de obtener la información referente a diámetros de tubería, materiales de tubería, sentido del agua y presiones en al menos 40 puntos de la red. Se deberán de considerar sondeos a cielo abierto con pico y pala, cuando la ubicación de los cruceros cuya vista sea complicada, debido a la falta de caja de operación de válvulas para obtener un diagrama del crucero definiendo si hay o no interconexiones.
- En lo que respecta a las cajas de operación de válvulas, se sondearán todas las cajas de agua potable existentes en la totalidad de las calles de la ciudad de Xalapa y zonas conurbadas, para obtener niveles de plantilla, diámetros, válvulas y despiece del crucero. En caso de las cajas cubiertas con pavimento de concreto y/o asfáltico, se coordinará con el organismo operador, CMAS, para que este organismo realice la ruptura y remoción de pavimento para dejar libre la tapa de las cajas de válvulas y también para efectuar la reposición de pavimento asfáltico y/o de concreto. Las cajas de válvulas de agua potable serán numeradas con pintura de esmalte, se localizarán y quedarán referidas a dos esquinas de calles existentes. Se dibujarán los croquis del levantamiento de cruceros de válvulas, en hojas tamaño carta, en donde se indicarán la clase, diámetro, material y detalles de las piezas especiales y estado que guardan, así como de las tuberías, las calles en que se localizan, así como las referencias y los paramentos de las calles.

El Organismo Operador deberá considerar el señalamiento vial y la protección del lugar de trabajo requerido, por lo que se considerarán las disposiciones de tránsito respecto a normas de señalización y el trabajo nocturno para las vialidades con problemas de tránsito.

Se reportará la siguiente información:

- Fichas técnicas conteniendo la información referente a diámetros y materiales de las redes revisadas.
- Elaboración de fichas con la ubicación y estado de las cajas de válvulas, así como croquis de las piezas que conforman cada crucero y el detalle de su estado actual.
- Fichas técnicas conteniendo información referente al diámetro y tipo de válvulas existentes, detallando el estado actual de cada una de ellas.
- Cuadros con la información de elevaciones de terreno y tubería; y de plantillas de cada una de las cajas de válvulas existentes.
- Ubicación de tomas domiciliarias visibles, referenciándolas al padrón de usuario por medio del nombre de la calle, la colonia y el número.
- Ficha técnica conteniendo la ubicación de pozos y tanques existentes en el área de la ciudad de Xalapa y zonas conurbadas, con información complementaria como capacidad instalada del equipo de bombeo, características de la bomba, diámetro de ademe,

diámetro de columna, características y medidas de la caseta, características y capacidad del equipo de cloración, características y capacidad del arrancador y de la subestación así como del equipo elector mecánico complementario, capacidad de tanques, materiales de fabricación características generales de su estado, características y capacidad de los equipos de rebombeo. Todo esto acompañado de un croquis de las instalaciones elaboradas conforme a la simbología marcada por la dependencia reguladora. Así mismo, se deberá georeferenciar la ubicación cada estructura.

- Estado actual de operación de válvulas. Esta información se obtendrá directo del levantamiento físico en campo; por lo que para las válvulas que se encuentran semiabiertas se determinará el área hidráulica con la que operan, y las válvulas que están trabadas, con el vástago roto o la compuerta caída, se utilizará otro método que permita conocer el estado de operación de dicha válvula.
- Para el levantamiento de red de drenaje existente, se localizará y determinarán los diámetros de las tuberías que convergen, profundidad, niveles de plantillas hidráulicas y de terreno natural y/o tapa, material y estado de la tubería así como el sentido de escurrimiento del agua. Este concepto será ejecutará en la totalidad de las calles de la ciudad de Xalapa y zonas conurbadas con aproximación de un decimal.
- Con relación a los pozos de visita, se harán sondeos a cielo abierto con pico y pala, cuando la ubicación de los pozos de visita sea complicada, (estos trabajos los realizará el Organismo Operador) debido a la presencia de material producto del relleno en o sobre los brocales y tapas que conforman los pozos de visita. Asimismo y en el caso de no existir pozos de visita que permitan la inspección de la red existente, se deberán de localizar los lomos de las tuberías existentes mediante la implementación de sondeos a cielo abierto, trabajos que el Organismo Operador ejecutará y reparará.
- Los pozos de visita serán numerados con pintura roja y quedarán referidas a dos esquinas de paramentos existentes, y si se cuenta con levantamiento planimétrico serán referenciadas a la poligonal de apoyo con ángulo y distancia.
- Pozos libres. Son aquellos en las cuales no existe problema para obtener la información antes mencionada, deberá presentarse una fotografía del mismo, así como un croquis indicando las características de tubería, profundidad, niveles de plantillas hidráulicas y de terreno natural y/o tapa.
- Pozos azolvados. Son aquellos en los cuales se deberá eliminar el material de azolve para poder recabar la información, deberá presentarse una fotografía antes de proceder a desazolvar y otra posterior al desazolve en las cuales se vea el número que le corresponde, así como un croquis indicando las características de tubería, profundidad, niveles de plantillas hidráulicas y de terreno natural y/o tapa.
- Pozo sellado. Son aquellos pozos que se encuentran sellados por concreto y/o asfalto. Se deberá realizar la ubicación del pozo y se coordinará con la CMAS para que este proceda a la ruptura del asfalto y/o concreto, a fin de poder levantar la información referida, siendo también responsabilidad de la CMAS la re nivelación del brocal con tapa y/o su cambio así como los trabajos de repavimentación que se requieran.

Los trabajos de campo se presentarán con la siguiente información:

- 1 Fichas técnicas con los diámetros y materiales de las tuberías existentes.
- 2 Fichas con la ubicación de pozos de visita y con información de cotas de terreno y de plantilla de cada pozo.
- 3 Determinación de sentidos de escurrimiento de cada tramo de tubería revisada.
- 4 Fichas técnicas para la ubicación de atarjeas, colectores y subcolectores, con información de diámetros, materiales y estado actual de cada uno de ellos, así como el material y estado de cada atarjea.
- 5 Cuadros de ubicación de los cárcamos de bombeo existentes dentro de los 60 kilómetros de calles, conteniendo información referente a capacidad instalada, material, características y estado actual del equipo instalado y croquis de instalaciones.
- 6 Fichas técnicas en donde se determinen las líneas que trabajan a presión indicando su diámetro y material de fabricación y el posible riesgo de fuga que en ellas exista.
- 7 Ubicación de descargas domiciliarias referenciándolas al padrón de usuarios mediante la calle, la colonia y el número.
- 8 Ubicación de plantas de tratamiento de aguas residuales en caso de ser ubicadas dentro del área de estudio, indicando en su ficha técnica la capacidad de tratamiento y el caudal aproximado recibido.

**Levantamiento físico y sondeos a detalle de las captaciones operadas por la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS).**

Se ubicará la totalidad de las fuentes de abasto de agua a la ciudad de Xalapa, recopilando la información relativa a capacidades de extracción, potencia y características de la bomba, potencia y características del motor, diámetros de ademe y descarga, datos específicos del transformador y equipo eléctrico y demás información relevante, verificando y validando dicha información con el personal técnico de la Dirección de Operación de la CMAS, así como las coordenadas GPS en que se ubica este pozo. En el caso de captaciones por gravedad se determinará la capacidad de extracción, y la característica de las líneas de conducción y los sitios de entrega en la ciudad.

Se deberá considerar las siguientes recomendaciones:

- En el transcurso del levantamiento físico de las redes de agua potable, se deberá informar a la supervisión de las fugas visibles y no visibles detectadas por las brigadas topográficas, a fin de que el Organismo realice reparación de manera inmediata, a través del departamento correspondiente.
- Al hablar de la totalidad de las calles en Xalapa y zonas conurbadas, se refiere a kilómetro de calle recorrido, sin importar el número de redes de agua o drenaje que en ella se localicen, ni del ancho de vialidad existente.
- Al revisar las cajas de válvulas, deberán detectarse las cajas que se hayan perdido por efecto de repavimentaciones, para lo cual la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), asignará una brigada que se encargará de los trabajos

requeridos para la re nivelación de las mismas, correspondiendo a la empresa consultora el procedimiento de levantamiento físico con las características antes mencionadas.

- Para los casos en que la distancia entre una caja de válvulas y otra sea mayor a 1 kilómetro, se deberán realizar al menos 2 calas para determinar las características de la tubería principalmente en los cruces, siendo responsabilidad del Organismo Operador realizar los trabajos de ruptura de pavimento ó asfalto y reparación de los mismos.
- Para el caso en que exista una distancia mayor a 400 metros entre pozos de visita, se deberá realizar la verificación de la trayectoria de la tubería a fin de garantizar su ubicación física.
- Se deberá entregar un informe detallado de las redes de agua potable y drenaje que durante el levantamiento físico se detecten como fuera de servicio, a fin de comprobar la posibilidad de integrarlas al sistema.

## **Procesamiento de información**

### **Elaboración de Planos Digitales de Redes**

Durante el desarrollo de este apartado, se elaborarán los planos digitales de las redes de agua potable y drenaje en ARC VIEW 8 (ARCGIS I), entregando avances parciales para su revisión y conteniendo toda la información de las fichas técnicas y cuadros obtenidos en campo a fin de vaciar toda la información a medio magnético, ajustándolos con las referencias geográficas del sistema ITRF92 con latitud, longitud y altitud con que se cuentan para que la ubicación de cada elemento sea lo más precisa posible.

El dibujo de planos se realizará conforme a la simbología establecida por las dependencias normativas y la renta o compra de puntos GPS con que cuenta el INEGI, correrá por cuenta del contratista, debiendo entregarlos a la CMAS al finalizar el estudio.

Este concepto se ejecutará por kilómetro de calle dibujado, por lo que los avances deberán reportarse a la supervisión para su autorización.

#### **4.4.3 Conformación de sectores hidrométricos**

El aislamiento de distritos hidrométricos o sectores es quizá el aspecto más relevante en cualquier trabajo de sectorización. Su adecuada verificación determinará la calidad de los trabajos ejecutados y en consecuencia los beneficios que se obtendrán en relación a la mejora de eficiencia. Es importante que los proyectos de sectorización cuenten con información de diseño, es decir, los planos de catastro hayan sido verificados y validados y que los sitios en los que se realizan los seccionamientos estén localizados y puedan verificarse. Para ello se deberá contar con los trabajos previos en este plan de acciones debidamente terminados.

Es necesario disponer de la información de diseño de los sectores para su revisión y comprensión previa a que los trabajos se realicen. Conocida la información de diseño serán más productivos los recorridos de verificación requeridos antes del aislamiento.

La verificación del aislamiento se realiza en dos etapas. La primera antes del aislamiento identificando puntos sobre las líneas de distribución a ser segmentadas o en sitios donde se consideren conexiones adyacentes dentro y fuera de los sectores. La verificación previa consiste en la determinación de la continuidad de las redes a través de la verificación de los valores de presión en conexiones adyacentes fuera y dentro del sector. Los valores de presión se localizan en un plano de las redes pues serán considerados como referencia una vez aislados los sectores.

El aislamiento de los sectores se hará a través de la instalación de válvulas de compuerta en cada uno de los sitios de aislamiento identificados. A la válvula se le instalará una placa de lámina de acero calibre 10 fabricada en sitio y de acuerdo a los orificios de las bridas de las válvulas. Esta placa tiene la finalidad de evitar que los operadores abran las líneas, las válvulas de seccionamiento se instalan con la finalidad de contar con respaldo en caso de que existen fallas o los sectores se dejen de operar como unidades de control.

La segunda etapa se ejecuta luego de haber aislado físicamente el sector. Consiste en la verificación de los valores de presión levantados en la primera etapa, considerando que deberá haber diferencia entre los valores dentro y fuera del sector. En caso de que esta situación no se presente se deben buscar las causas y determinar la solución.

El número de sitios de levantamiento de presiones en ambas etapas es de 20 sitios, diez dentro del sector y diez fuera del sector.

Los resultados permitirán determinar si los trabajos de sectorización fueron suficientes para aislar el sector y definir la frontera real del mismo en caso de que el aislamiento no se haya realizado al 100%.

#### 4.4.3.1 Determinación de valores de eficiencia

La razón por la que se realiza la sectorización es con la finalidad de tener control sobre los volúmenes consumidos y suministrados en una zona delimitada y que se conoce su cobertura. Se considera que la eficiencia física es el cociente entre el volumen consumido y el volumen suministrado. El volumen consumido se determina a través de la sumatoria de la totalidad de los consumos que se realizan en conexiones de servicio dentro de los sectores, ya sean medidos o estimados. Para determinar el volumen consumido se requiere que la dirección comercial del organismo operador proporcione la totalidad de las cuentas existentes en el padrón de usuarios propiedad del organismo, agregando en cada uno de los registros los valores de consumo para al menos tres periodos de facturación y la forma como cada consumo fue determinado, es decir, si fue medido o estimado. La información contenida en este listado se analizará y del análisis resultarán tres conclusiones parciales: a) la calidad de las estimaciones de consumos realizadas y

una aproximación del valor de pérdidas por errores en la estimación de consumos; b) la calidad de los trabajos de lectura de medidores por el personal del organismo operador, lo que permitirá determinar el valor aproximado que representa este rubro en términos de pérdidas; d) el nivel de clandestinaje aproximado en el sector. En el caso de Jalapa la determinación del volumen consumido deberá ser muy preciso pues los trabajos de actualización del padrón de usuarios y la implantación de facturación en sitio permitirá contar con información diaria y confiable sobre el estatus de los consumos.

Por su parte el volumen de agua suministrado al sector se determina a través de la medición en los sitios de suministro. Es deseable que el organismo cuente con medidores instalados permanentemente en dichos sitios, situación para la cual bastará con tomar los registros del totalizador para periodos de tiempo similar y coincidente con los periodos de facturación. En el caso de que el organismo no cuente con medidores fijos permanentes en los sitios, se revisará el procedimiento aplicado para la determinación de los volúmenes suministrados y se hará una crítica sobre el mismo acompañada de una estimación de los volúmenes que representan las fallas potenciales en la estimación. En el caso de contar con medidores fijos permanentes se revisará también los procedimientos generación de volúmenes a fin de identificar fallas que pudieran representar pérdidas.

Una vez que se cuente con los valores de volumen consumido y suministrado para cada uno de los sectores se procede a determinar el valor de eficiencia física para los tres periodos de tiempo revisados. Con el diagnóstico realizado sobre la confiabilidad en la generación de los mismos se desarrollara un modelo de toma de decisiones en Excel donde se revisará el efecto de corregir las fallas identificadas sobre los valores de eficiencia. Se listarán las acciones en orden de prioridad y costo a fin de que el organismo operador pueda decidir sobre su aplicación.

#### **4.4.3.2 Pruebas de hermeticidad de sectores**

La hermeticidad de los sectores se verificará a través de la determinación de un indicador de consumo nocturno, considerando como premisa que el consumo por la noche tiende a ser nulo y que la mayor componente de este son las fugas potenciales que se presentan en las redes de distribución en el sector. Los medidores instalados se instrumentarán a fin de poder medir este consumo en un periodo de 24 horas. Al término de ese periodo y con la medición de presión a la entrada en la red se calculará el indicador y se determinará el grado de hermeticidad en el sector.

Con estas pruebas será posible identificar los valores de eficiencia máximos que se podrán lograr para cada uno de los sectores en evaluación.

El programa de ejecución de los proyectos referidos anteriormente quedaría como sigue:

ACCION	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10
4.5 Actualización del Padrón de Usuarios	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX				
4.6 Mejora de medición de consumos		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX			
Mejora de medición de producción	XXXX	XXXX	XXXX							
4.7 Levantamiento de catastro hidráulico			XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX		
4.8 Conformación de sectores hidrométricos (UN SECTOR)					XXXX	XXXX				
Seguimiento de las acciones		XXXX								

Tabla 4.6. Programa de ejecución de acciones.

Las acciones contenidas en el presente plan corresponden solo las identificadas para incrementar y controlar eficiencia, que son el objetivo del proyecto.

## 5 MODELO DE SIMULACIÓN HIDRAULICA EN SCADRED DE LA RED DE AGUA POTABLE PARA LA CMAS XALAPA, VERACRUZ

### 5.1.1 Recopilación de información del Sistema de Agua Potable

En el presente estudio se realizó la construcción del modelo de simulación hidráulica en SCADRED de la red de agua potable de Xalapa-Enríquez, esto con el fin de lograr dividir la red de agua de la ciudad en sectores hidráulicos, para lograr la disminución de pérdidas físicas y el control de presiones.

En la realización de una sectorización de la red de agua potable, comúnmente es usado un modelo de simulación hidráulica como una herramienta para lograr obtener los Distritos Hidrométricos (en inglés district metered áreas DMAs).

Para la construcción del modelo de simulación hidráulica se necesita una cantidad importante de información. En la Tabla 3.1 se describen los componentes de información requeridos en la construcción de un modelo de simulación de un sistema de agua potable. En ocasiones no es

necesario recopilar todos los componentes, esto depende de la forma en que opere la red a considerar.

**Tabla 5.1.-Conjunto mínimo de propiedades necesarias para el modelo de componentes de una red de distribución [Alcocer y Tzatchkov, 2007].**

Componentes	Propiedades
Uniones	Etiquetado ID (Identificación)
	Altura
	Demanda
Tanques o depósitos	Modelo de demanda
	Etiquetado ID (Identificación)
	Altura
	Nivel Inicial del agua
Tuberias	Curva volumétrica de nivel de agua
	Nodo inicial
	Nodo final
	Diámetro
	Longitud
Bombas	Coefficiente de rugosidad
	Nodo inicial
	Nodo Final
Válvulas	Curva altura-caudal
	Etiquetado ID (Identificación)
	Nodo inicial
	Nodo final
	Tipo
	Ajuste de presión/caudal

Para el caso del proyecto de modelación hidráulica de la red de distribución de la ciudad de Xalapa-Enríquez, Veracruz, la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa-Enríquez, Veracruz (CMAS), contribuyó con la siguiente información:

- Información general de la zona (Población, ubicación de las fuentes de abastecimiento y sus características, dotación, población de diseño etc).
- Planos digitales en AutoCAD® de la zona de estudio con el trazo de la red hasta el año 2005.
- Diagrama de flujo de los tanques y las fuentes de abastecimiento de la red de agua potable.

La información general proporcionada la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), se revisó y se analizó. En esta etapa surgieron dudas que a continuación se plantean:

- En el diagrama de flujo (en formato PDF) dice que el tanque Loma Sol alimenta al tanque Toluca y al tanque Zona Media, que no ha de ser, ya que estos dos tanques tienen elevación más alta que el tanque Loma Sol.
- En el plano de AutoCAD® el tanque Loma Sol no aporta a la línea que viene de la Planta Potabilizadora, como lo muestra el diagrama de flujo (en formato PDF).
- En la información de los tanques (en formato Excel) la dirección de los dos tanques Loma Sol I y II es la misma (18 de Agosto #16 Prol. Porvenir), pero en el plano de AutoCAD®/ArcMap® se ven alejados uno a otro.
- En el diagrama de flujo (en formato PDF) los tanques Loma Sol I y II alimentan a la misma línea, pero en el plano de AutoCAD®/ArcMap® se ve que alimentan a líneas diferentes.
- No está(n) en el plano la(s) línea(s) que alimenta(n) al tanque Cerro del Estropajo. Tampoco está(n) las líneas que salen del mismo tanque.
- No está en el plano el Rebombéo Jaramillo, con las líneas que lo alimentan
- No está en el plano la línea entre el tanque Cerro del Estropajo y el tanque Porvenir Elevado
- No se ve en el plano una conexión directa entre los tanques Lomas Verdes y Pastoresa. Se ve conexión por un camino muy largo, que no parece la real.
- En la forma como está dibujado en el plano, el tanque Pastoresa se alimenta del tanque Bach, no del tanque Lomas Verdes como viene en el diagrama de flujo (en formato PDF).
- No está en el plano el tanque Los Arenales
- En el diagrama de flujo (en formato PDF) dice que el tanque Los Arenales se alimenta del tanque Guerrero, pero en la información de los tanques (en formato Excel) dice que recibe agua del tanque Niño Perdido.
- No está en el plano el Cárcamo Rebombéo Ánimas. Hay otro rebombéo con el nombre Estación de Rebombéo El Castillo, que no está en el diagrama de flujo (en formato PDF). No está claro si Cárcamo Rebombéo Ánimas es lo mismo que Estación de Rebombéo El Castillo.
- Según el diagrama de flujo (en formato PDF) al tanque Beethoven le llega agua de tres tanques (Guerrero, Fco. Villa y Cárcamo Rebombéo Ánimas) y tiene una salida, pero en el plano se conecta con tres líneas (falta una llegada o salida).
- El tanque Jardines de Xalapa está en el plano de AutoCAD®, pero no está en el diagrama de flujo (en formato PDF) ni en la información de los tanques en formato Excel.
- En Privada Ferrocarril Interoceánico está dibujada una simbología de tanque con el nombre CISTERNA que se conecta con la red. No está claro si esto es un tanque.
- En el plano de AutoCAD® no hay tuberías que se unan con el tanque Ejidal (Ranchito Sumidero).
- El plano de AutoCAD® señala un tanque (de hecho dos tanques uno al lado de otro) con el nombre Tanque de los F.F.C.C. que no está en el diagrama de flujo (en formato PDF) ni en la información de los tanques en formato Excel.
- El diagrama de flujo (en formato PDF) contiene un letrero "NORTE 8" que no está claro qué es. ¿Será que la tubería se deriva en la calle NORTE 8?

- En la información de los tanques (en formato Excel) dice que el tanque Margaritas recibe agua del Tanque Lomas Verdes, pero en el diagrama de flujo (en formato PDF) viene que recibe agua también del Acuaférico
- En la información de los tanques (en formato Excel) dice que los tanques Niño Perdido I y II reciben agua de la Planta Potabilizadora, pero en el diagrama de flujo (en formato PDF) viene que no recibe de la Planta Potabilizadora sino de Socoloyapan.
- En la información de los tanques (en formato Excel) dice que el tanque Toluca recibe agua de la Planta Potabilizadora, pero en el diagrama de flujo (en formato PDF) viene que no recibe de la Planta Potabilizadora sino de Socoloyapan.
- No están en el plano las tuberías con que se conecta el tanque Margaritas 2 de 3,000 m<sup>3</sup>
- El tanque Las Fuentes no está en el plano de AutoCAD®.
- La información de los tanques (en formato Excel) y el diagrama de flujo contienen el tanque Cerro Colorado, pero no hay tal tanque en el plano de AutoCAD®.
- En la información de los tanques (en formato Excel) dice que el tanque Ejidal Ranchito Sumidero recibe agua del tanque Encanto, pero en el diagrama de flujo (en formato PDF) viene que recibe del tanque Toluca.
- En la información de los tanques (en formato Excel) dice que el tanque Sumidero recibe agua del tanque Fco.Villa, pero en el diagrama de flujo (en formato PDF) viene que recibe tanque Toluca.
- La información de los tanques (en formato Excel) contiene el tanque La Pradera, pero no hay tal tanque en el diagrama de flujo ni el plano de AutoCAD®.
- El diagrama de flujo (en formato PDF) contiene el tanque Divisadero que no está en el plano de AutoCAD® ni en la información de los tanques en formato Excel.
- En el plano de AutoCAD® la fuente de abastecimiento Cofre de Perote-Sedeño aparentemente se conecta con los tanques Toluca y Zona Alta, pero en el diagrama de flujo no pasa así. En esta relación, favor de aclarar el cruce de líneas de 24" en la esquina de BLVD.ADOLFO RUIZ CORTINEZ y AV. ACUEDUCTO.
- En el diagrama de flujo la Planta Potabilizadora aporta agua al Cárcamo Porvenir, pero en el plano de AutoCAD® no está claro por cuál salida de la Planta Potabilizadora se hace.
- Se necesitan los datos del rebombeo Ánimas: curvas de las bombas o al menos la elevación piezométrica a su salida.
- En el plano de AutoCAD® el tanque Zapote Sumidero aporta al tanque Ejidal Ranchito Sumidero por la tubería de 4" que une los tanques Fco. Villa y Ejidal Ranchito Sumidero; y en el diagrama de flujo no viene así.

En la Tabla 3.2 se muestran las observaciones surgidas a lo largo de esta etapa, sin embargo no se logró una solución en el momento, debido a esto no se incluyeron en el modelo de simulación.

**Tabla 5.2.-Observaciones pendientes por resolver por parte de la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS).**

observaciones	Contestación del CMAS
En el plano no se encuentran las líneas que alimentan al tanque Cerreo del Estropajo, tampoco están las líneas que salen del mismo tanque.	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD
En el plano no se encuentra el rebombío el jaramillo, tampoco están las líneas que lo alimentan.	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD
En el plano no se encuentra la línea que se localiza entre el tanque Cerro del Estropajo y el tanque Porvenir Elevado.	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD
En el plano no se localiza la conexión directa entre los tanques Lomas Verdes y Pastoresa	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD
En el plano no se encuentra el tanque Los Arenales.	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD
En el plano no se encuentra el Carcamo Rebombío Ánimas	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD
En el plano no se encuentran las tuberías con las que se conecta el tanque Margarita 2	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD
En el plano no se encuentra el tanque Las Fuentes	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD
En el plano no se encuentra el tanque Cerro Colorado	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD
En el plano no se encuentra el tanque Divisadero	Hacer actualización del plano digital en AutoCAD

Para la asignación de la elevación de los nodos se considera el Continuo de Elevaciones Mexicano 2.0 (CEM 2.0) proporcionado por el INEGI.

El CEM representa las elevaciones del territorio Mexicano, ello mediante valores que indican puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica se encuentra definida por coordenadas (X,Y) a las que se le integran valores que representan las elevaciones (Z). Los puntos se encuentran espaciados y distribuidos de modo regular a cada segundo de arco (ver figura 3.1).

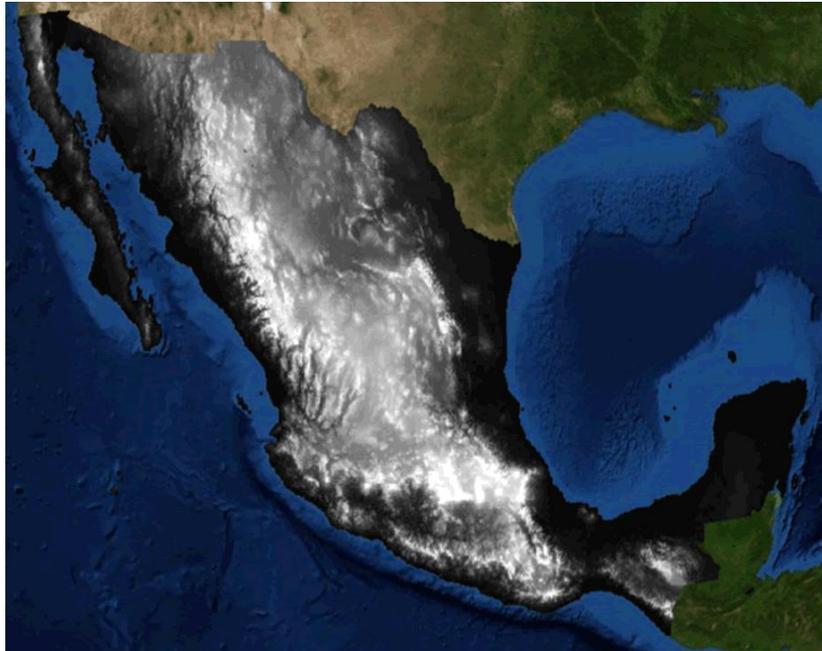


Figura 5.1.- Imagen del CEM 2.0

## 5.2 CONTRUCCION DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Actualmente los modelos de simulación son sistemas de fácil manejo permitiendo a los usuarios de diferentes niveles técnicos, analizar y mostrar los parámetros hidráulicos y de calidad del agua dentro de un sistema de distribución de agua potable [Alcocer y Tzatchkov, 2004].

De forma general un programa de cómputo comercial sobre modelación hidráulica en redes de distribución pide al menos los datos siguientes:

- Tuberías: diámetro, longitud, coeficientes de pérdidas de carga por fricción.
- Nodos: elevación, demanda de agua
- Conexiones entre tuberías (topología de la red).
- Tanques: nivel del agua (se considera constante en un análisis de flujo permanente)
- Bombas: curvas gasto-carga, nivel dinámico, pérdidas de carga menores
- Válvulas (abiertas, cerradas o semicerradas).

En México, El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua ha desarrollado los programas de cómputo SCADRED<sup>®</sup> [Tzatchkov e Izurieta, 1996], para el cálculo hidráulico en redes en condiciones permanentes y no permanentes. El cual se implementó para simular la red de agua potable de Xalapa. En la Tabla 3.3 se muestran los datos implementados en el Programa SCADRED<sup>®</sup>, también en la figura 3.2 se ilustra el modelo de simulación de la red de agua potable.

Tabla 5.3.-Información implementada en el Programa SCADRED®.

Información	Fuente
Población de 457928 habitantes	Censo de población 2010
Dotacion de 250.0 l/hab/día	CONAGUA
Coficiente de Variación de 1.20	Propuesto
Coefficiente de variación horaria de 1.50	Propuesto
Elevación de los nodos	CEM 2.0 (INEGI)
Tuberia de material P.V.C y A.C. de diferentes diametros	Supuesto
Tanques	CMAS
Fuentes de Abastecimiento	CMAS

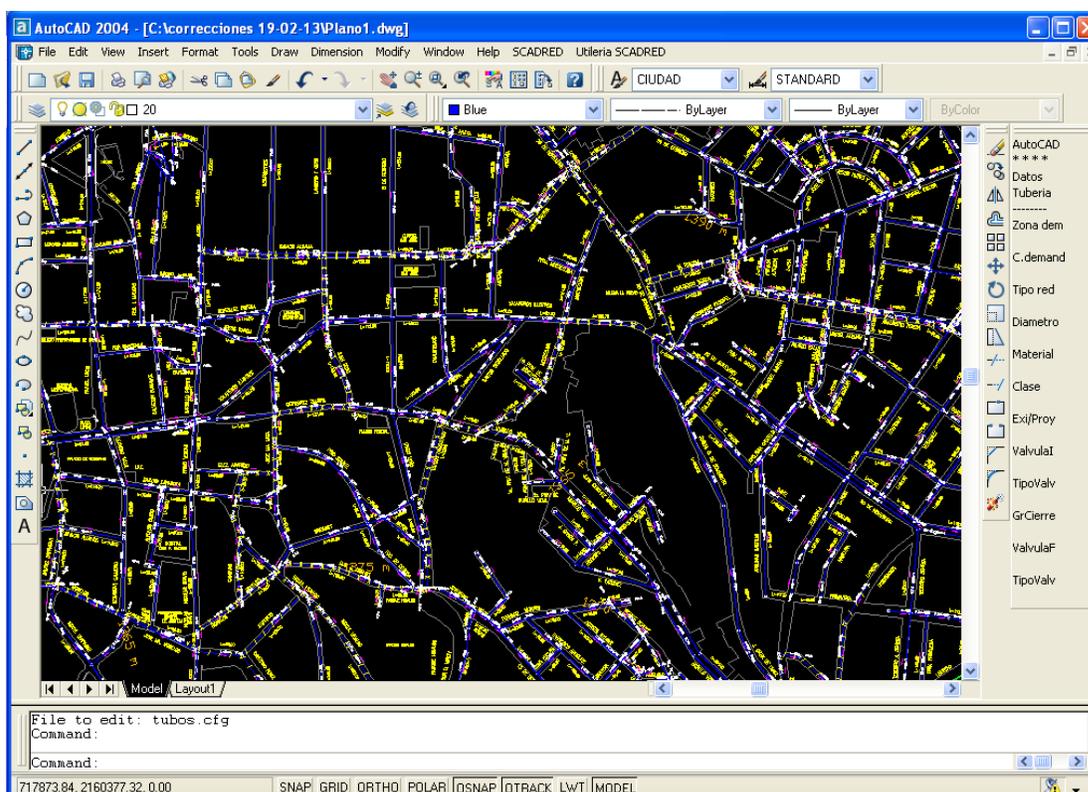


Figura 5.2.-Red de Agua potable de Xalapa, modelada en el programa SCADRED®.

### 5.3 PROPUESTA DE SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCION DE LA CIUDAD DE XALAPA-ENRIQUEZ, VERACRUZ

El modelo de simulación de la red de agua potable fue construido, sin embargo se debe tener en consideración que la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa (CMAS), no proporciono el catastro actualizado hasta la fecha.

Utilizando el modelo de simulación se propone una primera etapa de la propuesta de sectorización, donde se proponen 28 sectores los cuales son abastecidos por un tanque o una fuente de abastecimiento directa (ver figura 3.3). En las tablas 3.4 se muestran las tuberías que se deben cerrar para lograr la propuesta provisional de sectorización de la red de distribución de la ciudad de Xalapa-Enríquez, Veracruz.

**Tabla 5.4.-Tuberías a Cerrar de la Red de Agua Potable de Xalapa.**

Tuberías a cerrar		Diámetro	Ubicación
Nodo inicial	Nodo final		
4310	4309	6 pulgadas	Esquina Circuito Tajin con Calle 1
4926	4925	3 pulgadas	Sobre Fernando mercado, Entre Federalismo y Transversal
3309	3620	8 pulgadas	Calle Tulipanes
4099	5799	3 pulgadas	Junto al tanque Araucarias
6765	666	3 pulgadas	Sobre Av. Magonolias, entre Gorrion y Fuente primavera
654	665	3 pulgadas	Esquina Paseo de las animas y Garzas
655	664	3 pulgadas	Sobre Av. De las jacarandas, entre Verdines y Paseo de las animas
1709	4106	4 pulgadas	Esquina Entrada Animas con Carretera Federal a Veracruz
4096	11410	4 pulgadas	Esquina Callejon Animas y Fuente de la Primavera
662	623	4 pulgadas	Sobre Fresnos, entre Av. Araucarias y A. Humanos
90	12768	3 pulgadas	Sobre Pico de orizaba, entre Luis de Gongora y Av. Araucarias
5620	12855	3 pulgadas	Sobre Enrique Z. Mercado, entre Interoceanico y Priv. Norte
15	4145	3 pulgadas	Esquina Leles y Interoceanico
5785	13030	6 pulgadas	Esquina Av. Americas y Interoceanico
14	15396	3 pulgadas	Esquina Av. Americas y Interoceanico
5436	12586	3 pulgadas	Sobre Higueras
4229	12127	3 pulgadas	Esquina Obrero con 20 de Noviembre
4793	12539	6 pulgadas	Esquina Emilio Carranza con Av. 20 de Noviembre
13	15	3 pulgadas	Esquina Leles y Interoceanico
4853	2563	3 pulgadas	Esquina Emilio Carranza con Leles
4207	2765	3 pulgadas	Sobre Francisco Saravia, entre Av. 20 de noviembre con Av. Americas
15409	6371	3 pulgadas	Esquina Av. 20 de Noviembre con Av. Avila Camacho
2744	4831	3 pulgadas	Esquina Coatepec con Ernesto
2748	4831	3 pulgadas	Entre Francisco Rivera y Ernesto
5215	1462	3 pulgadas	Esquina Saltillo y nuevo leon
11565	4399	3 pulgadas	Esquina Carr. Fed. A Mexico con Av. Mexico
4953	12896	3 pulgadas	Esquina Av. Mexico con 5 de Mayo

Continuación de la tabla 3.1

Tuberías a cerrar		Diámetro	Ubicación
Nodo inicial	Nodo final		
5215	2220	3 pulgadas	Esquina Saltillo y nuevo leon
5215	5216	3 pulgadas	Esquina Saltillo y nuevo leon
4438	5630	3 pulgadas	Sobre Ruiz Cortinez, entre 21 de Agosto con pablo Casas
6500	3823	8 pulgadas	Esquina 21 de Agosto con Av. Miguel Aleman
4499	11605	3 pulgadas	Esquina Chilpancingo con 12 de Octubre
2119	2120	3 pulgadas	Esquina Chilpancingo con 27 de Semptiembre
3560	5385	3 pulgadas	Esquina Quirasco con 16 de Septiembre
44	15387	3 pulgadas	Esquina Poeta Jesus Diaz con 20 de Noviembre
68	2536	3 pulgadas	Sobre manuel A. Guido, entre Trigos y 20 de noviembre
13930	3552	3 pulgadas	Esquina Candido Aguilar con Av. Lazaro Cardenas
2730	2731	6 pulgadas	Esquina Heron Lopez con Martires 28 de agosto
2759	2760	3 pulgadas	Esquina Martires 28 de Agosto con Av. Avila Camacho
11420	4105	3 pulgadas	Esquina Juan Sebastian Bach con Fresnos
505	478	3 pulgadas	Entre Tapachula y Leyes de Reforma
662	623	4 pulgadas	Sobre Fresnos, entre Av. Araucarias con A. Humanos
11933	4880	8 pulgadas	Esquina Av. Araucarias con Pico de Orizaba
4880	12348	6 pulgadas	Esquina Av. Araucarias con Pico de Orizaba
14825	3798	10 pulgadas	Esquina Arco vial con Quetzal
5170	12199	3 pulgadas	Esquina Desiderio Pavon con Enrique C. Rebsament
13072	1767	3 pulgadas	Esquina Francisco de Garay con Enrique C. Rebsamen
6916	4614	3 pulgadas	Esquina Bolivia con Encino
12964	4243	3 pulgadas	Esquina Bolivia con Encino
905	3804	8 pulgadas	Esquina Venustiano carranza con Av. De los atletas
3838	2760	8 pulgadas	Esquina Martires 28 de Agosto con Avila Camacho
4891	5224	3 pulgadas	Esquina Francisco Moreno con Avila camacho
4952	4393	3 pulgadas	Esquina Division del Norte con Av. Mexico
4243	4244	3 pulgadas	Sobre Bolivia, entre Nicaragua y Encino

Continuación de la tabla 3.4

Tuberías a cerrar		Diámetro	Ubicación
Nodo inicial	Nodo final		
235	236	3 pulgadas	Esquina Julio Rebolledo con Jose Diaz
2718	14472	3 pulgadas	Esquina Ricardo Dominguez con Francisco Navarrete
4944	11976	6 pulgadas	Esquina Hilario C. Salas con Manuel Avila Camacho
380	6805	3 pulgadas	Esquina Benito Juarez con Avila Camacho
5461	12614	3 pulgadas	Esquina F.C Subpacifico con Hortencia
4677	5377	6 pulgadas	Esquina Carlos Mendez Alcalde con Hortencia
11778	4677	3 pulgadas	Esquina Carlos Mendez Alcalde con Hortencia
5377	12626	3 pulgadas	Esquina Hortencia con Matamoros
302	284	3 pulgadas	Esquina Emiliano Zapata con Hilario C. Salas
278	10079	6 pulgadas	Esquina Ruiz Cortinez con Ignacio de la Llave
278	10079	6 pulgadas	Esquina Ignacio de la Llave con Ruiz Cortinez
273	274	3 pulgadas	Sobre Ruiz Cortinez, entre B. Dominguez y Juan Jose Torres
6838	6578	6 pulgadas	Esquina 7 de Noviembre con Luis Garcia Ochoa
10014	62	3 pulgadas	Sobre 20 de Noviembre, entre M. rincon y Moctezuma
4796	110	3 pulgadas	Esquina Gabriel Gavira con Adalberto Tejeda
4879	147	8 pulgadas	Esquina adalberto Tejeda con Zempoala
5419	5420	3 pulgadas	Esquina Adalberto Tejeda con Veracruz
6740	820	3 pulgadas	Sobre Jose de Emparam, entre Primavera y Rio Vinazco
10226	815	3 pulgadas	Esquina Rio Misantla con Rio Vinazco
11813	806	3 pulgadas	Sobre Rafael Murillo Vidal, entre Rio Tesechoacan y Rio Coatzacoalcos
4706	5436	3 pulgadas	Esquina Centenario con Independencia
5437	15452	3 pulgadas	Esquina Hernan Cortes con Centenario
4930	11963	3 pulgadas	Esquin 24 de Febrero con Matamoros
3558	3229	3 pulgadas	Esquina Gustavo Diaz Ordaz con Privada Ferrocarril Interoceanico
4209	2346	4 pulgadas	Esquina And Zapote con Al Sumidero
5309	4248	3 pulgadas	Sobre Costa Rica, entre Nicaragua y Encino
4247	4671	3 pulgadas	Sobre Centro America, entre Nicaragua y Encino

Continuación de la tabla 3.4

Tuberías a cerrar		Diámetro	Ubicación
Nodo inicial	Nodo final		
15416	4843	4 pulgadas	Esquina Calle Granada con Retorno primera hidalgo
4807	4843	4 pulgadas	Esquina Calle Granada con Retorno primera hidalgo
14570	3702	4 pulgadas	Esquina Camino Al sumidero con Privada Lazaro Cardenas
3702	7903	3 pulgadas	Esquina Camino Al sumidero con Privada Lazaro Cardenas
6221	4196	5 pulgadas	Esquina Esperanza Bringas con Av. Xalapa
2687	5003	3 pulgadas	Sobre Marcos Elizalde, entre Fraternidad con Martires 28 de Agosto
2253	2254	3 pulgadas	Sobre Av. Primera de Mayo, entre Virgilio Uribe con Maritres 28 de Agosto
11520	4300	3 pulgadas	Casi Esquina Luis donaldo Colosio y Prolongación Acueducto
3315	6043	6 pulgadas	Sobre Medicos, entre Bulevard Ruiz Cortinez con Av. Xalapa
3865	2260	3 pulgadas	Esquina Adolfo Ruiz Cortinez con Lucio Blanco
11329	3864	3 pulgadas	Esquina Ingenieros con Lucio Blanco
4288	14113	3 pulgadas	Sobre Calle del Museo, entre Lopez Arias y Lucio blanco
2262	11355	3 pulgadas	Esquina Fraternidad con Privada 26 de Agosto
2677	6395	3 pulgadas	Esquina Francisco Rivera con Avenida Adolfo Ruiz Cortinez
5392	5260	4 pulgadas	Esquina Merida con Avenida Xalapa
3627	3007	8 pulgadas	Sobre Avenida Lazaro Cardenas, entre Delfino Valenzuela y Gildardo Aviles
5094	2128	3 pulgadas	Esquina Miguel aleman con Lazaro Cardenas
3267	10962	16 pulgadas	Esquina Merida con Norte 8
6504	6275	3 pulgadas	Esquina Poniente 2 con Central Sur
6510	10644	3 pulgadas	Esquina avenida Norte 2 con Oriente 5
2052	2043	3 pulgadas	Esquina Rio Ierma con Rio Soto la Marina
11476	4028	3 pulgadas	Esquina Rio Acotapan con Rio Bravo
4027	4028	6 pulgadas	Esquina Rio Acotapan con Rio Bravo
4803	4012	3 pulgadas	Esquina Rio bravo con Rio Consulado
3173	4023	3 pulgadas	Esquina Vías de Ferrocarril con Joaquin Ramirez
910	911	3 pulgadas	Sobre Santo Domingo, entre Nicaragua y Encino
900	10248	3 pulgadas	Sobre Nicaragua, Entre Fresno y Guatemala

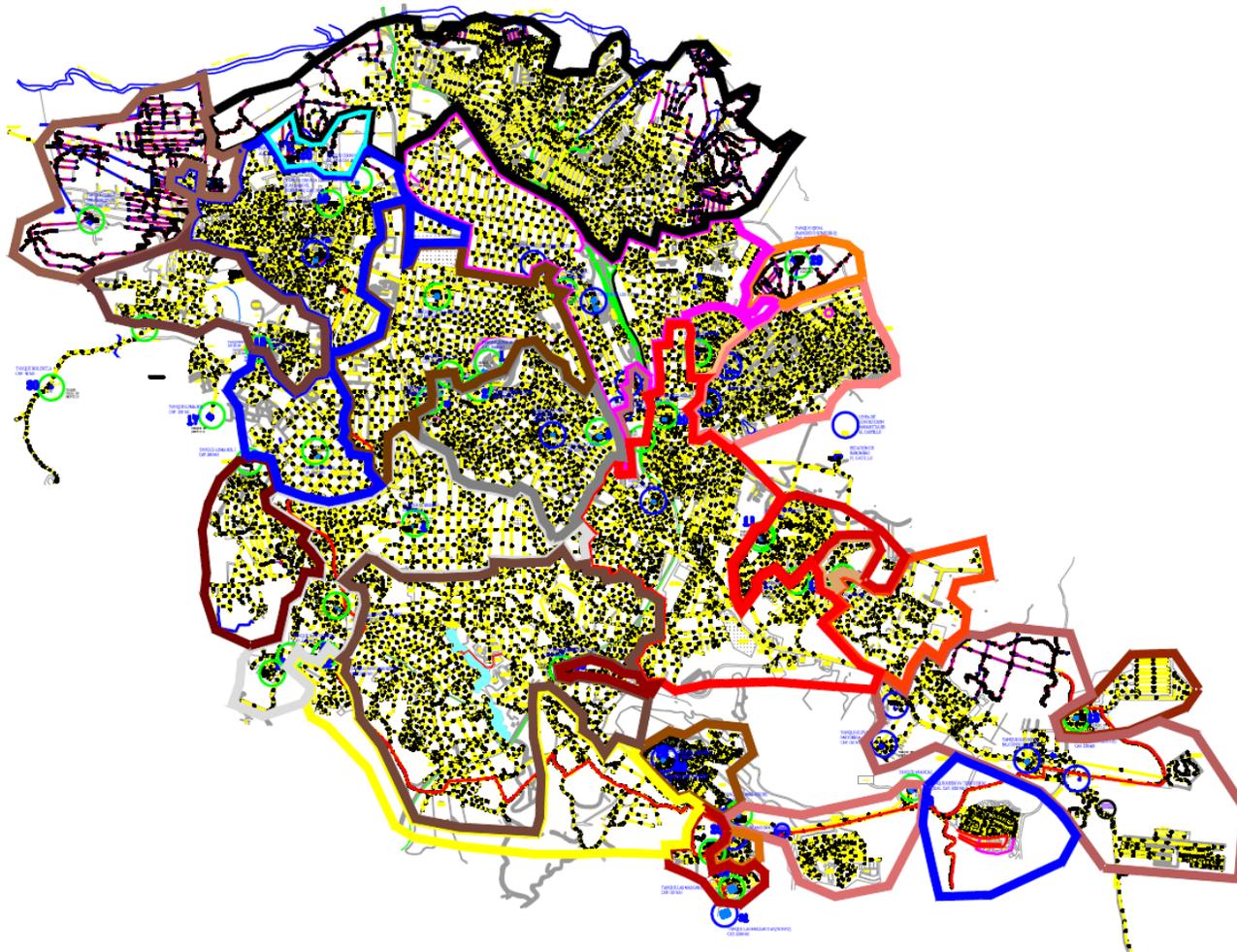


Figura 5.3.-Sectores Hidráulicos.

## 5.4 REFERENCIAS

Alcocer V., Tzatchkov V. (2007), Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de agua potable, Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas Manual de Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento, MAPAS, CONAGUA.