

ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN, DE LA CIUDAD DE MATAMOROS, TAMPS.

CONVENIO HC-0947.3

Autores:

**Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka
M.I. José Manuel Rodríguez Varela
Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Coordinación de Hidráulica
IMTA**

Revisión por parte de la Junta de Aguas y Drenaje de la Ciudad de Matamoros:

**Ing. Roberto Méndez Villagómez
Ing. Felipe Quintero Treviño
Arq. Sandra Alvizo Sandoval
Gerencia Técnica y de Saneamiento**

**Lic. César Gerardo González Solís
Lic. Homero García Ramírez
Lic. Isaías Colunga Robles
Gerencia Comercial**

Diciembre de 2009

ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN, DE LA CIUDAD DE MATAMOROS, TAMPS.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	8
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	12
2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	17
2.1 Modelo de simulación.....	17
2.2 Introducción de planimetría dentro del modelo de simulación.....	19
2.2.1 Incorporación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) al modelo de simulación	19
2.3 Detección de inconsistencias (Primera etapa).....	21
2.4 Detección de inconsistencias (Segunda etapa).....	29
2.5 Modelo de la red en EPANET.....	30
2.5.1 Curso de capacitación en el manejo del EPANET a personal de la JAD.....	32
2.6 Conclusiones.....	34
3. CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA RED.....	35
3.1 Evaluación de la simulación del modelo hidráulico.....	36
3.2 Precalibrado del modelo.....	37
3.3 Calibrado fino del modelo.....	37
3.4 Análisis de sensibilidad.....	39
3.5 Calibración del modelo de simulación de la red de Matamoros, Tamaulipas.....	39
3.6 Conclusión.....	39

4. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA CONDUCCIÓN HACIA EL POBLADO “EL MEZQUITAL”	40
4.1 Recopilación de Información	40
4.2 Análisis hidráulico considerando flujo permanente	47
4.3 Análisis hidráulico considerando flujo transitorio	54
4.3.1 Condiciones de resistencia de la tubería	¡Error! Marcador no definido.
4.4 Recomendaciones.....	62
5. DISEÑO DE REFORZAMIENTOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE MATAMOROS, TAMPS.....	64
5.1 Diseño de tubería de refuerzo en la red de distribución de Matamoros	64
5.2 Recomendaciones y Conclusiones	75
6. SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE MATAMOROS, TAMAULIPAS.....	76
6.1 Macro sectores de acuerdo a la zona de influencia de cada planta potabilizadora	76
6.2 Zonas de influencia de Tanques	78
6.3 Sectores de la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 2 (PP2)	80
6.3.1 Sectores de la zona de influencia del bombeo hacia el Cefereso	80
6.3.2 Tanque 3	83
6.3.3 Sectores de la zona de influencia del bombeo director a Red desde la PP2	84
6.4 Sectores de la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 1.....	89
6.5 Sectores de la zona de influencia de la Planta Paquete 2	91
6.6 Costos de la sectorización	93
6.6.1 Costos para sectorizar la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 2.....	95

6.6.2	Costos para sectorizar la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 1.....	96
6.6.3	Costos para sectorizar la zona de influencia de la Planta Paquete 1.....	97
6.6.4	Costos para sectorizar la zona de influencia de la Planta Paquete 2.....	97
6.6.5	Costo total para sectorizar toda la ciudad de Matamoros.....	97
6.7	Programa de inversiones a corto, mediano y largo plazo para la sectorización.....	97
6.7.1	Costos de inversión a corto, mediano y largo plazo.....	98
6.8	Conclusiones	100
7.	ANÁLISIS DE EXACTITUD EN MICROMEDIDORES	102
7.1	Introducción	102
7.2	Metodología realizada.....	103
7.2.1	Usuarios del servicio	103
7.2.2	Selección de la muestra aleatoria	111
7.2.3	Realización de pruebas en campo	112
7.2.4	Resultados del muestreo en campo	116
7.3	Conclusiones y observaciones del muestreo en medidores domiciliarios.....	129
8.	EVALUACIÓN DE MACROMEDIDORES EN INDUSTRIAS.....	131
8.1	Empresa - Proteínas Básicas	131
8.2	Empresa - Coca Cola.....	134
8.2.1	Medidor 1 – empresa Coca Cola.....	134
8.2.2	Medidor 1B – empresa Coca Cola	136
8.2.3	Medidor 2 – empresa Coca Cola.....	137
8.3	Empresa - Hotel Holiday Inn	139
8.4	Empresa - Hotel Residencial Best Western.....	142

8.5	Empresa - Plaza Fiesta	144
8.6	Premezclados.....	145
8.7	Stepan	147
8.8	Resumen general	149
9.	EVALUACIÓN DE UN DISTRITO HIDROMÉTRICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN (CIUDAD INDUSTRIAL).	152
9.1	Ubicación y número de usuarios	152
9.2	Trabajos de campo	154
9.2.1	Detección de fugas	154
9.2.2	Medición de caudal	154
9.2.3	Balance de Agua – Parque Industrial	158
9.3	Conclusiones	163
10.	CONCLUSIONES.....	166
11.	REFERENCIAS	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación de los medidores de acuerdo a los valores de q_{\min} y q_t	15
Tabla 2.1. Conjunto mínimo de propiedades necesarias para el modelo de componentes de una red de distribución.....	18
Tabla 2.2. Relación de inconsistencias localizadas por el IMTA (Parte uno)	22
Tabla 2.3. Relación de inconsistencias localizadas por el IMTA (Parte uno)	23
Tabla 3.1. Criterios de calibración hidráulica aplicados a redes de agua potable [Alcocer V., Tzatchkov V. (2007)]	36
Tabla 3.2. Nivel de detalle de lecturas de precisión [ref. 5.2].....	36
Tabla 4.1. Cálculo del momento volante de las bombas ubicadas en el cárcamo de bombeo	55
Tabla 5.1. Resumen de reforzamientos proyectados por el IMTA	74
Tabla 6.1 Caudales y capacidad de regulación requerida por zonas de influencia	78
Tabla 6.2. Zonas de influencia de los Tanques elevados	80
Tabla 6.3. Características de los sectores del bombeo hacia el Cefereso.....	83
Tabla 6.4. Características de los sectores que se suministran del bombeo directo a red desde la PP2	88
Tabla 6.5. Características de los sectores de la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 1	91
Tabla 6.6. Características de los sectores de la zona de influencia de la Planta Paquete 2.....	91
Tabla 6.7. Tubería nueva contra la tubería existente.....	93
Tabla 6.8. Costo por metro lineal de Instalación de tubería de agua potable en pavimento hidráulico (fuente: Gerencia Técnica y de Saneamiento de la JAD)	94
Tabla 6.9. Costo por metro lineal de Instalación de tubería de agua potable en Terracería (fuente: Gerencia Técnica y de Saneamiento de la JAD).....	95
Tabla 6.10. Costo de sectorización de la red de distribución por zona de influencia	96
Tabla 6.11. Costos de inversión a corto, mediano y largo plazo.....	99
Tabla 7.1. Desglose de usuarios considerando número de sector, tipo de servicio y consumo ...	105
Tabla 7.2. Rutas con mayor incidencia de usuarios debajo de 15 metros cúbicos con respecto a su total.....	108
Tabla 7.3. Rutas con mayor incidencia de usuarios debajo de 10 metros cúbicos con respecto a su total.....	109
Tabla 7.4. Distribución de usuarios de la muestra por número sector	112
Tabla 7.5. Errores en la micromedición calculados por marca y por zona (1).....	116
Tabla 7.6. Errores en la micromedición calculados por marca y por zona (2).....	117
Tabla 7.7. Errores en la micromedición calculados por marca y por zona (3).....	118
Tabla 7.8. Errores en la micromedición calculados por marca y por zona (4).....	119
Tabla 7.9. Resumen de los errores en la micromedición calculados por marca	121
Tabla 7.10. Error global en la micromedición	121
Tabla 7.11. Clasificación de los medidores de acuerdo a los valores de q_{\min} y q_t	129
Tabla 8.1. Datos generales correspondientes a la medición en el medidor 1 de la Coca Cola. ...	134
Tabla 8.2. Datos generales correspondientes a la medición en el medidor 1B de la Coca Cola..	136
Tabla 8.3. Datos generales correspondientes a la medición en el medidor 2 de la Coca Cola. ...	138
Tabla 8.4. Datos generales correspondientes a la medición en el Hotel Holiday Inn.	140



Tabla 8.5. Datos generales correspondientes a la medición en el Hotel Best Western Residencial	142
Tabla 8.6. Datos generales correspondientes a la medición Plaza Fiesta	144
Tabla 8.7. Datos generales correspondientes a la medición de la empresa Premezclados.	146
Tabla 8.8. Datos generales correspondientes a la medición de la empresa Stepan.....	148
Tabla 8.9. Resumen de los datos medidos en cada una de la empresas	151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1. Introducción de planimetría al modelo de simulación en formato InfoWorks®	20
Ilustración 2.2. Modelo digital de elevaciones dentro del modelo de simulación en formato InfoWorks®	20
Ilustración 2.3. Inconsistencia del catastro no. 9 (tubería sin conectar)	24
Ilustración 2.4. Detalle del catastro 10 (Tubería aislada)	25
Ilustración 2.5 Detalle del catastro 11-1 (Errores de interconexión)	26
Ilustración 2.6 Detalle del catastro 11-2 (Red sin conectar y falta de catastro)	27
Ilustración 2.7 Detalle del catastro 12 (Tubería duplicada y red separada)	28
Ilustración 2.8. Zonas de baja presión en la ciudad y puntos de refuerzo de tubería	29
Ilustración 2.9. Localización de rebombeo, tanque con horario de servicio y crecimiento futuro de la ciudad	30
Ilustración 2.10. Modelo de la red de simulación en EPANET	31
Ilustración 2.11. Red de Matamoros con la conducción El Mezquital	31
Ilustración 2.12. Simulación realizada con el EPANET en el que se identifican, en color rojo las zonas de baja presión	32
Ilustración 3.1. Puntos de medición de presión puntual para calibración del modelo de la red	38
Ilustración 4.1. Tanque San Lorenzo, cadenamamiento a partir del sector Naval, 10+000	40
Ilustración 4.2. Croquis de localización y una vista parcial en planta de la conducción hacia el puerto El Mezquital, JAD, 2009	41
Ilustración 4.3. Tanque La Capilla, ubicación a partir del sector Naval, cadenamamiento 48+529	42
Ilustración 4.4. Tanque Mano León, ubicación a partir del sector Naval, cadenamamiento 56+358	42
Ilustración 4.5. Tanque Las Higuierillas, ubicación a partir del sector Naval, cadenamamiento 63+581	43
Ilustración 4.6. Tanque El Mezquital, ubicación a partir del sector Naval, cadenamamiento 65+641	43
Ilustración 4.7. Tubería de 10 pulgadas, clase 10, ubicación Carretera Ciudad Victoria – Matamoros (enfrente de la Naval)	44
Ilustración 4.8. Lagunas ubicadas en el inicio del poblado “Las Higuierillas”, cadenamamiento 60+000 (aproximadamente)	44
Ilustración 4.9. Tramo de tubería de cuatro pulgadas, RD-41, ubicación poblado Las Higuierillas	45
Ilustración 4.10. Tramo de tubería de diez pulgadas, clase 7, ubicación Tramo San Lorenzo – km 60+000 (aproximadamente)	45
Ilustración 4.11. Tramo Naval – San Lorenzo, se observó tubería de PVC de diez pulgadas, clase 10 – km cadenamamiento 0+000	46
Ilustración 4.12. Válvulas de admisión y expulsión de aire instaladas sobre la conducción hacia el puerto El Mezquital	47
Ilustración 4.13. Curva característica proporcionada por la Gerencia de Estudios Especiales de la JAD	48
Ilustración 4.14. Curva característica de la bomba instalada en el cárcamo de bombeo	49

Ilustración 4.15. Bomba marca Goulds con tres pasos, Q = 285 GPM, R.P.M. = 3476 y H = 282 ft.	50
Ilustración 4.16. Modelo de simulación hidráulica en formato InfoWorks WS de la conducción El Mezquital	51
Ilustración 4.17. Evolución de nivel y volumen en el Tanque Las Higuierillas a partir de las simulaciones realizadas en el programa InfoWorks WS.	52
Ilustración 4.18. Evolución de la carga piezométrica en estado permanente de la conducción “El Mezquital”	53
Ilustración 4.19. Pantalla de introducción de datos en el programa ARIETE®	54
Ilustración 4.20. Introducción de las características generales de los nodos que conforman la conducción.	55
Ilustración 4.21. Características mecánicas e hidráulicas de los equipos de bombeo dentro del programa ARIETE.	56
Ilustración 4.22. Introducción de puntos que componen las curvas características de los equipos de bombeo	56
Ilustración 4.23. Definición diámetros necesarios para el dimensionamiento de tuberías, rugosidad y velocidad de propagación de la onda en función del material	57
Ilustración 4.24. Envoltentes de presión máximas y mínimas derivado del análisis transitorio de la conducción “El Mezquital”.	58
Ilustración 5.1. Reforzamiento número uno.	65
Ilustración 5.2. Reforzamiento número dos.	65
Ilustración 5.3. Reforzamiento número tres.	66
Ilustración 5.4. Reforzamiento número cuatro.	66
Ilustración 5.5. Reforzamiento número cinco.	67
Ilustración 5.6. Reforzamiento número seis.	67
Ilustración 5.7. Reforzamiento número siete.	68
Ilustración 5.8. Reforzamiento número ocho.	68
Ilustración 5.9. Reforzamiento número nueve	69
Ilustración 5.10. Reforzamiento número diez	69
Ilustración 5.11. Reforzamiento número once	70
Ilustración 5.12. Reforzamiento número doce	70
Ilustración 5.13. Reforzamiento número trece	71
Ilustración 5.14. Reforzamiento número catorce.	71
Ilustración 5.15. Reforzamiento número quince.	72
Ilustración 5.16. Reforzamiento número dieciséis.	72
Ilustración 5.17. Reforzamiento número diecisiete.	73
Ilustración 5.18. Reforzamiento número dieciocho.	73
Ilustración 5.19. Reforzamiento número diecinueve.	74
Ilustración 6.1 Zonas de influencia de las Plantas potabilizadoras, de acuerdo a la sectorización de la red proyectada	77
Ilustración 6.2. Zonas de influencia de los Tanques	78
Ilustración 6.3. Sectores de la zona de influencia del Rebombeo al Cefereso	81
Ilustración 6.4. Sectores de la ciudad que se desincorporan de la conducción hacia el Cefereso	82
Ilustración 6.5. Zona de influencia del Tanque 3	83

Ilustración 6.6. Sectores al Norte y poniente de la planta potabilizadora 2 que se abastecen del bombeo directo a red.....	84
Ilustración 6.7. Sectores localizados al Este de la Planta Potabilizadora 2 que se abastecen de bombeo directo a red.....	85
Ilustración 6.8. Sectores localizados al lado de la zona de influencia del tanque 2 que son suministrados por la Planta Potabilizadora 2.	85
Ilustración 6.9. Zona de influencia del PP2 Sector 36 que se abastece directo desde la Planta Potabilizadora 2.....	86
Ilustración 6.10. Tubería nueva para los sectores localizados al Norte y Poniente de la Planta Potabilizadora 2.....	86
Ilustración 6.11. Tubería nueva en los sectores localizados al este de la Planta Potabilizadora 2.....	87
Ilustración 6.12. Tubería principal de los sectores PP2 sector 19 y 37 que son suministrados desde la PP2.....	87
Ilustración 6.13. Sectores de la zona de influencia de la planta Potabilizadora 1.....	90
Ilustración 6.14. Tubería nueva en los sectores de la zona de influencia de la PP1.....	90
Ilustración 6.15. Sectores de la zona de influencia de la Planta Paquete 2.....	92
Ilustración 6.16. Tubería nueva en la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 2.....	92
Ilustración 6.17. Programa de inversión a corto, mediano y largo plazo (Áreas prioritarias).....	98
Ilustración 6.18. Proyección de la inversión de recursos para implementar la sectorización de la red de distribución.....	100
Ilustración 7.1. Módulos del área comercial de la JAD, (SIG elaborado por el IMTA).....	103
Ilustración 7.2. Número de usuarios por módulo comercial.....	104
Ilustración 7.3. Distribución del saldo, clasificado por módulo.....	104
Ilustración 7.4. Sectores comerciales en la ciudad de Matamoros, (SIG realizado por el IMTA).	105
Ilustración 7.5. Sectores comerciales y sus rutas de lectura, (SIG realizado por el IMTA).....	106
Ilustración 7.6. Porcentaje de usuarios con un consumo menor a 15 m ³ /mes (Rojo) y usuarios con un consumo mayor a 15m ³ /mes (azul).	107
Ilustración 7.7. Porcentaje de usuarios con un consumo menor a 15 m ³ /mes (rojo) y usuarios con un consumo mayor a 15m ³ /mes (azul) para cada sector comercial.....	107
Ilustración 7.8. Rutas con mayor incidencia de usuarios debajo de 10 metros cúbicos con respecto a su total.....	110
Ilustración 7.9. Ubicación espacial de los micromedidores analizados.....	111
Ilustración 7.10. Cont. de muestreo en campo para la verificación de micromedidores.....	113
Ilustración 7.11. Cont. de muestreo en campo para análisis de micromedidores.....	114
Ilustración 7.12. Formato de registro empleado, durante el muestreo sobre la precisión de micromedidores domésticos.....	115
Ilustración 7.13. Resumen de errores de micromedición, MARCA FLUCON – Zona 1.....	120
Ilustración 7.14. Resumen de errores en micromedidores marca FLUCON.....	122
Ilustración 7.15. Resumen de errores en micromedidores marca CICASA.....	123
Ilustración 7.16. Resumen de errores en micromedidores marca IBEROTEK.....	124
Ilustración 7.17. Resumen de errores en micromedidores marca AZTECA.....	125
Ilustración 7.18. Resumen de errores en micromedidores marca RECORDALL.....	126
Ilustración 7.19. Resumen de errores en micromedidores marca SCANCODER.....	127

Ilustración 7.20. Ubicación de medidores con submedición y aquellos con omisión de la prueba por problemas hidráulicos.	128
Ilustración 8.1. Evolución del caudal durante la campaña de medición realizada por el personal del IMTA.	132
Ilustración 8.2. Comparativa de resultados producto de la medición de caudal registrada por los 4 medidores.	133
Ilustración 8.3. Comportamiento del gasto registrado en el medidor núm. 1 de la empresa Coca Cola.	135
Ilustración 8.4. Comparativa entre volúmenes facturados (leídos) por la JAD y medido por el IMTA.	135
Ilustración 8.5.mComportamiento del gasto registrado por el medidor 1B.	136
Ilustración 8.6. Comparativa entre volúmenes facturados (leídos) por la JAD y medido por el IMTA.	137
Ilustración 8.7. Comportamiento del gasto registrado por el medidor 2.	138
Ilustración 8.8. Comparativa entre volúmenes facturados (leídos) por la JAD y medido por el IMTA.	139
Ilustración 8.9. Comportamiento del gasto registrado en el macromedidor del hotel Hotel Holiday Inn.	140
Ilustración 8.10. Comparativa de volúmenes registrados en medidores de la JAD y el IMTA. ...	141
Ilustración 8.11. Comportamiento del gasto registrado en el macromedidor del Hotel Best Western Residencial.	142
Ilustración 8.12. Comparativa de volúmenes registrados en medidores de la JAD y el IMTA. ...	143
Ilustración 8.13. Comportamiento del gasto registrado en el ducto de Plaza Fiesta.	144
Ilustración 8.14. Comparativa de volúmenes registrados en medidores de la JAD y el IMTA. ...	145
Ilustración 8.15. Comportamiento del gasto registrado en el ducto de Premezclados.	146
Ilustración 8.16. Volumen total de lectura comparada con el volumen total medido.	147
Ilustración 8.17. Comportamiento del gasto registrado en el ducto de la empresa Stepan.	148
Ilustración 8.18. Volumen total de lectura comparada con el volumen total medido de la empresa Stepan.	149
Ilustración 9.1. Usuarios que componen el distrito hidrométrico conocido como Ciudad Industrial, Matamoros, Tamps.	153
Ilustración 9.2. Ubicación espacial de los puntos de medición de caudal	155
Ilustración 9.3. Evolución de caudal sobre los puntos monitoreados (Planta Paquete dos – Estación de Bombeo)	156
Ilustración 9.4. Relación de volumen acumulado a través del tiempo.	157
Ilustración 9.5. Medición de caudal en campo empleando equipos ultrasónicos (Punto de muestreo #7)	159
Ilustración 9.6. Caudal suministrado vs Caudal Facturado, Gerencias Comercial y Técnica de la JAD, 2009.	160
Ilustración 9.7. Ubicación espacial de los puntos de medición donde sale el caudal de la red. ...	162
Ilustración 9.8. Puntos de muestreo y caudales promedios obtenidos a partir de las mediciones en campo.	165

ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE LÍNEAS DE CONDUCCIÓN, DE LA CIUDAD DE MATAMOROS, TAMS.

1. RESUMEN EJECUTIVO

En el **Capítulo 2 y 3** se toca el tema referente a la construcción del modelo de simulación y Su Calibración. Se construyó el modelo de simulación completo de la red de distribución para esto se introdujo el total de la planimetría (nodos y tramos) dentro del modelo en formato InfoWorks WS®. La red de agua se conformó por 11463 tramos y 8885 nodos, 157,737 usuarios (customer points). En cada tramo se tiene el diámetro, longitud y coeficiente de rugosidad. Además se construyó el modelo digital de elevaciones (MDE), lo que permite contar con la topografía con isolíneas a cada 50 centímetros. Con el MDE se incorporan las elevaciones sobre el nivel del mar en cada nodo del modelo de manera automática, lo que permite un ahorro en el tiempo en la captura del mismo.

En el proceso de construcción del modelo se detectaron y corrigieron 1250 inconsistencias tanto en la primera y como en la segunda etapa de revisión del catastro de la red de distribución de agua de la ciudad de Matamoros, por lo que esta actividad sirvió para actualizarlo

Se cuenta con el modelo de simulación de la red de distribución completo y calibrado, incluye la totalidad de: tramos y nodos de la red, tanques elevados, equipos de bombeo de las cuatro plantas potabilizadoras con sus curvas características de operación, horarios de operación de los equipos de bombeo, zonas de tandeo, llenado y vaciado de tanques, localización y operación de rebombes en diversas zonas de la ciudad. El modelo de simulación se tiene en dos plataformas de simulación: Infoworks WS y EPANET, lo que facilita la utilización del modelo para todo el personal de la JAD que así lo deseé. Es importante mencionar que dentro del modelo de simulación ya se incluyó la conducción de agua hacia el Mezquital, misma que será puesta en marcha este año 2009 y que ya esta contemplada tanto en el modelo de Infowork WS como EPANET.

En el **Capítulo 4** se toca el tema de la revisión hidráulica de la conducción al Mezquital:

- Es necesario considerar la incorporación de válvulas eliminadoras de aire instalada sobre la válvula de admisión y expulsión. Lo anterior obligará la salida del aire atrapado durante la operación normal del acueducto, permitiendo obtener una mayor eficiencia en la conducción. De lo contrario se reducirá la capacidad de transporte del conducto.
- De acuerdo con la normatividad local emitida por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), específicamente en su Norma Técnica NT-012-CNA-2001, se establece la instalación de válvula mixta en tramos largos con pendiente uniforme (sea paralela, ascendiendo o descendiendo respecto al gradiente hidráulico) en intervalos de entre 500 a 1000 metros.

- Asimismo la American Water Works Association (AWWA) establece instalar una válvula combinada (admisión, expulsión y eliminadora) en el inicio y final de la sección horizontal, asimismo para aquellos que la tubería presenta la longitud elevada, es recomendable considerar estas válvulas en intervalos de 400 a 800 metros. Lo anterior se debe a la complicada evacuación del aire a través de una tubería horizontal o de pendiente muy suave, dado que se presentan velocidades muy bajas.
- La tubería de cuatro pulgadas ubicada al final de la conducción repercute de forma significativa en la presión de llegada y operación del tanque “Las Higuierillas”.
- Considerando un caudal de salida de 16 L/s (máximo horario) producto de dos bombas operando en el cárcamo y 105 metros de columna de agua en el mismo sitio, se asegura el suministro de agua hasta la última localidad que suministra el acueducto, sin embargo se tiene la restricción de la clase de la tubería, en el tramo ubicado entre San Lorenzo y el kilómetro 60+000.
- Se realizaron diferentes escenarios considerando las condiciones hidráulicas del punto anterior, destacan aquellos que involucran la incorporación de tomas adicionales (registradas y clandestinas). Para el caso de extraer un caudal mayor a 8 L/s adicional, los tanques “Higuierillas” y “El Mezquital” sufrirían las consecuencias. Esto resulta de relevancia si consideramos que la población ubicada en la localidad de “Higuierillas”, representa el 55% del total de la población beneficiada por el proyecto.
- La infraestructura instalada actualmente (tubería, tanques, etc) producto del proyecto, permite un suministro mayor a los 80 litros por segundo.

En el **Capítulo 5** se diseñaron 19 reforzamientos en las zonas de la ciudad que presentan baja presión, esto con ayuda del modelo de simulación de la red de distribución. Estos reforzamientos son acciones inmediatas que puede implementar la JAD para mejorar el servicio de las zonas en que se recomienda su instalación con un costo mínimo.

En total se recomienda la instalación de 4881 metros de tubería de diverso diámetro. Además se recomienda continuar con las acciones de sectorización de la red de distribución que en el capítulo 6 se comentan con más detalle.

En el **Capítulo 6** que trata de la sectorización de la red: Como primera acción se recomienda a la JAD iniciar los trabajos en la delimitación de las zonas de influencia de los 4 tanques elevados, esto con la finalidad de garantizar un buen funcionamiento de los mismos y que cumplan con su tarea de regular las variaciones de la demanda de agua. De acuerdo al caudal que se puede suministrar desde las diversas plantas potabilizadoras a cada uno de los Tanques se definió la zona de influencia de los mismos cuidando de no rebasar la capacidad de regulación de los mismos. El tanque que se aproxima a la capacidad de regulación de acuerdo con su zona de influencia es el Tanque 3; éste oscila los 4007 m³ que demanda su zona de influencia con respecto a los 3800 m³ de capacidad del tanque. Los otros tres tanques su capacidad de almacenamiento es mayor que la capacidad de regulación de las zonas de influencia asignada.

Para aprovechar en mayor medida la ubicación de las plantas potabilizadoras se decidió dividir la ciudad en 61 sectores en función de la zona de influencia de cada planta. De esta manera se recomienda la ampliación de la Planta Paquete 2 hasta un caudal de 317.4 l/s y que de esta manera suministre agua a la parte sur oriente de la ciudad dividida en 6 sectores.

En la Planta potabilizadora 1 se recomienda la instalación de un nuevo rebombeo en la Lauro Villar para que alcance a suministrar con buena presión las zonas de influencia de PP1 Sectores 2, 3 y 4. En los otros sectores de esta zona de influencia se requerirán de trabajos menores para su aislamiento.

En cuanto a la Planta Potabilizadora 2, es la zona de influencia que contará con la mayor cantidad de sectores en total son 37. De ésta en el bombeo hacia el Cefereso, son necesarias dos acciones: la primera, desincorporar algunos de las zonas de la ciudad que actualmente se suministran con la conducción de este rebombeo y la segunda, es la instalación de un rebombeo nuevo antes de la colonia Fidel Velásquez con la finalidad de garantizar las presiones de suministro mínimas en las zonas de influencia de los sectores localizados al poniente de la ciudad.

El bombeo directo a red desde la planta potabilizadora 2, su zona de influencia requerirá de adecuaciones importantes ya que se concentra la mayor cantidad de sectores, además de la instalación de un rebombeo que suministre agua la zona del PP2 sector 19.

Se recomienda que el caudal producido en la Planta Paquete 1 se envíe directamente al Tanque 1 y de ahí se suministre a la red de distribución asignada a dicho tanque.

De la sectorización el costo total es de \$127,600,637 pesos para las cuatro zonas de influencia: Plantas Potabilizadoras 1 y 2 y Plantas Paquetes 1 y 2.

Los costos de inversión de la sectorización a corto plazo son de \$31,026,707 en el que se consideran los cuatro tanques elevados; a mediano plazo es de \$54,350,392, que toma en cuenta las zonas de influencia de la Planta Paquete 2 y la línea de suministro al Cefereso; y por último a la inversión a largo plazo que es de \$42,223,538 que es el resto de la red de distribución.

Para una inversión anual de 5 millones de pesos la sectorización se llevaría a cabo en un plazo de casi 26 años, las acciones a corto plazo se cumplirían en un tiempo de 6 años aproximadamente, las de mediano plazo en un lapso de 18 años y las de largo plazo hasta los 26 años.

Si se invierten 10 millones de pesos al año, la sectorización total de la red sería de 13 años, donde las acciones a corto plazo se cumplirían en 3 años aproximadamente y las de mediano plazo en un poco más de 8 años.

El **Capítulo 7** sobre la verificación de micromedidores, es posible concluir lo siguiente:

- De acuerdo con la NOM-012-SCFI-1994 se establece que los micromedidores ubicados dentro de la red de distribución de la ciudad de Matamoros, presentan generalmente errores por encima de los límites máximos permisibles en el caudal mínimo.
- Con base en el resumen de errores es posible determinar que los micromedidores de las marcas CICASA, RECORDALL y SCANCODER resultaron mayores deficientes en el rango de caudal.
- Asimismo el promedio global de la muestra de 402 micromedidores presenta un error global en Q_{\min} de -7.40% y -1.52%, lo que se traduce en tres situaciones que inciden directamente en el Organismo Operador: 1) Los micromedidores están sometidos a una operación hidráulica deficiente proveniente de la red de distribución, 2) Mala selección del tipo de micromedidor, 3) Pérdidas en términos de facturación y con ello de cobranza en el departamento comercial, producto de la submedición que presentan los micromedidores.
- Es necesario en el futuro establecer un programa de instalación de micromedidores en lugares donde el Organismo Operador obtenga mayores consumos en términos de facturación. Lo anterior es posible a través del Sistema de Información Geográfica que el personal del IMTA realiza para la Junta de Aguas y Drenaje de Matamoros, Tamaulipas.
- Además de coordinar los esfuerzos de las Gerencias Técnica y Comercial de la JAD en la instalación futura de los micromedidores, y conociendo las deficiencias en el gasto mínimo, es posible subsanar esta situación considerando instalar en el futuro micromedidores con Clase Metrológica C.
- El medidor Clase “C” abarca un rango mayor de q_{\min} comparado al Clase “B”. Por ejemplo, si consideramos un caudal similar a los 1500 l/hora ($N \geq 1.5$), la NOM-012-SCFI-1994 establece lo siguiente:

Tabla 1.1. Clasificación de los medidores de acuerdo a los valores de q_{\min} y q_t

Clase	q_{\min}		q_t	
	Para $n < 1,5$	Para $n \geq 1,5$	Para $n < 1,5$	Para $n \geq 1,5$
A	0,04N	0,08N	0,10N	0,30N
B	0,02N	0,03N	0,08N	0,20N
C	0,01N	0,006N	0,015N	0,015N

De la tabla anterior se obtiene que, el caudal mínimo (q_{\min}) para medidor Clase C ($n \geq 1,5$) será igual a 9 L/hora (0.006×1500). Este valor resulta de un orden de magnitud menor comparado con 45 L/hora (0.03×1500) de aquellos medidores Clase B ($n \geq 1,5$).

Por tanto, en caso de seguir con la política de operación actual en la red de distribución de la ciudad de Matamoros (baja presión) y la promoción de instalación de medidores, se recomienda instalar aquellos con mayor rango en el caudal mínimo, esto es, medidores con clase metrológica “C”. Lo anterior disminuirá la submedición reportada en este estudio por el IMTA.

- Asimismo es necesario incrementar y/o mejorar las condiciones hidráulicas de la red de distribución de agua de la ciudad, a través del mantenimiento preventivo o correctivo en los equipos de bombeo de las plantas de bombeo, con el objetivo de incrementar la presión en el sistema.

- Los tanques 2, 3 y 4 deberán operar de forma eficiente, garantizando una presión constante a la red de distribución, aunado a un programa de definición de sus respectivas áreas de influencia. Esto contribuirá el incremento de los caudales mínimos que se presentan actualmente en los micromedidores de los usuarios.
- Finalmente existen dentro del sistema de la red de distribución, circuitos hidráulicos de tubería principal que no han sido cerrados, razón por la cual es necesaria la inversión y diseño de tuberías de reforzamiento. En el capítulo siguiente se detallará este diseño con base en el modelo de simulación hidráulica abordado previamente en el capítulo uno, del presente documento.

En cuanto a la Evaluación de Macromedidores en el **Capítulo 8** se muestra que el comportamiento de consumo varía de una empresa a otra, esto depende del giro de la empresa y de la forma de consumo; estén las empresas no sigue un patrón de consumo, incluso en mediciones de la misma empresa y se evalúan por más de un día. Esto nos lleva a concluir que el consumo de una empresa varía día a día, por tal motivo el consumo de un día no debe tomarse como referencia para extrapolar el consumo semanal, mensual o anual. Sin embargo, es evidente que dos empresas registran un volumen menor al facturado por la JAD: Holiday Inn y Stepan. Por esta razón, requieren de una medición con mayor duración con el objetivo de precisar el volumen que la JAD deja de facturar y por tal motivo representa una pérdida económica.

En el **Capítulo 9** de la evaluación de fugas en el parque industrial se puede concluir lo siguiente:

- La sumatoria del caudal en los puntos que sale agua fuera del Parque Industrial (de muestreo #7, #3 y #4) asciende a 23 litros por segundo. Cabe recordar que la producción e agua en la Planta Paquete 2 hacia la Zona Industrial resulta de 43 litros por segundo.
- Al comparar el caudal suministrado y la sumatoria de gasto en los puntos de muestreo #7, #3 y #4, resulta una diferencia de 20 Litros por segundo.
- Ello significa que el caudal consumido por el Parque Industrial incluido fugas son 20 litros por segundo. Ello difiere únicamente en 5 litros por segundo aproximadamente al compararse con el caudal facturado por el Departamento de Facturación de la JAD.
- Por lo que es evidente, que el 41% del caudal suministrado al Parque Industrial es enviado a los Fraccionamientos Las Gaviotas, Fuentes del Valle, Moreno, Marcelino Miranda, Bagdad, entre otros.

2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

2.1 Modelo de simulación

Actualmente los modelos de simulación son sistemas de fácil manejo permitiendo a los usuarios de diferentes niveles, 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 ó semicerradas).

En términos generales, un modelo de simulación hidráulica actualmente se compone de dos partes [Walski, 1983]: el programa que realiza los cálculos y, los datos descriptivos de los componentes físicos del sistema como: demandas de los consumidores y características operativas.

En México el IMTA ha desarrollado los programas de cómputo *Análisis hidráulico*, AH, y SCADRED® [Tzatchkov e Izurieta, 1996], para el cálculo hidráulico en redes en condiciones permanentes y no permanentes. También existen en el mercado internacional otros modelos como EPANET® el cual es gratuito, InfoWorks®, WaterCAD®, H₂ONET®, entre otros.

En la Tabla 2.1 se describe los elementos o componentes mínimos que se requiere en la construcción de un modelo de simulación. En ocasiones no se requerirán de todos los descritos en la tabla debido a la operación actual de la red por analizar, por ejemplo la omisión de tanques y depósitos, al existir únicamente bombeo directo a través de pozos.

Tabla 2.1. Conjunto mínimo de propiedades necesarias para el modelo de componentes de una red de distribución

Componentes	Propiedades
Uniones	Etiquetado ID (Identificación)
	Altura
	Demanda
	Modelo de demanda
Tanques o depósitos	Etiquetado ID (Identificación)
	Altura
Tanques	Etiquetado ID (Identificación)
	Nivel inicial del agua
	Curva volumétrica de nivel de agua
Tuberías	Nodo inicial
	Nodo final
	Diámetro
	Longitud
	Coefficiente de rugosidad
Bombas	Nodo inicial
	Nodo final
	Curva altura-caudal
Válvulas	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 Matamoros, Tamaulipas. La Junta de Aguas y Drenaje (JAD) de Matamoros contribuyó con la siguiente información:

- Información general de la zona (población, consumo, ubicación de las fuentes de abastecimiento, etc).
- Planos digitales en AutoCAD® de la zona de estudio con el trazo de la red.
- Datos operacionales de las bombas en las plantas potabilizadoras y rebombes.
- Registros históricos de los caudales.

Con base en la información proporcionada por la JAD, se analizaron los datos hidráulicos y geométricos de la red de distribución. Enseguida se describirá con detalle cada uno de los puntos mencionados con anterioridad:

Una vez recopilada la información general proporcionada por la JAD, se procedió a obtener los planos digitales en AUTOCAD® del catastro de la red más actualizados. Personal del IMTA desarrolló un algoritmo para localizar tuberías encimadas o tramos de tuberías sin conexión a una fuente de abastecimiento, como referencia se tomó el plano digital de la red de distribución proporcionado por la JAD. Esta etapa en la construcción del modelo se realiza con el objetivo de introducir información al modelo de simulación con la mayor confiabilidad posible.

2.2 Introducción de planimetría dentro del modelo de simulación

El trazo de la red de distribución de la ciudad de Matamoros se incorporó dentro del sistema InfoWorks® desarrollado por la empresa Wallingford Software (ver Ilustración 2.1). Este modelo tiene la ventaja de simular hasta la toma domiciliaria o los usuarios del sistema (customer point). Además de que se va conformando toda la información de manera directa dentro de un sistema de información geográfica (SIG), lo que ayuda al manejo y construcción de modelos de red grandes y mayores a los 5,000 nudos.

Ya con el modelo, se realizó la detección de inconsistencias de la red (Primera Etapa) en el plano entregado por la JAD al IMTA. Y la detección de inconsistencias en la operación (Segunda Etapa) en la que se revisa la localización y operación de válvulas, zonas de tandeos en la ciudad, horarios de operación de equipos de bombeo, etc, generalmente esta es información que no está contenida en el catastro de la red.

La red de agua se conformó por 11463 tramos y 8885 nodos, 157,737 usuarios (customer points). En cada tramo se tiene el diámetro, longitud y coeficiente de rugosidad.

2.2.1 Incorporación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) al modelo de simulación

Otra ventaja de trabajar con el Infoworks es que permite la interacción entre el modelo de simulación de la red y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) lo que facilita la introducción de nueva topología de la red de distribución, compuesta por tramos y nodos, a la que se le asigna de manera directa la elevación correspondiente, esto con ayuda del MDE. Para ello nuevamente con el apoyo de la Gerencia Técnica se obtuvo un plano con las curvas de nivel a cada cinco metros.

Empleando los programas de cómputo ArcView®, y con el plano con curvas de nivel se transformó en un archivo con formato TIN, el cual representa el modelo digital de elevaciones (MDE). A partir de ello se realiza la interpolación entre curvas y con ello el cálculo directo de la elevación en cada uno de los nodos (ver Ilustración 2.2).

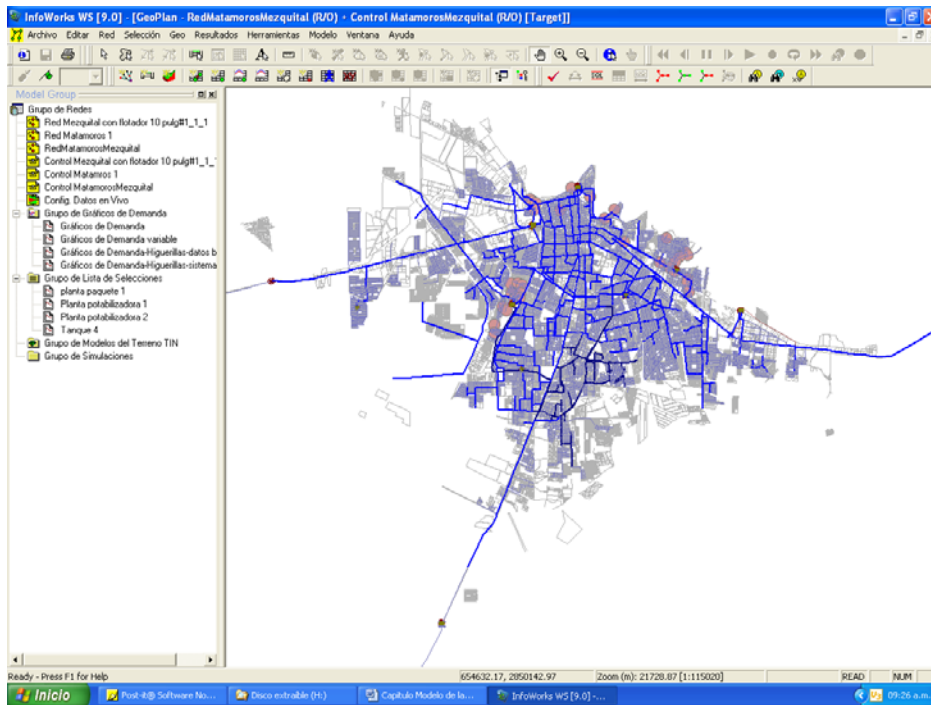


Ilustración 2.1. Introducción de planimetría al modelo de simulación en formato InfoWorks®

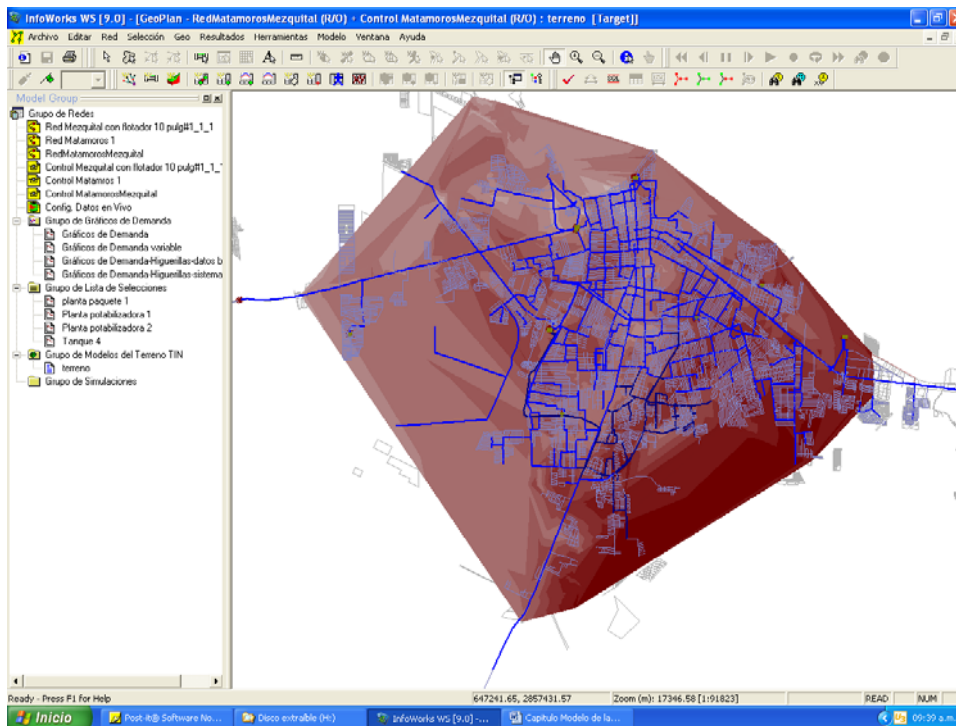


Ilustración 2.2. Modelo digital de elevaciones dentro del modelo de simulación en formato InfoWorks®

2.3 Detección de inconsistencias (Primera etapa)

Con base en la primera revisión al plano de la red de distribución de la ciudad de Matamoros, se encontraron problemas en la actualización de los planos de la red, como la integración de las zonas nuevas y modificación de tramos de red al plano, lo que genera errores de enlace entre diferentes tramos o tubos.

En esta primera etapa se identificaron, del análisis de la información de catastro de la red, un total de 1250 inconsistencias que a continuación se describen:

- Trazo duplicado de tubería en la ciudad
- Red de tubería de Fraccionamientos que no están dadas de alta en el catastro de la red
- Zonas de la ciudad que no cuentan con la actualización del catastro
- No se tiene, en el plano de autocad, un catastro actualizado de la operación de válvulas en la red.
- No se localizan los rebombes en el plano del catastro
- Tuberías sin conexión a la red principal o redes separadas
- Tubería inconclusa (falta colocar simbología de tapa ciega)
- Incertidumbre sobre la ubicación exacta de válvulas

Para salvar estos detalles o inconsistencias (ver Ilustración 2.3 a Ilustración 2.7) se realizó una reunión entre el IMTA y el Personal de la JAD en donde se acordó que la gente del departamento de Informática y la Gerencia Técnica de la JAD realizará reuniones diarias para actualizar el catastro de la red tomando como referencia las observaciones y detalles encontrados por el IMTA

Derivado de esta actividad el IMTA entregó un informe, ubicando las inconsistencias, a la JAD, esto con el objetivo de esclarecer cada una de ellas (ver Tabla 2.2).



Tabla 2.2. Relación de inconsistencias localizadas por el IMTA (Parte uno)

Inconsistencia	No. de detalles	Inconsistencia	No. de detalles	Inconsistencia	No. de detalles
9	2	32_1	8	57_5	4
10	1	32_2	13	57_6	4
11_1	4	33	1	57_7	8
11_2	2	34_1	1	57_8	6
12	5	34_2	1	57_9	6
13_1	9	34_3	1	58	5
13_2	4	34_4	1	59	5
13_3	7	34_5	1	60	3
14	7	35	6	61	22
15_1	6	36	1	62	11
15_2	5	37	6	63	4
15_3	4	38	12	64	2
15_4	7	39	6	65_1	3
15_5	3	40	6	65_2	3
15_6	3	41	6	65_3	2
16	4	42	9	65_4	2
17	7	43	5	65_5	3
18_1	5	44	10	65_6	4
18_2	6	45	8	66_1	12
18_3	6	46	6	66_2	5
18_4	4	47	3	66_3	2
19	3	48	5	67_1	6
20	8	49	8	67_2	7
21_1	5	50	10	67_3	6
21_2	5	51	5	67_4	5
22	3	52	6	68	3
23	5	53	6	69	4
24	8	54	4	70_1	3
25	6	55_1	7	70_2	1
26	7	55_2	10	71	5
27	2	55_3	6	72	5
28	11	56_1	11	73	8
29	8	56_2	6	74	10
30_1	1	56_3	13	75	9
30_2	6	57_1	4	76	8
30_3	7	57_2	5	77	8
30_4	7	57_3	4	78	4
31	11	57_4	4	79	

Tabla 2.3. Relación de inconsistencias localizadas por el IMTA (Parte uno)

Inconsistencia	No. de detalles	Inconsistencia	No. de detalles	Inconsistencia	No. de detalles
80	9	114	3	147	5
81	2	115	2	148	7
82	8	116	6	149	6
83	3	117	3	150	5
84	6	118	5	151	11
85	9	119	9	152	3
86	4	120	3	153	4
87	10	121_1	7	154	4
88	7	121_2	4	155	8
89	9	122		156	15
90	5	123	5	157	13
91	15	124	5	158	5
92	14	125	6	159	1
93_1	6	126	6	160	4
93_2	8	127	5	161	3
93_3	2	128_2da etapa	5	162	3
93_4	4	129	3	163	7
94	7	129_2da etapa		164	5
95	2	130_1	12	165	3
96	2	130_2	13	166	8
97	11	130_3	4	167	4
98	2	131	7	168	5
99	5	132	15	169	4
100	4	133	5	170	4
101	8	134	16		
102_1	4	135	5		
102_2	3	136	15		
103	3	137	6		
104	4	138	4		
105	1	139	2		
106	4	140_1	2		
107	14	140_2	1		
108	3	141	10		
109	5	142	11		
110	8	143	19		
111	7	144	12		
112	4	145	10		
113	3	146	5		

El número de detalle corresponde al número de sub-red capturada en InfoWorks WS [9.0]. Para cada detalle se muestra la imagen de la sub-red, en la cual se indica los errores y observaciones encontradas. El número de detalles encontrados es de **1250**.

El tipo de detalles encontrados son por ejemplo:

- Calles en las que no se indica la existencia de tubería.
- Tramos de tubería aislados.
- Nodos aislados.
- Líneas que se cruzan y que no están unidas con un nodo, etc.

Inconsistencia del catastro No. 9 No. de detalles = 2

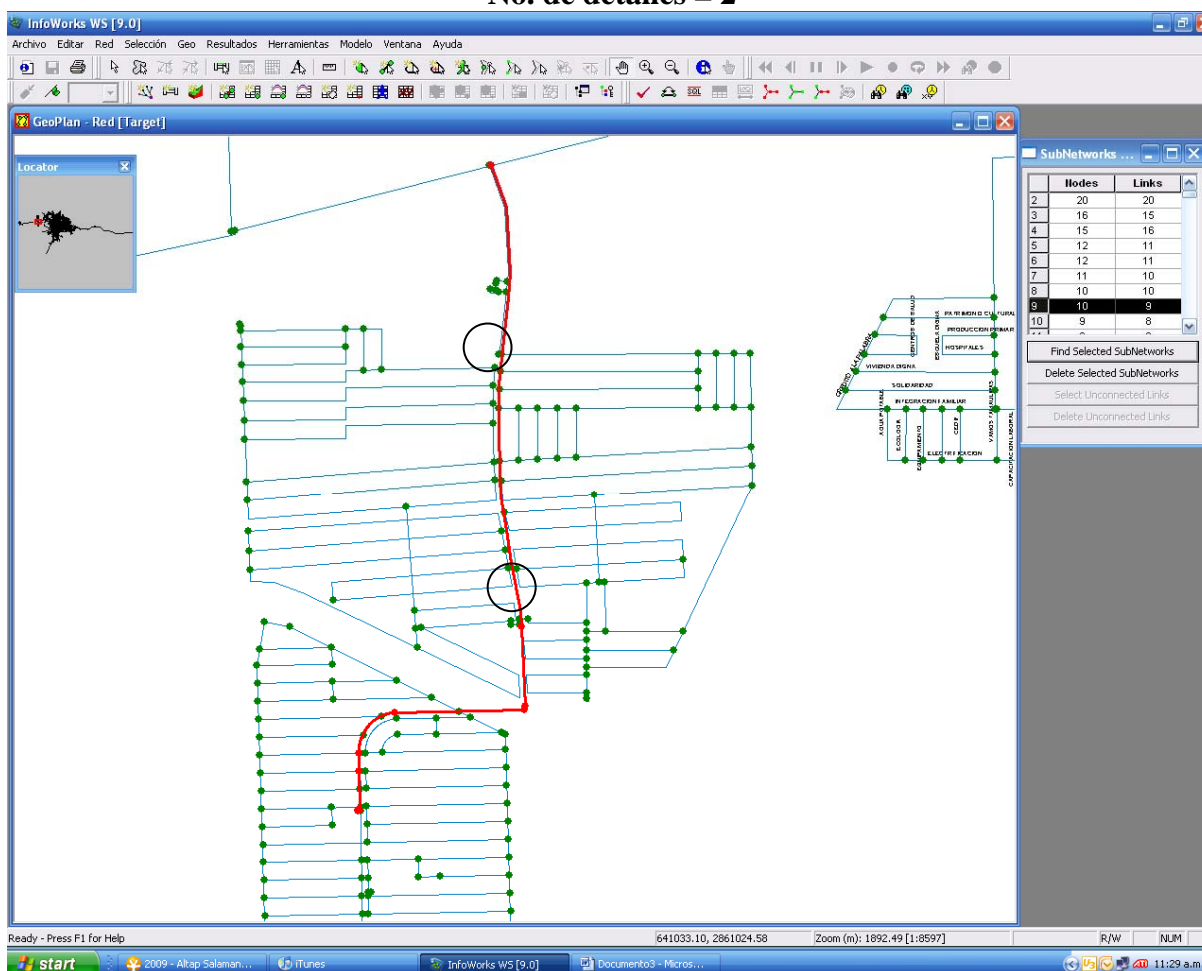


Ilustración 2.3. Inconsistencia del catastro no. 9 (tubería sin conectar)

Inconsistencia del catastro No. 10 No. de detalles = 1

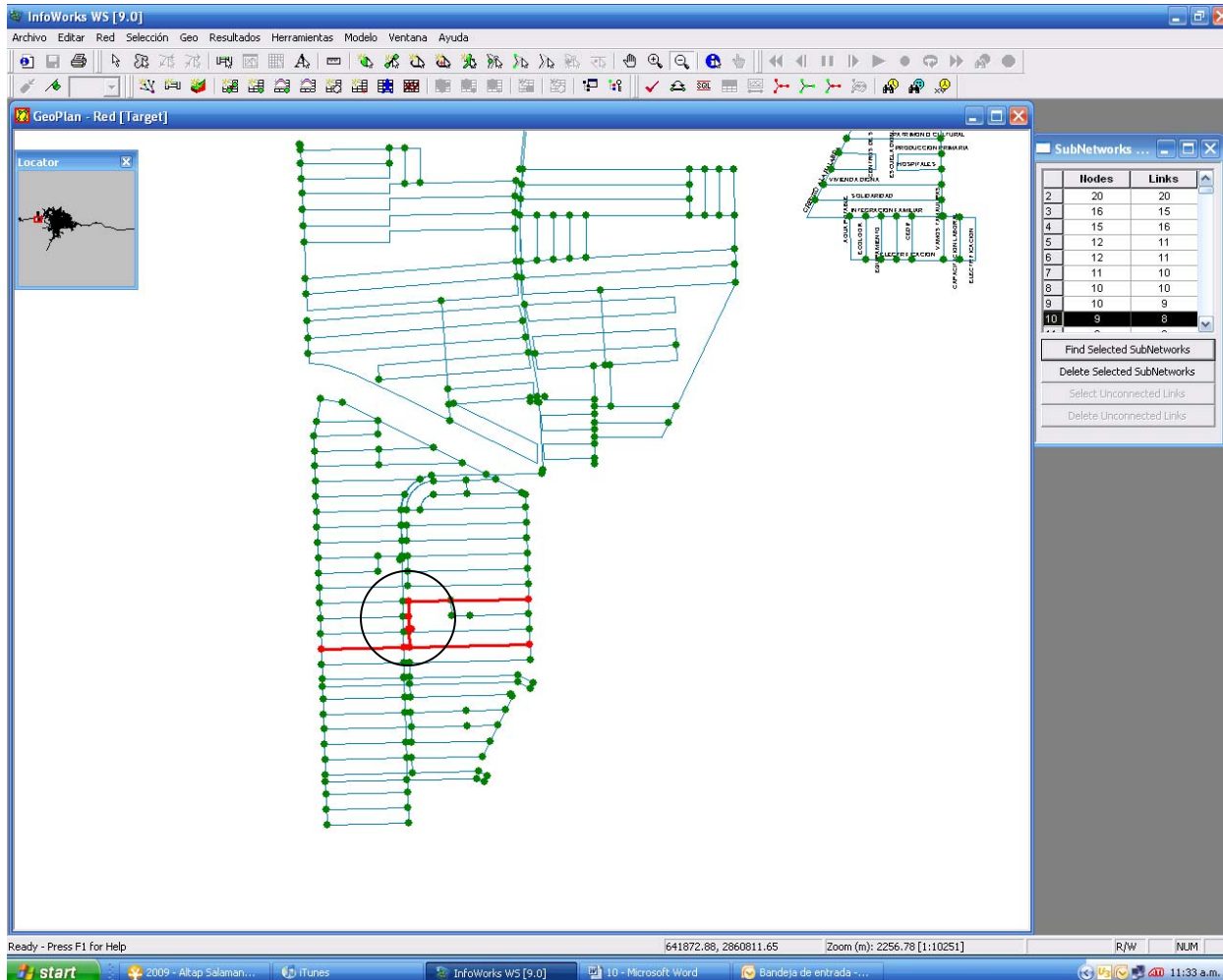


Ilustración 2.4. Detalle del catastro 10 (Tubería aislada)



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3



Inconsistencia del catastro No. 11-1 No. de detalles = 4

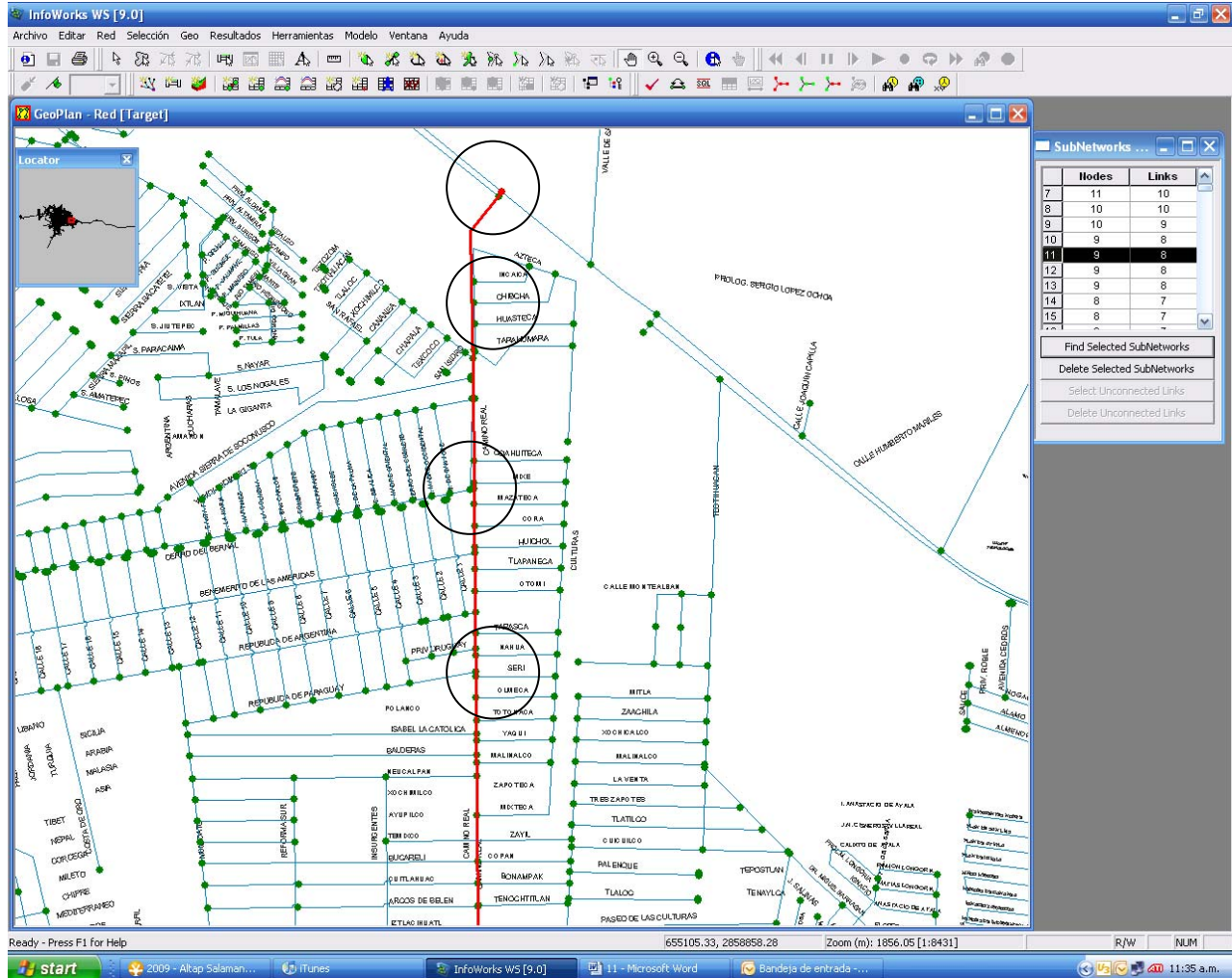


Ilustración 2.5 Detalle del catastro 11-1 (Errores de interconexión)

Inconsistencia del catastro No. 11-2 No. de detalles = 2

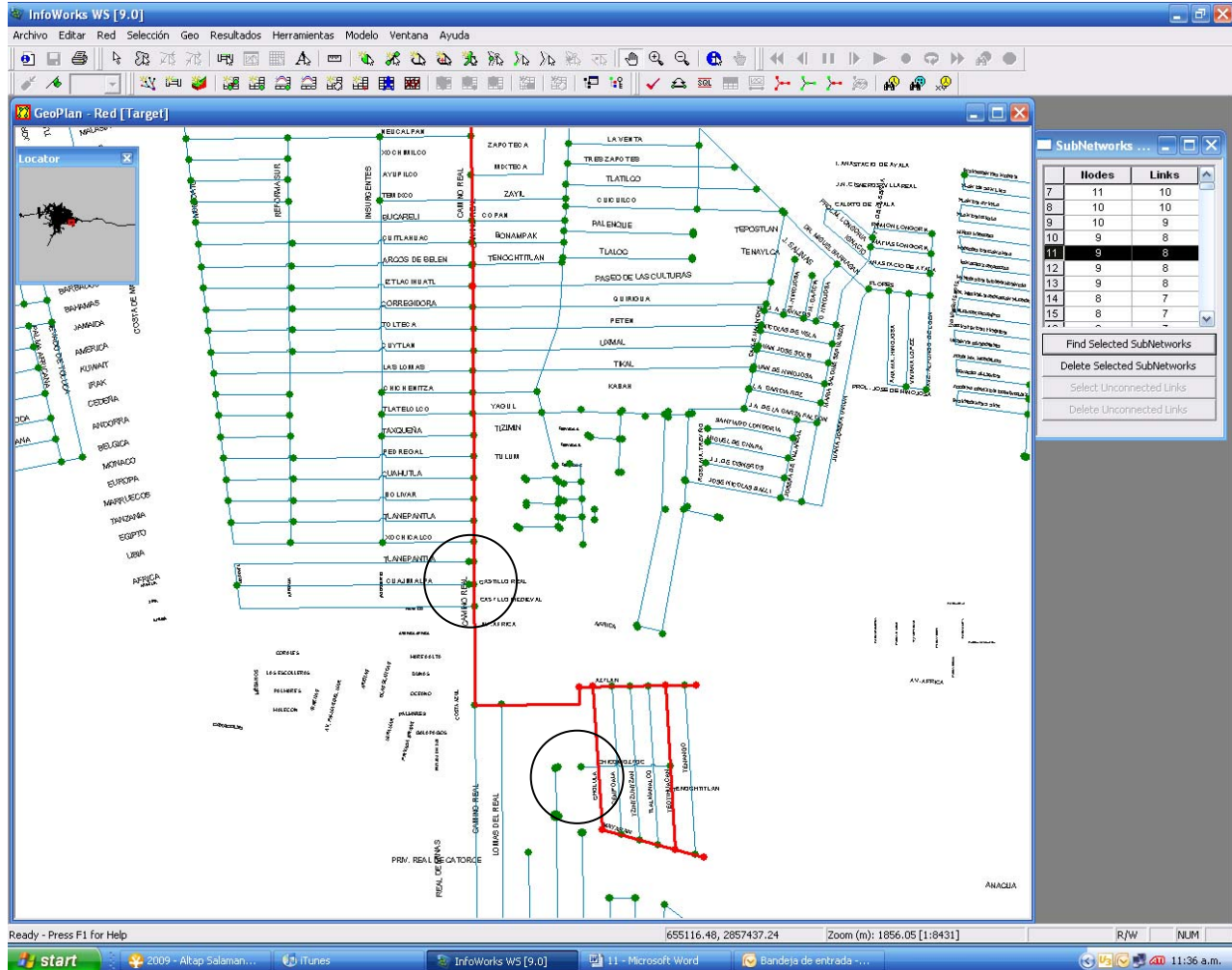


Ilustración 2.6 Detalle del catastro 11-2 (Red sin conectar y falta de catastro)

Inconsistencia del catastro No. 12 No. de detalles = 5

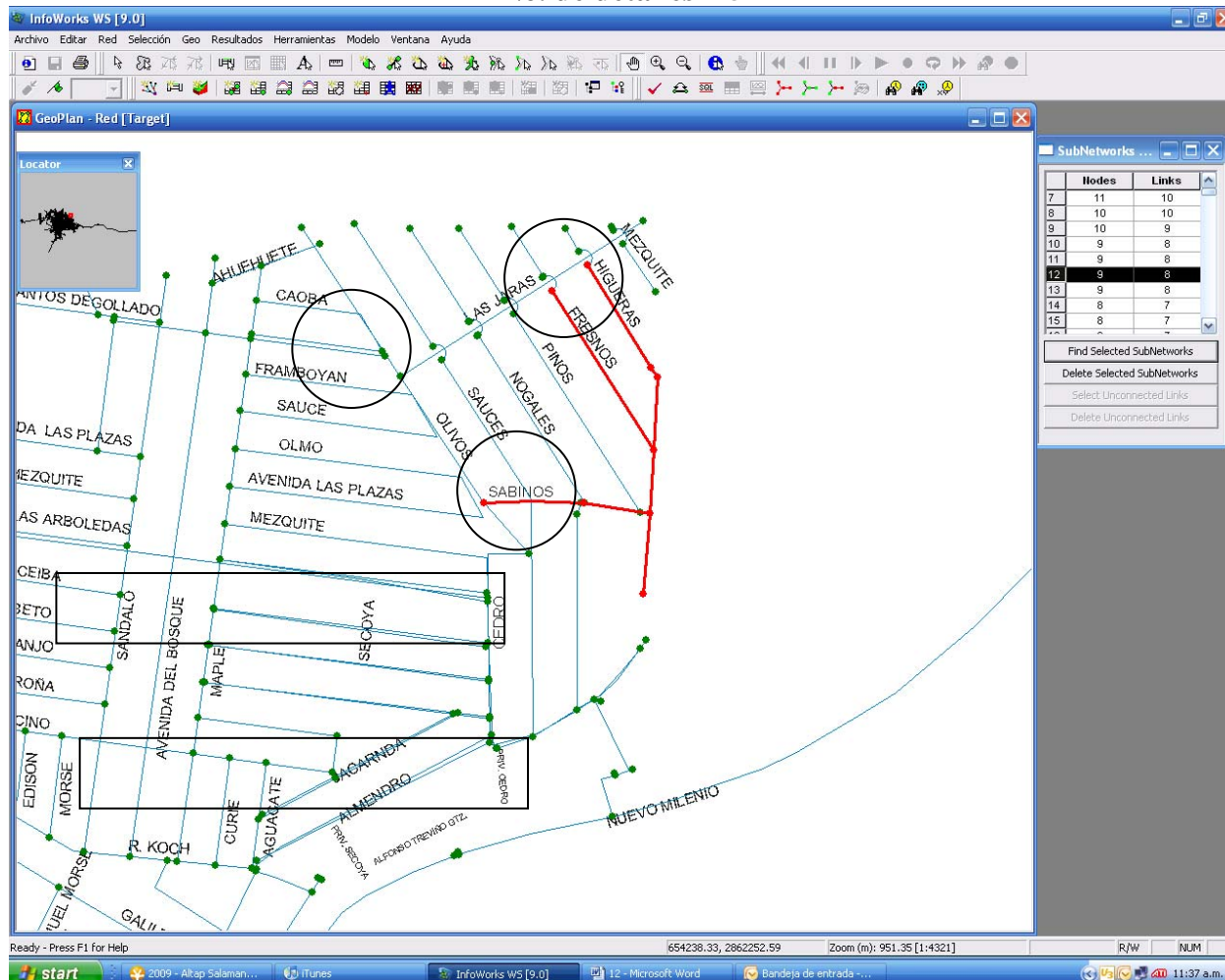


Ilustración 2.7 Detalle del catastro 12 (Tubería duplicada y red separada)

El resto de las inconsistencias que no fue posible corregirlas en gabinete por la Gerencia Técnica y el Departamento de Informática, debido principalmente a que no se debían a errores en gabinete, fueron turnadas al personal de campo de la misma Gerencia Técnica de la JAD para su verificación en campo.

De estos trabajos de actualización del catastro se concluye que:

- Se dispone de la base de datos proporcionada por la JAD, de cuya información se obtuvieron las estadísticas anuales de volúmenes entregados a la red de distribución.

- Se tuvieron datos de la localización, gastos de entrega y presión de los equipos de bombeo de las 4 plantas potabilizadoras y rebombeos en la ciudad.

Debido a lo anterior, se procedió por un lado a solicitar al personal de JAD la conformación de información faltante y, por otro lado, a generar información básica complementaria con el apoyo del organismo operador, como lo fue la actualización de los planos de la red de distribución, medición de caudales en puntos de suministro, elaboración de croquis con detalles de interconexiones a tanques elevados, capacidad y horarios de operación de los mismos.

2.4 Detección de inconsistencias (Segunda etapa)

Una vez esclarecidas las inconsistencias detectadas en la primera etapa, personal del IMTA realizó una segunda revisión al plano de la red de distribución, para esto se contó con la ayuda de personal de campo de la Gerencia Técnica, en esta etapa se dan de alta en el modelo de simulación, la operación del sistema, es decir: apertura y cierre de válvulas, identificación de válvulas abiertas y cerradas, horarios de operación de los equipos de bombeo, paros y tandeos de agua programados o rutinarios, etc.

En esta segunda etapa además de dar de alta en el modelo la operación de la red, también se identifican, ya con el modelo, las tuberías de refuerzo necesarias para mejorar presiones (ver Ilustración 2.8), zonas de la ciudad vulnerables o de baja presión, necesidades de colocación de rebombeos para mejorar la presión, crecimiento futuro de la ciudad (ver Ilustración 2.9), etcétera.

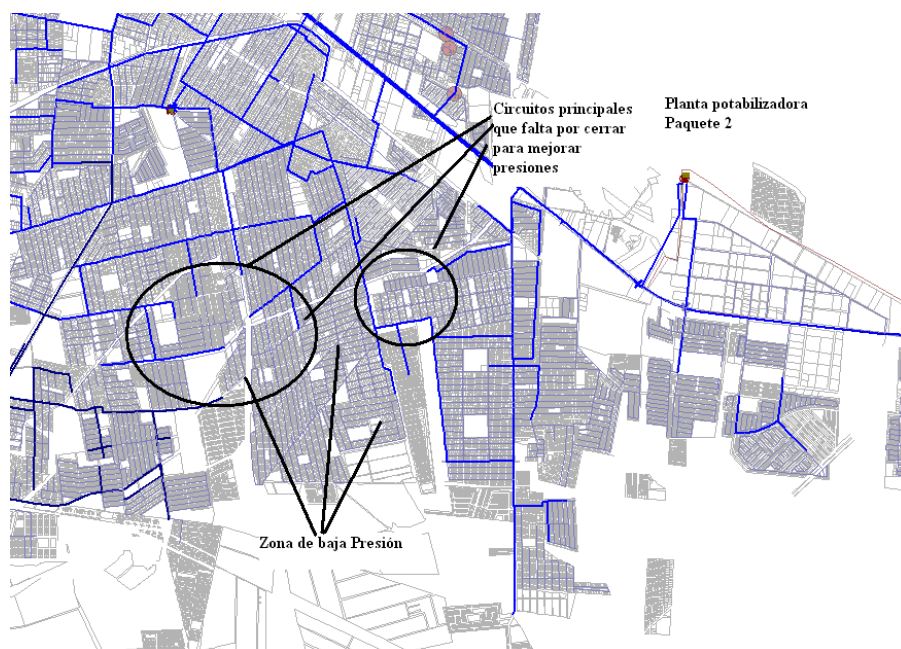


Ilustración 2.8. Zonas de baja presión en la ciudad y puntos de refuerzo de tubería

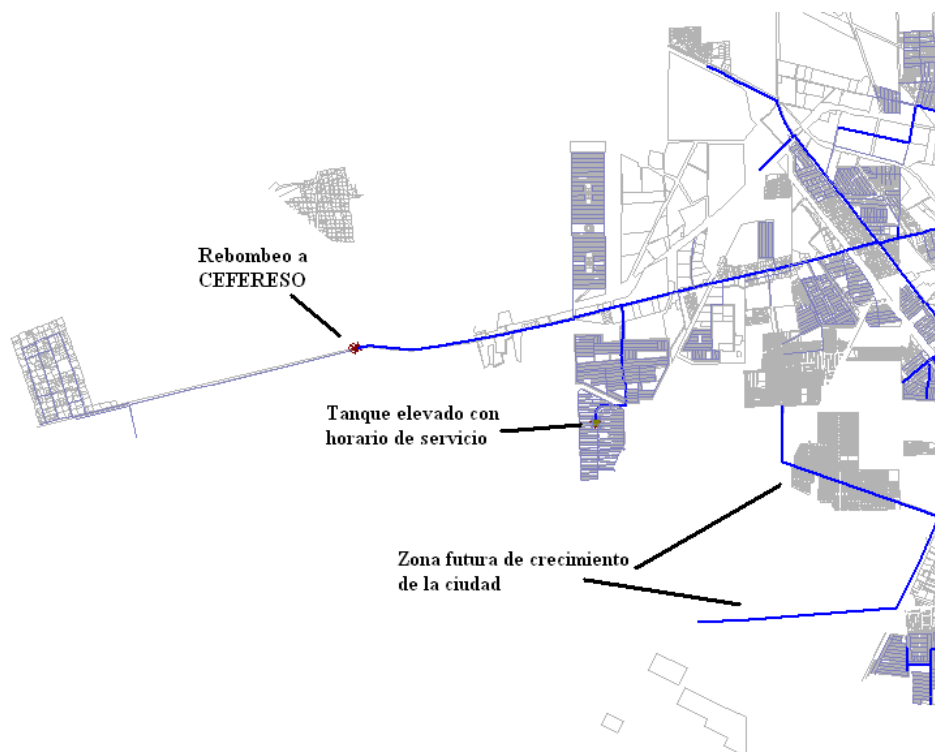


Ilustración 2.9. Localización de rebombero, tanque con horario de servicio y crecimiento futuro de la ciudad

Es importante mencionar que el 100% de las inconsistencias encontradas por el IMTA en la primera y segunda etapa fueron atendidas y resueltas por la Gerencia Técnica y el Departamento de Informática de la JAD.

2.5 Modelo de la red en EPANET

Debido a que la JAD no cuenta con la licencia del Software Infoworks WS, fue necesario trasladar todo el modelo de la red de Matamoros a EPANET, software que también permite realizar simulaciones hidráulicas de redes a presión y que se descarga de manera gratuita desde la página de Internet de la EPA de los Estados Unidos.

El modelo incluye la conducción El Mezquital que será puesta en marcha en el año 2009 por las autoridades del Estado de Tamaulipas y que será cedida para su operación a la JAD. Este modelo fue transferido a la JAD por parte del IMTA (ver Ilustración 2.10, Ilustración 2.11 e Ilustración 2.12).

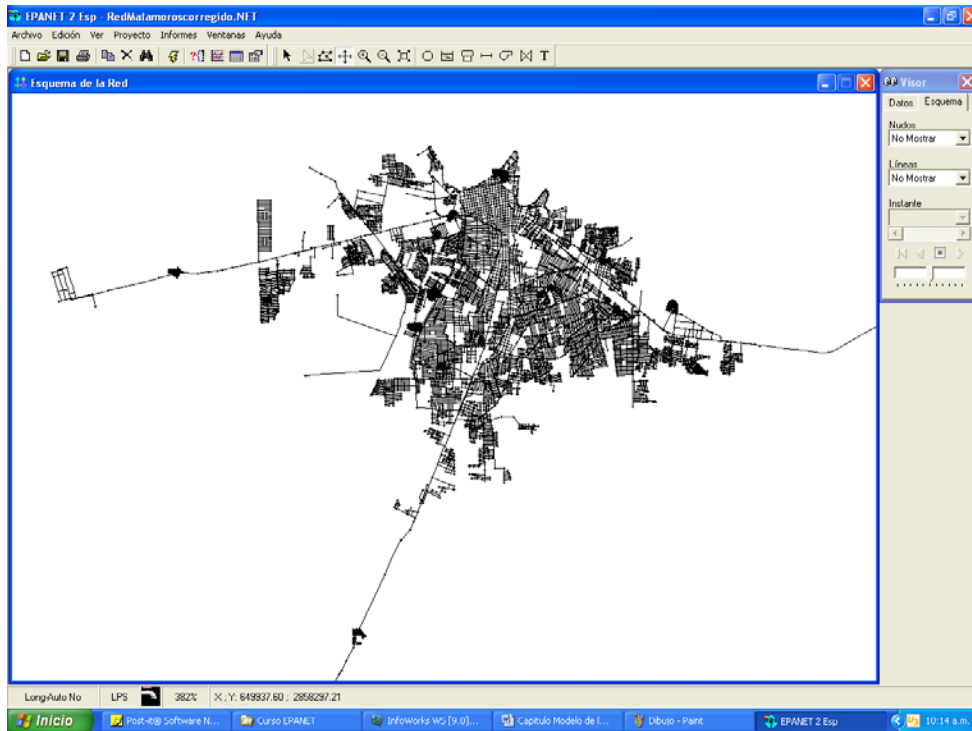


Ilustración 2.10. Modelo de la red de simulación en EPANET

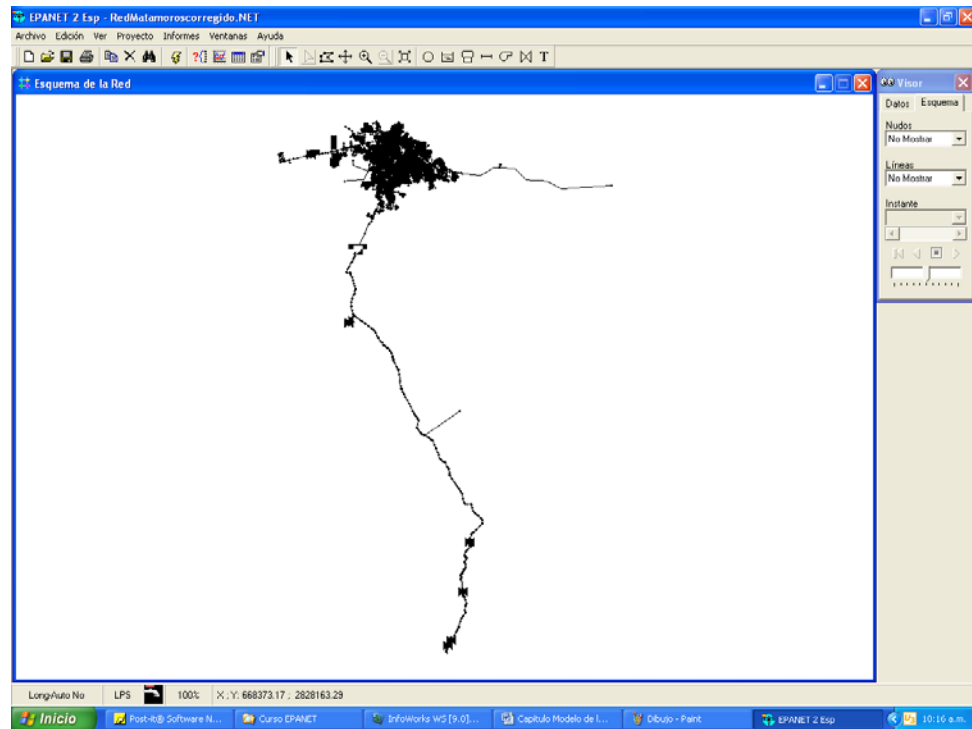


Ilustración 2.11. Red de Matamoros con la conducción El Mezquital

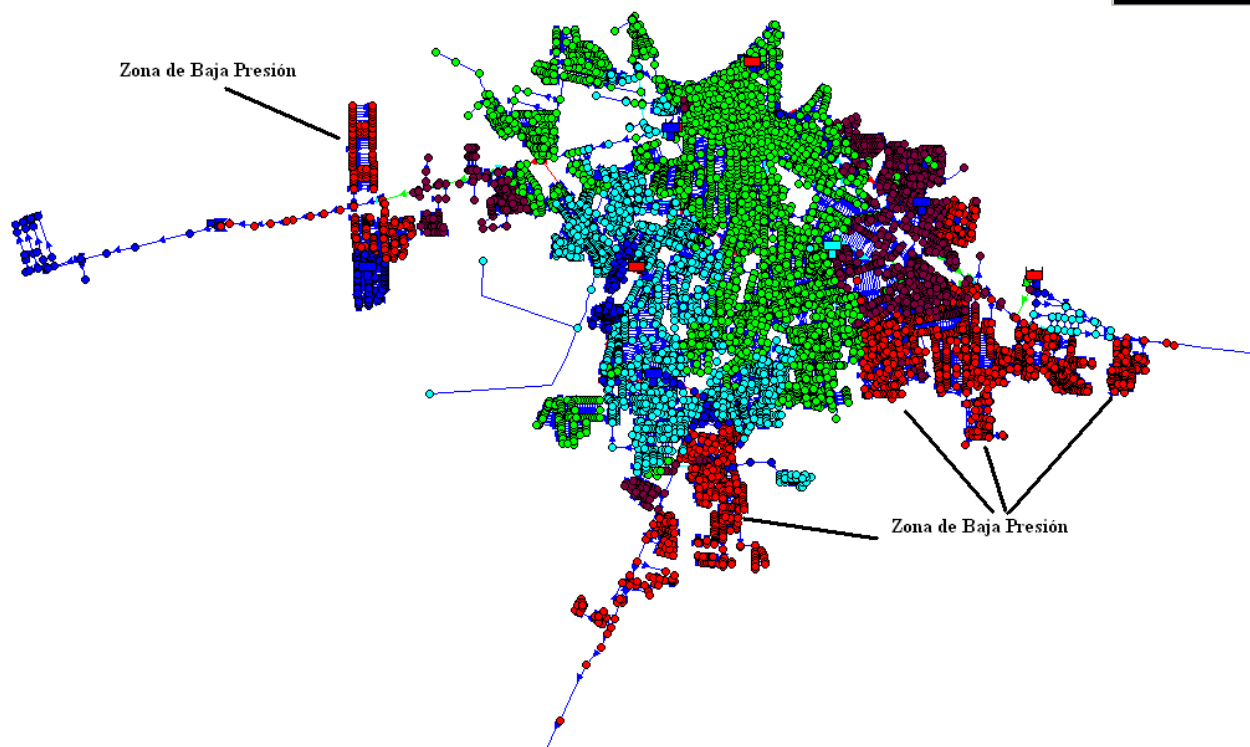


Ilustración 2.12. Simulación realizada con el EPANET en el que se identifican, en color rojo las zonas de baja presión

2.5.1 Curso de capacitación en el manejo del EPANET a personal de la JAD

Personal del IMTA impartió el curso de capacitación “Simulación de redes de distribución de agua potable mediante el uso de EPANET”, del 20 al 23 de abril, con una duración de 16 horas, en las instalaciones de la Planta Potabilizadora 2, en la Oficina de la Gerencia Técnica a 6 personas de la JAD: Ing. Roberto Iván Méndez Villagómez, Ing. Felipe Quintero Treviño, Ing. Ariadna Landín Trejo, Arq. Sandra Alvizo Sandoval, Ing. David Marroquín Guzmán y Arq. Héctor Rodríguez López.

Los Objetivos del curso fueron: presentar las técnicas de análisis y modelación de redes de abastecimiento, familiarizar a los asistentes en el manejo de la herramienta informática, sus capacidades y limitaciones, así como las posibilidades de análisis y explotación derivadas de su uso.

El contenido del curso fue eminentemente práctico y orientado a que sean los participantes del curso quienes resuelvan en su computadora los problemas planteados durante el desarrollo de las diferentes sesiones.

El programa del curso fue:

- **Introducción a la modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de distribución de agua empleando programas de cómputo.** (Víctor Hugo Alcocer) (Lunes)
- **Fundamentos de cálculo de redes hidráulicas a presión.** (Víctor Hugo Alcocer) (Lunes)
- **Introducción al manejo elemental del programa *Epanet*.** (Manuel Rodríguez) (Lunes)
- **Introducción al análisis dinámico de redes.** Concepto de curva de modulación. Introducción de consignas variables en los elementos de la red. (Víctor Hugo Alcocer) (Martes)
- **Ejercicios de análisis para diseño de redes.** Diseño de una red de distribución empleando EPANET y su análisis en periodos extendidos. (Manuel Rodríguez) (Martes)
- **Estudio de tanques.** Modelación de tanques de regulación y almacenamiento (Manuel Rodríguez) (Miércoles)
- **Estudio de sistemas de bombeo e inyección a la red.** Modelación de las bombas tanto en régimen estático como en régimen dinámico. Representación de bombas de pozo profundo. Diferentes modelaciones en función de la disponibilidad de datos. (Víctor Hugo Alcocer) (Miércoles)
- **Estudio de válvulas de regulación y válvulas automáticas.** Modelación de las diferentes tipos de válvulas. (Manuel Rodríguez) (Miércoles)
- **Estudio fugas.** Métodos sencillos de consideración de las pérdidas en el modelo. (Manuel Rodríguez) (Jueves)
- **Simulación de Calidad del Agua.** Procesos de transporte; reacciones cinéticas; tipos de sustancias (conservativas y no conservativas); Modelación de la calidad del agua; Inyección de una dosis premeditada/accidental dentro de una red de distribución. (Víctor Hugo) (Jueves).
- **Introducción de controles y reglas, y la utilización del modelo *Epanet* como herramienta básica para el diseño de redes.** Métodos funcionales sencillos para el dimensionado de redes hidráulicas a presión. Ejemplo de aplicación para el caso de una red de abastecimiento de agua. (Víctor Hugo) (Jueves)

Los Instructores del curso

Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka

Víctor H. Alcocer-Yamanaka. Ingeniero Civil con estudios de maestría en ingeniería Hidráulica (2001) por la Universidad Nacional Autónoma de México y actualmente es candidato a Doctor por la misma universidad (2005). Desde el 2000 funge como especialista en hidráulica en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y como profesor de dos asignaturas en el posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Autor y coautor de más de 35 publicaciones en revistas y congresos nacionales e internacionales, capítulos en libros y libros. Premio Nacional de Ingeniería Civil “Miguel A. Urquijo” otorgado por el Colegio de Ingenieros Civiles de México 2005.

M. en I. José Manuel Rodríguez Varela

Realizó sus estudios en Universidad Autónoma de Coahuila donde obtuvo el título de Ingeniero Civil. En la Universidad Nacional Autónoma de México obtuvo el título de Maestro en Ingeniería Hidráulica. Actualmente es candidato a Doctor en Ingeniería Hidráulica por l'École Polytechnique de Montreal, Canadá. Ha trabajado como especialista en hidráulica en el IMTA de julio de 2005 hasta la fecha. Ha participado en la publicación de 2 manuales técnicos editados por la CNA, 14 artículos técnicos editados en congresos nacionales e internacionales, coautor de 4 capítulos del libro "Reducción integral de perdidas" editado por el IMTA.

2.6 Conclusiones

Se Introdujo el total de la planimetría (nodos y tramos) dentro del modelo de simulación en formato InfoWorks WS[®]. La red de agua se conformó por 11463 tramos y 8885 nodos, 157,737 usuarios (customer points). En cada tramo se tiene el diámetro, longitud y coeficiente de rugosidad.

Se construyó el modelo digital de elevaciones (MDE), lo que permite contar con la topografía con isolíneas a cada 50 centímetros. Con el MDE se incorporan las elevaciones sobre el nivel del mar en cada nodo del modelo de manera automática, lo que permite un ahorro en el tiempo en la captura del mismo.

Se detectaron y corrigieron 1250 en la primera y segunda etapa de revisión del catastro de la red de distribución de agua de la ciudad de Matamoros.

Como conclusión final, se cuenta con el modelo de simulación de la red de distribución completo, incluye la totalidad de: tramos y nodos de la red, tanques elevados, equipos de bombeo de las cuatro plantas potabilizadoras con sus curvas características de operación, horarios de operación de los equipos de bombeo, zonas de tandeo, y llenado y vaciado de tanques, localización y operación de rebombes en diversas zonas de la ciudad.

El modelo de simulación se tiene en dos plataformas de simulación: Infoworks WS y EPANET, lo que facilita la utilización del modelo para todo el personal de la JAD que así lo deseé.

Se impartió el curso de EPANET, herramienta para simular redes de distribución y se transfirió el modelo de simulación con todos completo en esta plataforma de simulación a la JAD por parte del IMTA. Es importante mencionar que dentro del modelo de simulación ya se incluyó la conducción de agua hacia el Mezquital, misma que será puesta en marcha este año 2009 y que ya esta contemplada tanto en el modelo de Infowork WS como EPANET.

3. CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA RED

Los datos tanto geométricos como de operación de la red de distribución, proporcionados por la JAD, se incluyeron dentro del modelo de simulación en INFOWORKS WS, con esto se procedió a realizar la calibración del mismo, entre los que se incluyen la validación y ajustes del modelo hidráulico, consistentes en realizar ajustes en los valores de los parámetros como el coeficiente de fricción en tuberías y demanda en los nodos, lo anterior con el objetivo de obtener una coincidencia satisfactoria entre los valores de las variables producto de las simulaciones del modelo con los medidos en campo.

De forma resumida se puede describir el proceso de calibración hidráulica de la forma siguiente Alcocer V., Tzatchkov V. (2007):

1. Se asumen ciertos valores iniciales en los parámetros.
2. Se realiza una simulación con el modelo, considerando los parámetros del punto 1.
3. Se hacen mediciones en la red de distribución (presión, caudal en equipos de bombeo).
4. Se comparan los valores obtenidos en campo con los arrojados por el modelo. En caso de que las diferencias sean importantes se modifican los parámetros de entrada del modelo, ver punto 1.
5. Los puntos 2 al 4 se repiten hasta obtener una tolerancia aceptable.
6. Los parámetros que pueden ser calibrados son: demanda, coeficiente de fricción, diámetros y otros pueden ser medidos en la red de distribución: gasto, presión, niveles de agua (en caso de existir), topografía, etc.

Los factores que afectan el proceso de calibración de los modelos hidráulicos pueden ser los siguientes:

1. Poca factibilidad para medir y calibrar el coeficiente de rugosidad de cada tubería.
2. El estado de las válvulas en ocasiones se desconoce (si se encuentran abiertas, cerradas, o no se cuenta con el programa de operación de las mismas, etc.).
3. El catastro de las redes de distribución no es 100% confiable.
4. El equipo de medición considera un margen de error.
5. El flujo no es permanente (paro en los equipos de bombeo, variación de la demanda a lo largo del día, fugas).
6. La demanda es variable en espacio y tiempo, y es poco factible medirla.

Considerando lo anterior, en la práctica no es adecuado pretender una coincidencia rigurosa entre los valores medidos y calculados, de hecho más adelante se establecen los criterios los cuales se siguen para el proceso de calibración.

3.1 Evaluación de la simulación del modelo hidráulico

Para realizar una buena validación, las presiones calculadas con el modelo de simulación deben coincidir hasta en ± 9.5 mca para el 100% de las lecturas de presión realizadas en campo. Y $\pm 15\%$ de precisión en las lecturas de caudal.

En los Estados Unidos, se ha sugerido una serie de criterios mínimos para la calibración hidráulica, esto es de acuerdo al objetivo que se presente (Ver Tabla 3.1). En la Tabla 3.2 se describe el nivel de detalle.

Tabla 3.1. Criterios de calibración hidráulica aplicados a redes de agua potable [Alcocer V., Tzatchkov V. (2007)]

Objetivo	Nivel de detalle	Tipo de simulación	Número de lecturas de presión	Precisión en las lecturas de presión	Número de lecturas de caudal	Precisión en las lecturas del caudal
Planeación	Bajo	Estática o periodos extendidos	2% a 10% de los nodos	± 3.50 mca para el 100% de las lecturas	1% de las tuberías	$\pm 10\%$
Diseño	Medio a Alto	Estática o periodos extendidos	2% a 5% de los nodos	± 1.40 mca para el 90% de las lecturas	3% de las tuberías	$\pm 5\%$
Operación	Bajo a alto	Estática o periodos extendidos	2% a 10% de los nodos	± 3.50 mca para el 90% de las lecturas	2% de las tuberías	$\pm 10\%$
Calidad del Agua	Alto	Estática o periodos extendidos	2% de los nodos	± 2.10 mca para el 70% de las lecturas	5% de las tuberías	$\pm 2\%$

Tabla 3.2. Nivel de detalle de lecturas de precisión [ref. 3.2]

Nivel de detalle	Número de lecturas de presión
Bajo	10% de los nodos
Medio	5% de los nodos
Alto	2% de los nodos

Es importante mencionar que los criterios expuestos en las Tabla 3.1 y Tabla 3.2 no son normas sino sugerencias como la ha mencionado el comité de aplicaciones computacionales de la ingeniería (Engineering computer application committee).

En general en Estados Unidos, por ejemplo, no existen estándares en cuanto a modelación se refiere. Algunos expertos en modelación coinciden y determinan que de acuerdo al objetivo que se requiera será el nivel de modelación, como lo presentado en la Tabla 3.2.

Las diferencias entre los resultados del modelo y las mediciones se puede deber a múltiples factores, entre los que se pueden citar algunos:

1. Parámetros del modelo inexactos como pueden ser las rugosidades de las tuberías y la distribución de las demandas nodales.
2. Datos de la red erróneos como son los diámetros, longitud de tubería, ubicación de las mismas.
3. Topología incorrecta, como tuberías conectadas a nodos equivocados, en ocasiones debido a la presencia de válvulas cerradas.
4. Errores de horarios de operación en los equipos, como bombas que arrancan y paran en instantes diferentes a los considerados dentro del modelo.
5. Errores en los equipos de medición, como manómetros sin calibrar o dañados. O errores en las mediciones debido a una mala lectura.

Los errores en los equipos de medición y en las lecturas pueden ser minimizados desarrollando un cuidadoso programa de mediciones. Sin embargo, la mayoría de los factores que afecta los resultados del modelo requieren de la aplicación de las fases del proceso de calibración: 1) Precalibrado del modelo, 2) Ajuste fino del modelo y 3) Análisis de sensibilidad [ref. 3.1].

3.2 Precalibrado del modelo.

Si uno a más de los valores medidos de las variables del modelo difieren en un orden mayor del 30%, la causa normalmente no se debe a la estimación de la rugosidad de las tuberías o a las demandas nodales. Las causas de estas diferencias pueden tener su origen en los factores mencionados en el párrafo anterior.

Hasta que los resultados del modelo y las mediciones en la red de distribución no tengan una diferencia razonable, esto es menor al 20% de error, no se podrá pasar a un ajuste fino del modelo.

Para el precalibrado, se realizó en conjunto con la JAD, la actualización del catastro de la red y situación de las válvulas de seccionamiento, horario de llenado de tanques y zonas de tandeo de la ciudad.

3.3 Calibrado fino del modelo

Los dos parámetros que se incluyen en esta fase de calibración son el coeficiente de rugosidad y las demandas en los nodos.

Este ajuste se orientan hacia los dos tipos de simulación: la estática y la de periodos extendidos. Para el caso de la calibración en la simulación estática los parámetros del modelo se ajustan para que se cumplan las presiones y caudales asociados a observaciones puntuales en el tiempo. Por el contrario para la calibración en simulación de periodos extendidos, los parámetros se ajustan para

que se verifiquen las presiones y caudales cuando estos son variables en el tiempo, así como las trayectorias en los niveles de los tanques o depósitos.

El cálculo adecuado de las rugosidades tiene un mayor impacto en la calibración para la simulación estática. En cambio, las demandas en los nodos son una variable más importante en la calibración del modelo para una simulación en periodos extendidos.

En cuanto a esta actividad del calibrado de la red, se realizó una campaña de medición de caudales en las ocho conducciones de la ciudad, se identificaron y midió el caudal en las derivaciones a la red, además de los caudales de entrega a tanques (esta actividad se describe a mayor detalle en el informe final del diagnóstico, Parte 1 del proyecto).

También se seleccionaron 139 puntos para medición de presiones en toda la ciudad (ver Ilustración 3.1), se registró de manera puntual la presión en los horarios de máximo consumo, estas mediciones se dieron de alta en el modelo de simulación INFOWORKS WS, que sirvieron como referencia para su calibración.

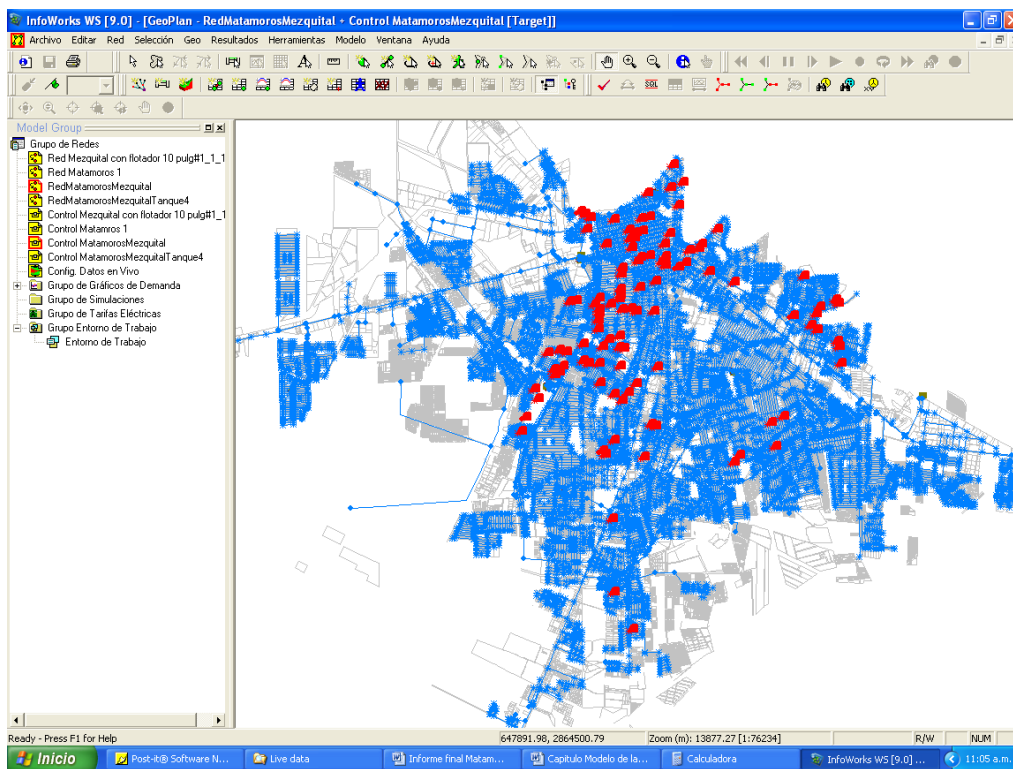


Ilustración 3.1. Puntos de medición de presión puntual para calibración del modelo de la red

3.4 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad consiste en variar los diferentes parámetros del modelo con distintos valores, y con ello medir el efecto asociado. Examinando estos resultados, se puede empezar a identificar qué parámetros tienen un impacto más significativo en los resultados del modelo.

Una de las variables con mayor peso en la calibración del modelo es la variación de la demanda de agua, ésta se hizo variar con la finalidad de lograr el mayor ajuste entre los valores medidos de presión y los valores calculados por el modelo de simulación. Además de los tandeos que tienen una influencia sobre la demanda y los usos horarios en la operación de válvulas y llenados de tanques, mismos que se consideraron en el modelo de simulación.

3.5 Calibración del modelo de simulación de la red de Matamoros, Tamaulipas

Del análisis para la calibración del modelo de simulación, como se realizaron mediciones puntuales de presión sólo se puede mostrar la información de manera tabular, de los 139 puntos medidos se encontró que el 49 % de ellos tiene errores menores, con respecto al modelo, de 4 mca, el 75 % de los puntos tiene errores menores a 8 mca y el restante 25 % presenta errores que oscilan entre 8 y 14 metros columna de agua.

Para lograr una apreciación más clara entre los valores que arroja el modelo de simulación y corroborar su calibración es necesario realizar cuando menos mediciones de presión de un periodo de 24 horas a intervalos de 15 minutos, con esta información se puede calibrar con más detalle el modelo.

3.6 Conclusión

Se cuenta con el modelo hidráulico calibrado de la red de distribución de la ciudad de Matamoros. Se logró que los errores de presión, entre los valores medidos en campo y los que arroja el modelo de simulación sean aceptables, para realizar con éste los escenarios de sectorización.

En el futuro, en forma conjunto con la JAD, se recomienda llevar a cabo un ajuste fino del modelo, que tome en cuenta las curvas características de operación de los equipos de bombeo en los puntos de suministro y que se cuente con más información sobre la variación de caudales y presiones en diversos puntos de la red. Además de identificar los puntos posibles de conexión entre las diferentes zonas de influencia.

4. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA CONDUCCIÓN HACIA EL POBLADO “EL MEZQUITAL”

Durante los recorridos en campo realizados por personal de IMTA y de la Gerencia Técnica de la Junta de Agua y Drenaje de Matamoros, Tamaulipas, observaron hasta el mes de marzo, que la tubería se encuentra instalada desde el punto ubicado frente a la Naval hasta el Puerto El Mezquital. La longitud total asciende a 66 kilómetros aproximadamente [Ver ilustración en página siguiente].

4.1 Recopilación de Información

La conducción proyectada incluye cinco tanques de regulación, los cuales se encuentran ubicados en las localidades siguientes: 1) San Lorenzo, 2) La Capilla, 3) Mano de León, 4) Las Higuierillas y 5) Puerto El Mezquital, [Ver ilustraciones siguientes].



Ilustración 4.1. Tanque San Lorenzo, cadenamamiento a partir del sector Naval, 10+000.



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3



CROQUIS DE LOCALIZACION

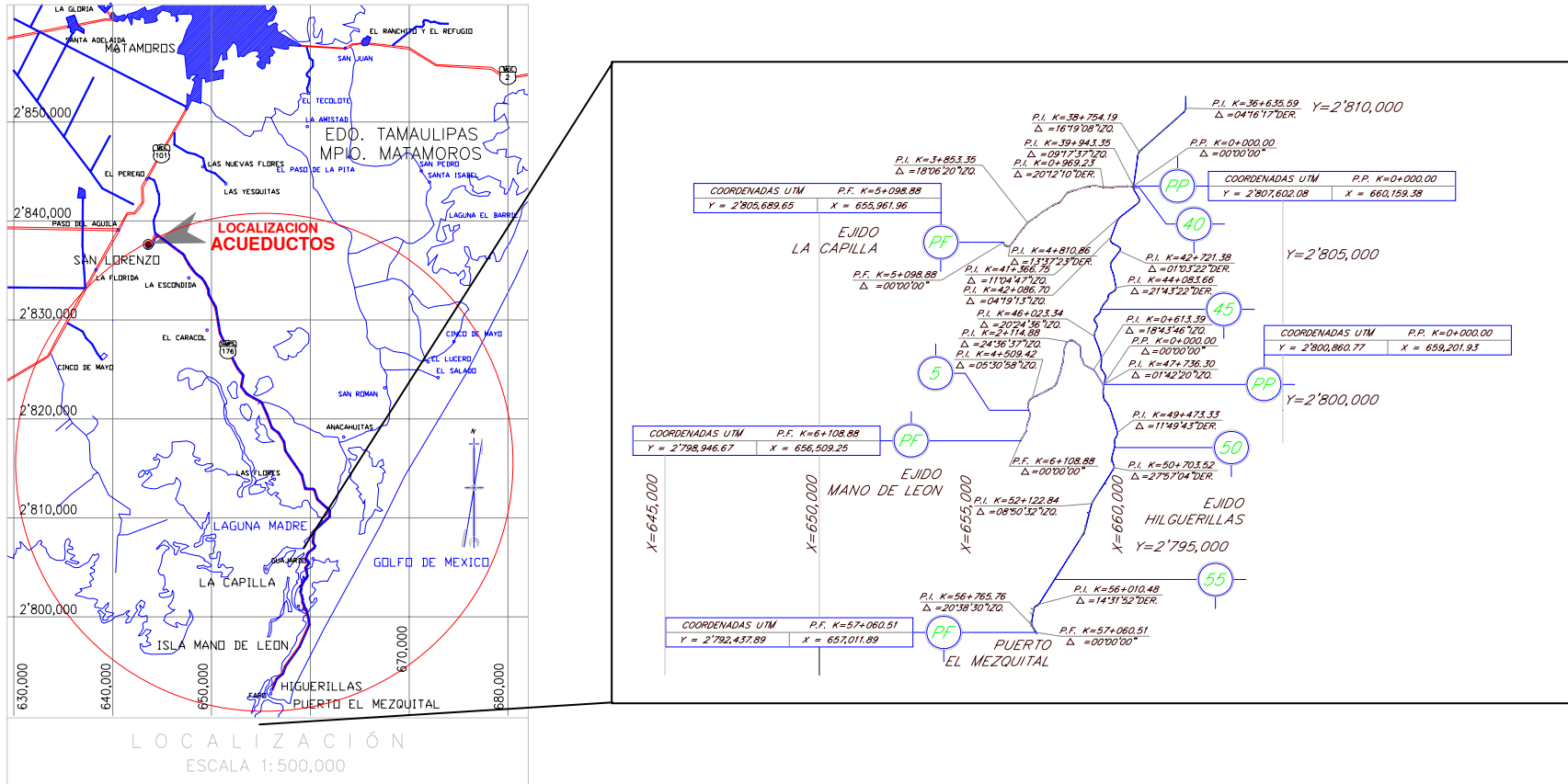


Ilustración 4.2. Croquis de localización y una vista parcial en planta de la conducción hacia el puerto El Mezquital, JAD, 2009



Ilustración 4.3. Tanque La Capilla, ubicación a partir del sector Naval, cadenamiento 48+529.



Ilustración 4.4. Tanque Mano León, ubicación a partir del sector Naval, cadenamiento 56+358.



Ilustración 4.5. Tanque Las Higuerrillas, ubicación a partir del sector Naval, cadenamiento 63+581



Ilustración 4.6. Tanque El Mezquital, ubicación a partir del sector Naval, cadenamiento 65+641.

El material de la conducción es PVC de 10 pulgadas desde el inicio de la conducción hasta el kilómetro 60+000 aproximadamente (entre el Tanque Mano de León y el poblado “Las Higuerrillas”). Esto se verificó en campo en forma conjunta con el personal de la Gerencia Técnica de la JAD.



Ilustración 4.7. Tubería de 10 pulgadas, clase 10, ubicación Carretera Ciudad Victoria – Matamoros (enfrente de la Naval).

A partir del kilómetro 60+000 el diámetro se reduce a cuatro pulgadas concluyendo en el puerto El Mezquital. Es importante señalar que el personal del IMTA y JAD realizaron recorridos en sitio para conocer con precisión el cambio de geometría, sin embargo en esa zona se presenta dunas y pequeñas lagunas lo que impiden el acceso libre a la conducción.



Ilustración 4.8. Lagunas ubicadas en el inicio del poblado “Las Higuerrillas”, cadenamiento 60+000 (aproximadamente).

La clase de la tubería a lo largo de la conducción es variable: 1) Tramo Naval – San Lorenzo, clase 10, 2) Tramo San Lorenzo – km 60+000, clase 7, 3) Tramo kilómetro 60+000- Las Higuerrillas – Puerto El Mezquital, clase RD-41 (7kg/cm²).



Ilustración 4.9. Tramo de tubería de cuatro pulgadas, RD-41, ubicación poblado Las Higuerrillas.



Ilustración 4.10. Tramo de tubería de diez pulgadas, clase 7, ubicación Tramo San Lorenzo – km 60+000 (aproximadamente).



Ilustración 4.11. Tramo Naval – San Lorenzo, se observó tubería de PVC de diez pulgadas, clase 10 – km cadenamiento 0+000

La conducción presenta los siguientes espesores: 1) Tramo Naval – San Lorenzo, se observó tubería de PVC (10”) con espesor 3/8”, 2) Tramo San Lorenzo – km 60+000 con tubería de PVC (10”) y espesor de 1/4”, 3) Tramo kilómetro 60+000- Las Higuierillas – Puerto El Mezquital, tubería de PVC (4”) y espesor de 2.8 milímetros.

La conducción tiene instaladas a lo largo de su extensión, válvulas de admisión y expulsión de aire, que permiten la entrada de aire atmosférico a la conducción. Las válvulas de admisión y expulsión ubicadas, aseguran el escape de aire durante el llenado de la tubería, aseguran la entrada de aire al vaciar la tubería y evitan el vacío (presiones negativas) en los transitorios.



Ilustración 4.12. Válvulas de admisión y expulsión de aire instaladas sobre la conducción hacia el puerto El Mezquital.

4.2 Análisis hidráulico considerando flujo permanente

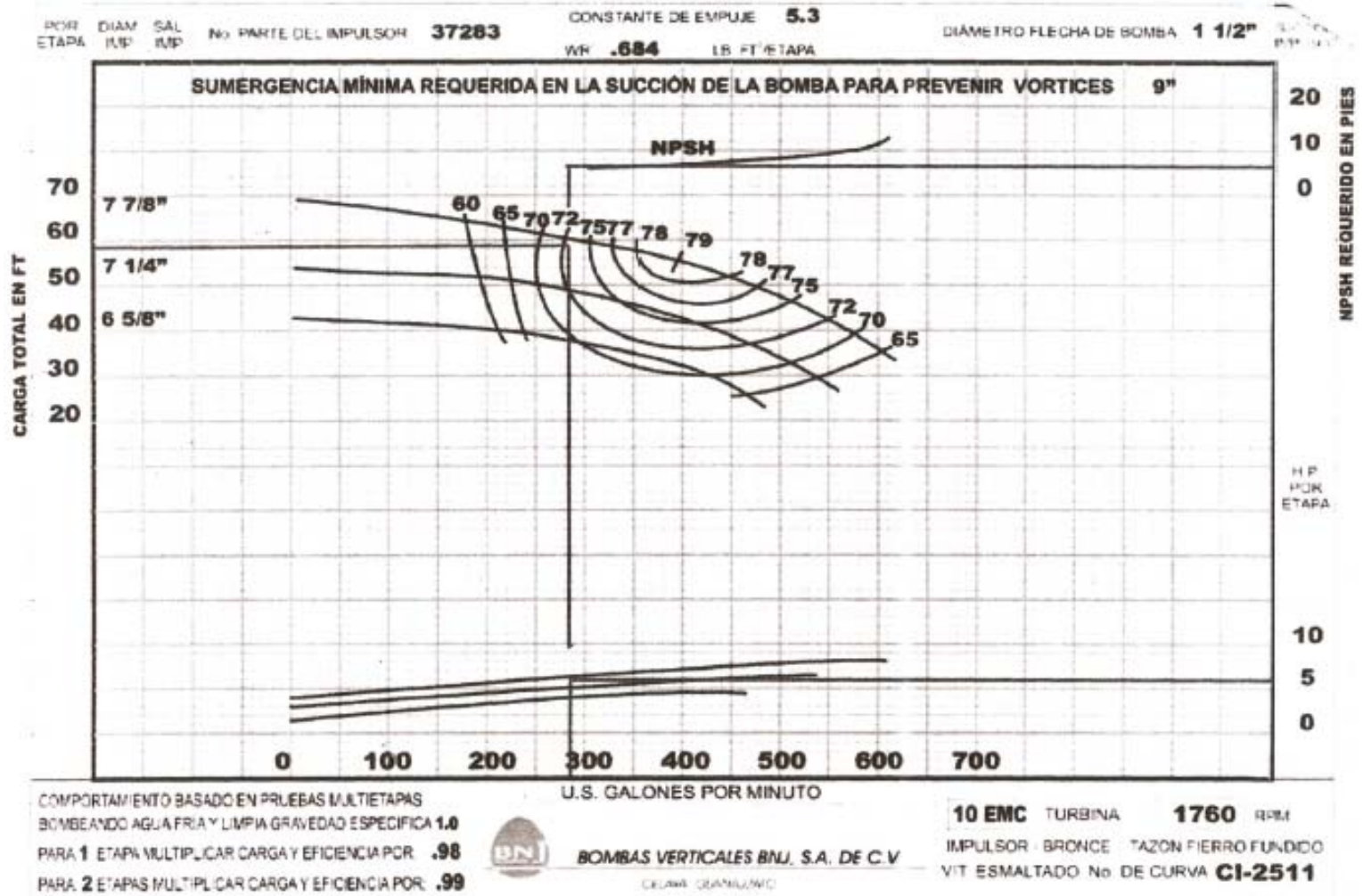
Una vez realizado el proceso de recopilación de información, se procede al análisis hidráulico de la tubería. Derivado de ello se tiene lo siguiente:

- En un primer análisis hidráulico realizado por el IMTA se considera una curva característica de la bomba con $Q = 18.93$ L/s y $H = 36.58$ metros de columna de agua (2 pasos). Esta información se proporcionó al personal del IMTA, el 20 de marzo de 2009.
- Los datos relacionados con las curvas características proporcionadas por la Gerencia de Estudios Especiales de la JAD, no coinciden en modelo y marca con las instaladas en campo en el cárcamo. Esta situación obliga al personal del IMTA a realizar el análisis hidráulico en estado permanente y transitorio nuevamente.



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3



138

Ilustración 4.13. Curva característica proporcionada por la Gerencia de Estudios Especiales de la JAD.

- Las dos bombas ubicadas e instaladas (21 de marzo de 2009) en el cárcamo, son tipo sumergibles marca Goulds, modelo 7WAHC con tres pasos, rpm 3476 y motor de 30 HP. El caudal nominal es $Q = 17.97 \text{ L/s}$ y $H = 85.92 \text{ m}$ (282 ft), de acuerdo con la placa de la bomba. Asimismo el cárcamo presenta un volumen aproximado de 1000 metros cúbicos. A continuación se muestra la curva característica de la bomba instalada y posteriormente las fotografías de la misma.

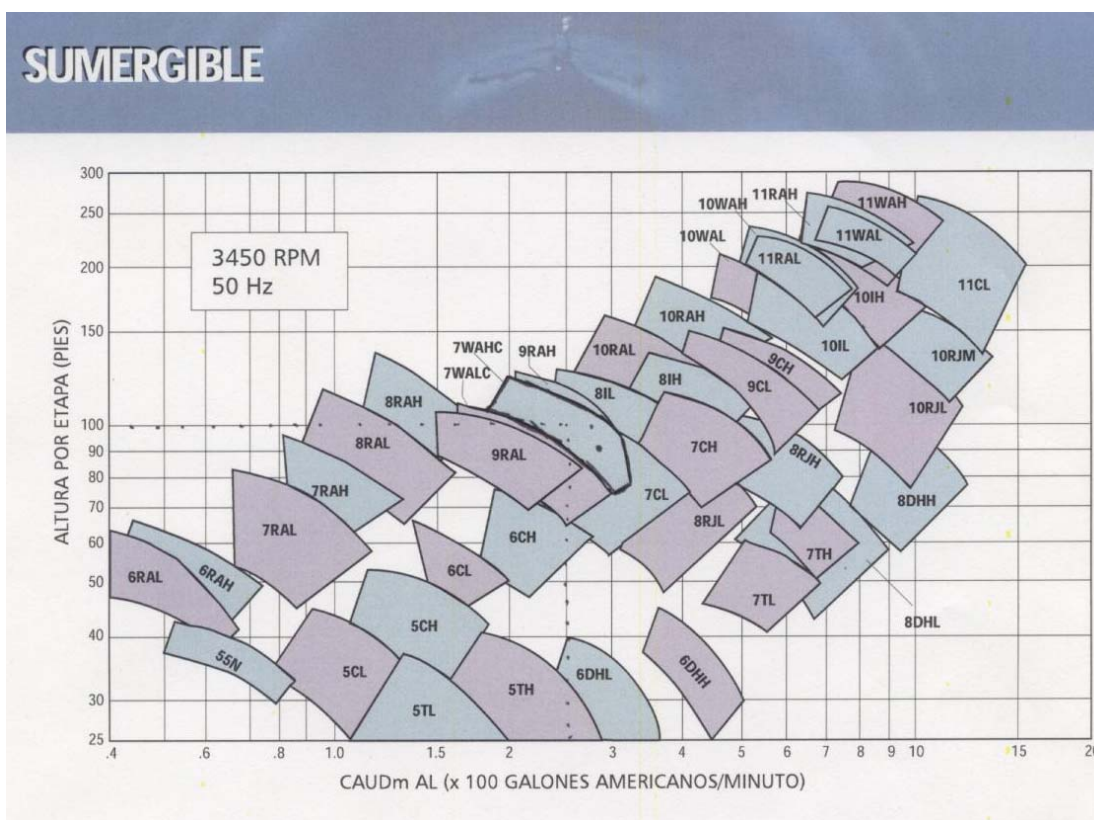


Ilustración 4.14. Curva característica de la bomba instalada en el cárcamo de bombeo

- Derivado del segundo análisis hidráulico en estado permanente y de periodos extendidos, se establece que en caso de operar con dos bombas (3 pasos) en el cárcamo, el caudal suministrado al acueducto asciende a 16 L/s aproximadamente en el horario de mayor consumo (8:30 a 10:15 horas). Es importante precisar que en el comportamiento de la demanda de las localidades involucradas, se adoptó la curva tradicional obtenida a partir de las recomendaciones emitidas por la Comisión Nacional del agua en su Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS), específicamente en el libro de Sistemas Rurales (poblaciones pequeñas).



Ilustración 4.15. Bomba marca Goulds con tres pasos, Q = 285 GPM, R.P.M. = 3476 y H = 282 ft.

- Destaca el orden de magnitud de las presiones obtenidas a partir de las simulaciones. Las presiones máximas se presentan en el tramo inicial (Cárcamo – San Lorenzo), éstas son entre 100 y 105 metros de columna de agua. Lo anterior resulta estar en el límite de la clase de la tubería (clase 10). De acuerdo con la NMX-E-143/1-SCFI-2002 que establece las especificaciones aplicables a los tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) sin plastificante, serie métrica, con extremos lisos, campana y bocina o casquillo en diámetros nominales desde 50 mm a 800 mm, utilizados en sistemas de abastecimiento de agua a presión y no expuesto a rayos

solares, determina que en tuberías clase 10, la presión máxima de trabajo será de 1.0 MPa ó 10 kgf/cm².

- Es importante mencionar que las simulaciones hidráulicas se realizaron con dos programas de cómputo distintos: AH (Análisis Hidráulico) e InfoWorks WS.

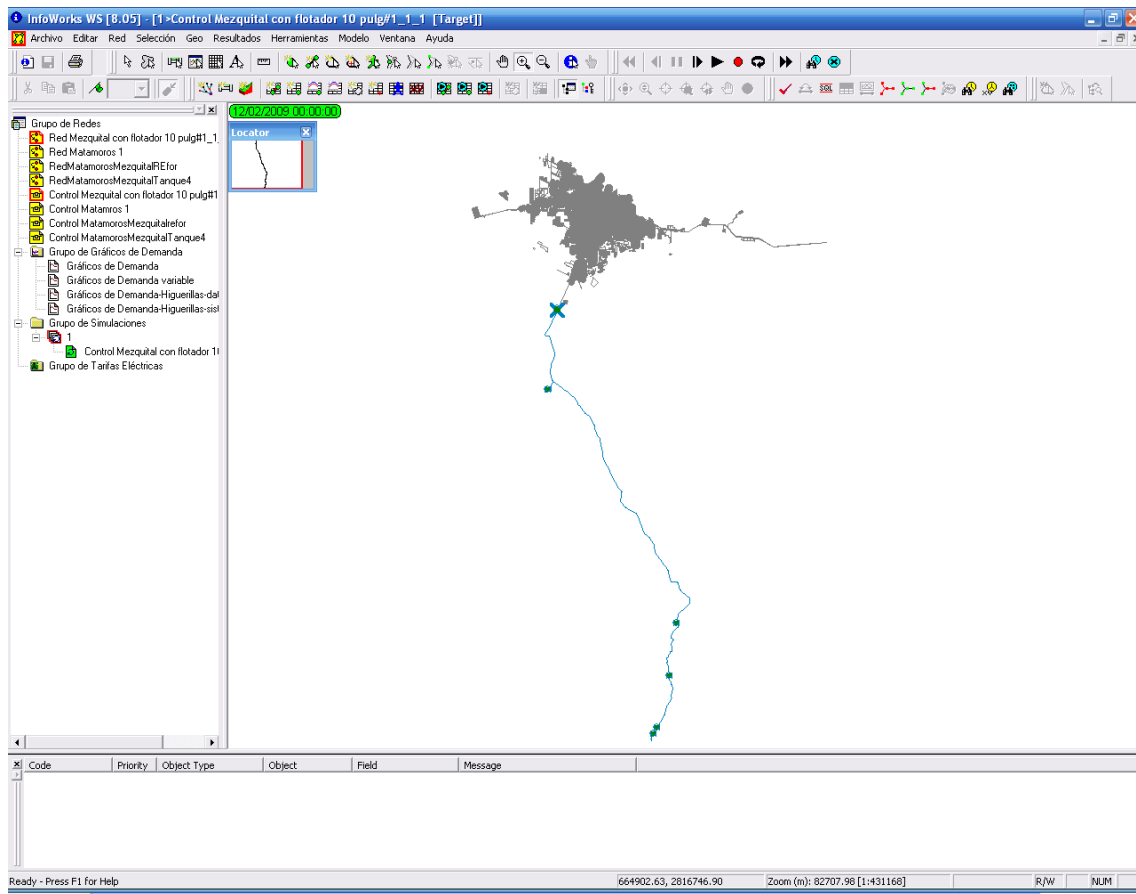


Ilustración 4.16. Modelo de simulación hidráulica en formato InfoWorks WS de la conducción El Mezquital.

- La velocidad y con ello las pérdidas de carga, son otro factor evidente derivado del análisis hidráulico. En los tramos con diámetro de 10 pulgadas, las velocidades son bajas, incluso menores a 0.3 m/s para tuberías de PVC, recomendado por la Comisión Nacional del Agua.
- Lo anterior se debe a la relación existente entre el tamaño de la tubería y el caudal de proyecto que se propone.
- En un tercer escenario, se considera la operación de una sola bomba en el cárcamo (considerando el modelo instalado en campo). Los resultados denotan que una sola

bomba podrá suministrar los 16 L/s aproximadamente con una carga hidráulica máxima de 101 metros de columna de agua. Por lo que se recomienda la operación en el cárcamo con una sola bomba, ello reducirá los costos de energía al prescindir de un equipo de bombeo.

- Asimismo el tramo ubicado entre San Lorenzo y el kilómetro 60+000, con diámetro de 10 pulgadas y clase 7, presenta una capacidad menor al cálculo hidráulico en los estados estado permanente y de periodos extendidos. Por lo que de acuerdo con la normatividad mexicana vigente NMX-E-143/1-SCFI-2002, la presión máxima de trabajo para tubería clase 7, será 0.7 MPa ó 7 kgf/cm². Por tal motivo esta tubería estará sujeta a una presión fuera de norma.

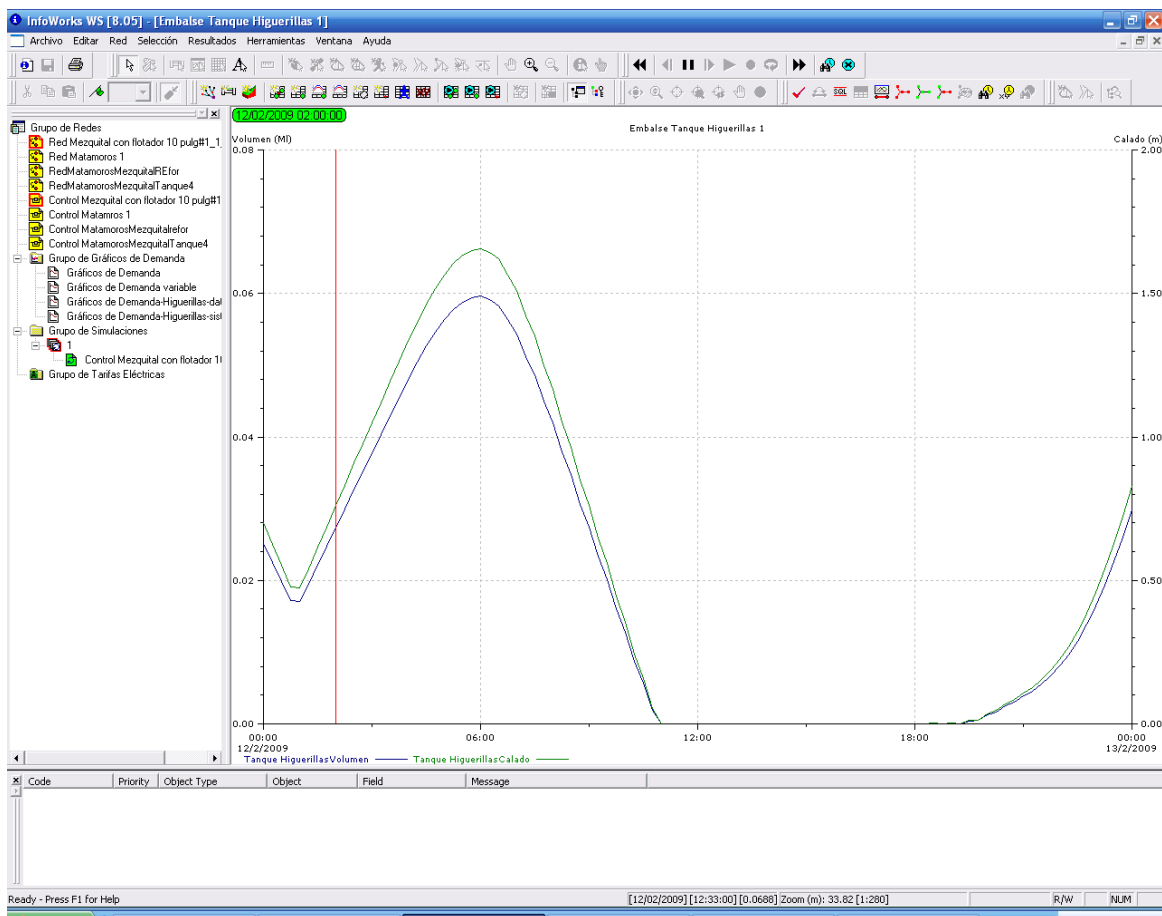


Ilustración 4.17. Evolución de nivel y volumen en el Tanque Las Higuierillas a partir de las simulaciones realizadas en el programa InfoWorks WS.

- El tramo ubicado entre el kilómetro 60+000 y el tanque Higuierillas (4 pulgadas, RD-41) presenta una velocidad promedio 1.0 m/s, lo que se traduce en 16.08 m/km

de pérdidas de carga. Esta situación conlleva una pérdida de carga total entre el kilómetro 60+000 y el tanque Higuerillas (65+000) de 39.63 metros de columna de agua (4 kg/cm² aproximadamente). Lo anterior indica que únicamente en 5 kilómetros de la tubería (7.5% de la longitud total) se presenta el 40% de la carga total de la bomba ubicada en el cárcamo. Esta situación obliga a una recomendación de considerar un diámetro mayor entre el kilómetro 60+000 y el tanque “Higuerillas”, con el objetivo de disminuir la pérdidas de carga.

- El punto anterior adquiere relevancia en el intervalo de mayor demanda de agua por parte de los usuarios del poblado “Las Higuerillas”. La demanda será mayor a la oferta que se ofrezca en el tanque durante ese periodo.

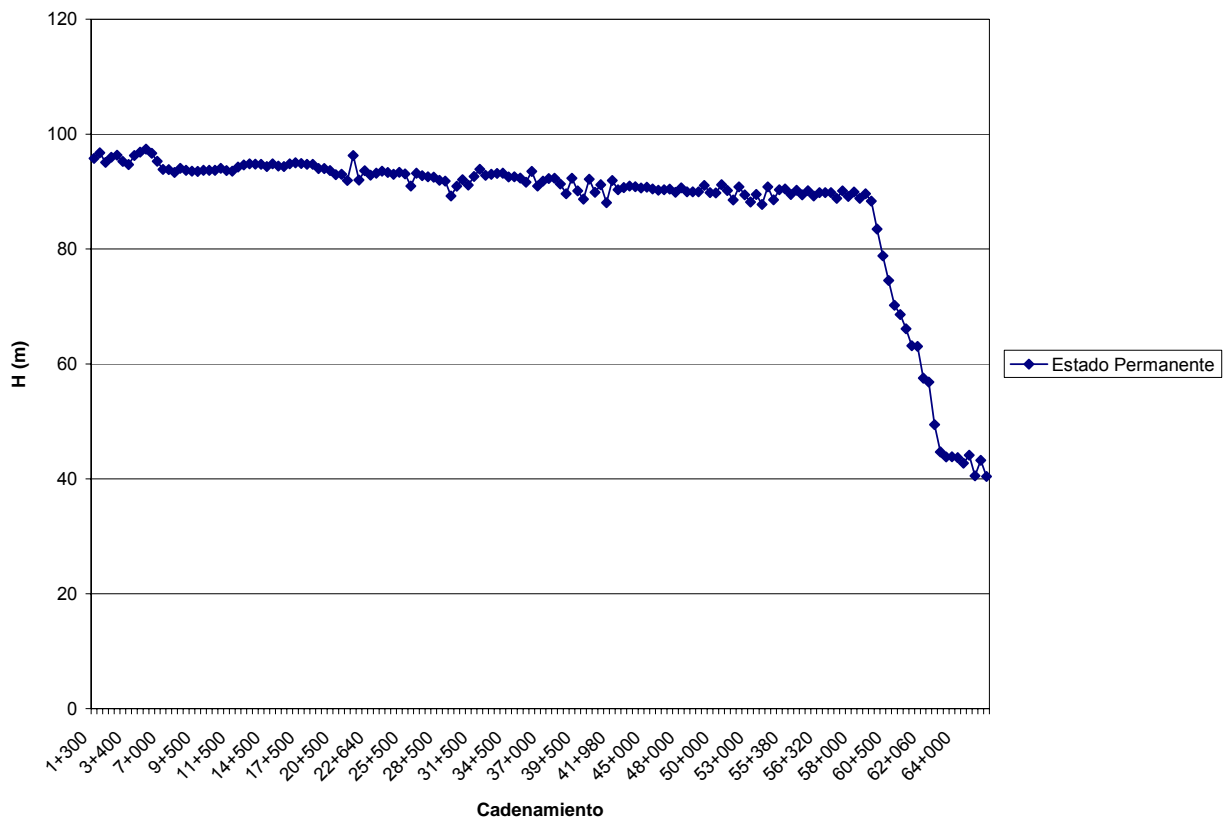


Ilustración 4.18. Evolución de la carga piezométrica en estado permanente de la conducción “El Mezquital”

4.3 Análisis hidráulico considerando flujo transitorio

De acuerdo con los datos proporcionados por la JAD, se procedió a realizar el análisis en estado transitorio de la tubería en cuestión.

De forma resumida el análisis considera la siguiente secuencia:

1. Del proyecto de la conducción se toman los siguientes datos:
 - a) Perfil topográfico de la conducción con elevaciones, diámetro, material y clase de tubería y accesorios por tramos.
 - b) Niveles de agua en la toma y en la descarga de las bombas.
 - c) Curvas características de las bombas.
 - d) Momento de inercia de bombas y motores acoplados.
 - e) Gastos de diseño y forma de operación

Con base en la información proporcionada, la conducción se compone de 156 nodos y 155 tramos suficientes para representar el esquema de la conducción hacia el puerto El Mezquital. Es importante señalar que el análisis hidráulico en estado transitorio se realizó, empleando la plataforma del programa ARIETE, desarrollado por el IMTA.



Ilustración 4.19. Pantalla de introducción de datos en el programa ARIETE®

De forma posterior se requieren de las cotas de terreno de cada uno de los nodos.

Programa: GOLPE DE ARIETE EN REDES

FICHERO: MTMR2

DATOS DE LOS NUDOS

	NUDO	TIPO	COTA
1	1+3000	14	6.11
2	1+6200		5.10
3	1+7400		6.73
4	2+5000		5.69
5	2+8600		5.24
6	3+0000		6.28
7	3+4000		6.75
8	4+0000		5.05
9	4+5000		4.37
10	5+0000		3.71
11	5+5000		4.36
12	6+3000		5.56
13	7+0000		6.85
14	7+6000		6.79

←↑↓→ Movimiento del cursor
PgUp Página anterior
PgDn Próxima página
Enter Entra un dato INS OFF
Home Regresa al menú
F1 Ayuda

NUDO Nombre del nudo
TIPO No del tipo de NUDO
BOMBA <que para>
COTA Cota topográfica <m>
Q<L/s> Consumo en <L/s> <nudo 34>
E.N.A. Elevación del nivel de agua
en <m> <para tipo ?>

Ilustración 4.20. Introducción de las características generales de los nodos que conforman la conducción.

Definidos los nodos, se introducen las características mecánicas e hidráulicas en cada uno de los equipos de bombeo. Para ello, iniciaremos con el cálculo del momento volante, recordar éste proviene de la fórmula siguiente:

$$I = \frac{GD^2}{4g} \tag{4.1}$$

I , momento de inercia, en Kg m.s²
 GD^2 , momento volante, kg.m²
 g , aceleración de la gravedad, m/s²

Tabla 4.1. Cálculo del momento volante de las bombas ubicadas en el cárcamo de bombeo

Nodo	Potencia	Potencia	RPM	Número de impulsores	WR2 fórmula Thorley (motor)	WR2 fórmula Thorley (bomba)	WR2 fórmula Thorley (motor+bomba)	GD2 fórmula Thorley (motor+bomba)
	(HP)	(KW)			(Kg.m2)	(Kg.m2)	(Kg.m2)	(Kg.m2)
Bombas	30	22.371	3450	3	0.068395981	0.063266198	0.131662179	0.527

Este valor, posteriormente es introducido al programa de análisis transitorio ARIETE.

Programa: GOLPE DE ARIETE EN REDES **FIGHERO: MTMR2**

Nudo 1+300	BOMBA <que para>
Cantidad de bombas.....	2
r.p.m. nominales.....	3550
Momento volante GD2 <kg.m2>.....	0.53
Pérdidas en la E.Bombeo <m>.....	0.50
Q para esas pérdidas <L/s>.....	5.00
Nivel de agua en la toma <m>.....	3.11

Pág. 1 de 2

↑↓ Movimiento del cursor
PgDn Próxima página
Enter Entrar un dato
ESC, ← Regresar a los nudos

Ilustración 4.21. Características mecánicas e hidráulicas de los equipos de bombeo dentro del programa ARIETE.

Enseguida se colocan los valores de las curvas características de una de las bombas (GOULDS).

Programa: GOLPE DE ARIETE EN REDES **FIGHERO: MTMR2**

Q Caudal <L/s>
H Carga <m>
Ef Eficiencia <%>

Pág. 2 de 2

←↑↓→ Movimiento del cursor
PgUp Página anterior
Enter Entra un dato
N Número de puntos de las curvas <mínimo 3>
ESC, PgDn Regresar a los nudos

CURVAS CARACTERISTICAS			
NUMERO DE PUNTOS POR CURVA: 10			
No	Q <L/s>	H <m>	Ef <%>
1	0.00	23.99	0.00
2	5.00	22.95	0.00
3	8.00	21.52	0.00
4	9.00	20.82	0.00
5	10.00	20.00	0.00
6	11.00	18.82	0.00
7	12.00	17.47	0.00
8	13.00	15.92	0.00
9	14.00	13.97	0.00
10	15.00	11.45	0.00

Ilustración 4.22. Introducción de puntos que componen las curvas características de los equipos de bombeo

Introducidos los valores de los nodos, se colocan los parámetros correspondientes al coeficiente de rugosidad y la velocidad de propagación de la onda en cada uno de los tramos, esto estará en función del tipo de material que se presente.

Programa: GOLPE DE ARIETE EN REDES

ARCHIVO: MTMR2

←↑↓→ Movimiento del cursor
PgUp Página anterior
PgDn Próxima página
Enter Entra un dato
Tab Pasa a los tramos
Home Regresa al menú
F1 Ayuda

DATOS DE LOS INDICES <TIPOS DE CONDUCTOS>

I	DIAM. <mm>	COEFIC. RUGOS.	VEL. a <m/s>	RES. máx m. c. a.	RES. mín m. c. a.
1	254.0	140.00	350.0	0.0	0.00
2	101.6	140.00	350.0	0.0	0.00
3				0.0	0.00
4				0.0	0.00
5				0.0	0.00
6				0.0	0.00
7				0.0	0.00
8				0.0	0.00
9				0.0	0.00
10				0.0	0.00

COEFIC.: C, n, o Rug. <tipo Ø>
K <los demás tipos>
a: Velocidad de la onda
de presión
RES. máx y mín: Resistencias
máx. y mín.

Ilustración 4.23. Definición diámetros necesarios para el dimensionamiento de tuberías, rugosidad y velocidad de propagación de la onda en función del material¹

Con los datos del diámetro, material, clase de tubería y accesorios, se determinan las presiones máximas y mínimas (vacío) que podrán soportar los tramos de tubería.

4.3.1 Resistencia contra sobrepresiones

Las altas presiones que se producen como resultado del golpe de ariete pueden ser superiores a la resistencia de la tubería hasta provocar su avería.

- Producto del análisis hidráulico en estado transitorio se concluye que las sobrepresiones máximas, producto de un cierre repentino en los equipos de bombeo ubicados en el cárcamo (inicio de la conducción) son de 10.5 kg/cm², por lo que se presenta en el límite de la resistencia de trabajo de la tubería (clase 10).
- En el tramo entre San Lorenzo y el kilómetro 60+000 con tubería de 10 pulgadas y clase 7, las presiones calculadas superan los 9 kg/cm². De acuerdo a la normatividad vigente en la NMX-E-143/1-SCFI-2002, la presión de trabajo será mayor a la clase del tubo, por lo que se tiene riesgo de colapso de la tubería, ver Ilustración siguiente.
- El análisis de subpresiones por su parte, concluye que la tubería ubicada en el sitio Cárcamo (punto inicial) – San Lorenzo, no presenta riesgo ante subpresiones debido

¹ La velocidad de propagación se considera de 350 m/s, debido al tipo de material de la tubería PVC, CONAGUA, 2007.

a que el espesor instalado es mayor al espesor crítico calculado. Caso contrario ocurre en los sitios San Lorenzo – Las Higuierillas (tubería de 10” y espesor = 3/8”) y Las Higuierillas – Puerto Mezquital (tuberías de 4” y espesor = 7.6 mm), donde el espesor crítico calculado es mayor que el instalado.

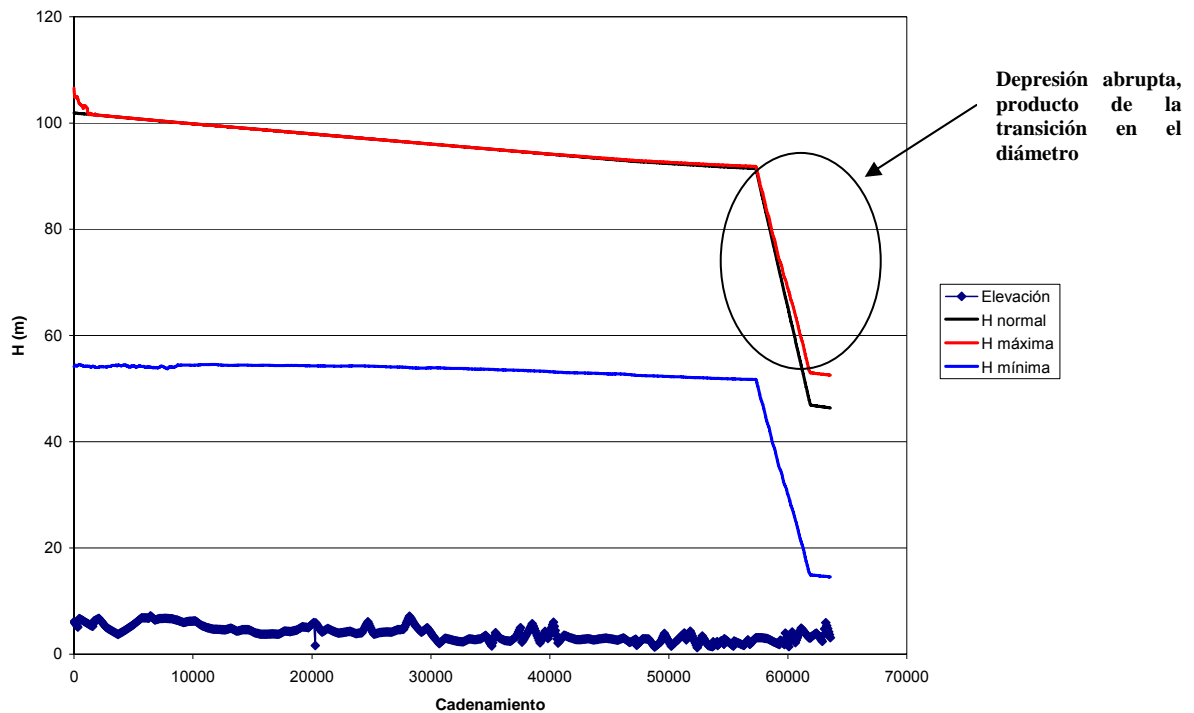


Ilustración 4.24. Envoltentes de presión máximas y mínimas derivado del análisis transitorio de la conducción “El Mezquital”

4.3.2 Resistencia contra subpresiones

Depresiones (presiones negativas y separación de la columna líquida): Al presentarse en el transitorio un vacío (presión menor que la atmosférica), dentro de la tubería se tendrá una presión inferior a la que actúa afuera. Para tuberías enterradas, además de la presión atmosférica actúa también el empuje del terreno. Si la tubería no es suficientemente rígida en su sección transversal, esta diferencia de presiones puede hacer que la sección pierda su estabilidad y se colapse la tubería. Para un material de tubería dado, la estabilidad de una tubería frente al colapso depende de la relación entre su diámetro D y el espesor de la pared δ (llamada también relación de esbeltez). La estabilidad es tanto mayor cuanto menor sea el valor de su relación D/δ . Las tuberías de plástico son más vulnerables en este sentido, al

tratarse de un material más deformable. Otras tuberías, como por ejemplo de concreto o acero, soportan mejor estas condiciones.

- **Tramo Cárcamo – San Lorenzo**

La presión crítica se obtiene por la ecuación siguiente:

$$p_{cr} = \frac{2E}{1-\mu^2} \left(\frac{\delta}{D} \right)^3 \quad (4.2)$$

Donde:

E , módulo de elasticidad del material

D , diámetro comercial, que será de 10 pulgadas ó 0.254 metros para el tramo de la tubería de PVC.

μ , coeficiente de Poisson. Para el caso de tuberías de PVC el valor será de 0.45.

δ , espesor de la pared (relación de esbeltez). (9.525 mm, tubería de PVC)

Con base en las recomendaciones emitidas por la CNA (CNA, 2001), para tuberías de PVC, el valor del módulo de elasticidad del material E , será de 2450 kg/cm².

Colocando los valores correspondientes en la ecuación (3.2), se tiene lo siguiente:

$$p_{cr} = \frac{2(2450)}{1-(0.45)^2} \left(\frac{9.525}{254} \right)^3 = 0.324 \text{ kg/cm}^2$$

La presión crítica para el caso es inferior a la presión atmosférica (igual a 1 kg/cm²), por esto, **la tubería no está segura contra colapso por presión atmosférica y por lo tanto quedará expuesta ante problemas de aplastamiento.**

Ahora bien, existen otras recomendaciones para analizar el problema de las subpresiones, una de ellas es la aplicación de la ecuación siguiente, que expresa el espesor crítico, δ_{cr} , es decir que si este espesor resulta mayor al espesor de la tubería, δ , existirá peligro de aplastamiento:

$$\delta_{cr} = \frac{D}{C} \quad (4.3)$$

Donde:

D , diámetro de la tubería, en m

C , Constante necesaria para el cálculo del espesor crítico. Para nuestro caso, el valor para PVC será: $C_{PVC} = 33$.

Por tanto al aplicar la ecuación 4.3 se obtiene lo siguiente:

$$\delta_{cr} = \frac{254}{33} = 7.69 \text{ mm (PVC)} \therefore \mathbf{7.69 < 9.525 \text{ mm}}$$
, no se presenta peligro por aplastamiento

Asimismo considerando las recomendaciones de la CONAGUA en su libro Fenómenos Transitorios en tuberías, se expresa que una forma sencilla de calcular el riesgo de aplastamiento en una tubería, resulta del cociente entre Diámetro y el Espesor.

Para tuberías de PVC esta relación deberá ser menor a 33 para evitar riesgos potenciales por aplastamiento. Por tanto si aplicamos esta relación se obtiene:

$$\frac{254 \text{ mm}}{9.525 \text{ mm}} = 26.66 \therefore \text{es menor a } 33, \text{ no existe peligro potencial por aplastamiento.}$$

Por lo tanto, podemos concluir que el tramo entre el Cárcamo (enfrente de la Naval) y el Tanque San Lorenzo, no presenta un riesgo potencial ante las presiones negativas.

- **Tramo San Lorenzo – Las Higuierillas**

Retomando la ecuación 4.2, se tiene lo siguiente:

D , diámetro comercial, que será de 10 pulgadas ó 0.254 metros para el tramo de la tubería de PVC.

μ , coeficiente de Poisson. Para el caso de tuberías de PVC el valor será de 0.45.

δ , espesor de la pared (relación de esbeltez). 6.35 mm, tubería de PVC)

Con base en las recomendaciones emitidas por la CNA (CNA, 2001), para tuberías de PVC, el valor del módulo de elasticidad del material E , será de 2450 kg/cm².

Colocando los valores correspondientes en la ecuación (4.2), se tiene lo siguiente:

$$P_{cr} = \frac{2(2450)}{1 - (0.45)^2} \left(\frac{6.35}{254} \right)^3 = 0.096 \text{ kg/cm}^2$$

La presión crítica para este caso es inferior a la presión atmosférica (igual a 1 kg/cm²), por esto, **la tubería no está segura contra colapso por presión atmosférica y por lo tanto quedará expuesta ante problemas de aplastamiento.**

Ahora bien, existen otras recomendaciones para analizar el problema de las subpresiones, por tanto, retomando la ecuación 4.3 y considerando $C_{PVC} = 33$, se tiene:

$$\delta_{cr} = \frac{254}{33} = 7.69 \text{ mm (PVC)} \therefore \mathbf{7.69 > 6.35 \text{ mm}},$$

Se presenta peligro por aplastamiento

Asimismo considerando las recomendaciones de la CONAGUA en su libro Fenómenos Transitorios en tuberías, se expresa que una forma sencilla de calcular el riesgo de aplastamiento en una tubería, resulta del cociente entre Diámetro y el Espesor.

Para tuberías de PVC esta relación deberá ser menor a 33 para evitar riesgos potenciales por aplastamiento. Por tanto si aplicamos esta relación se obtiene:

$$\frac{254 \text{ mm}}{6.35 \text{ mm}} = 40 \therefore \text{es mayor a } 33, \text{ **Existe peligro potencial por aplastamiento.**}$$

Por lo tanto, podemos concluir que el tramo entre el Tanque San Lorenzo y el poblado de Higuierillas, presenta un riesgo potencial ante las presiones negativas.

- **Tramo Las Higuierillas – Puerto El Mezquital**

Retomando la ecuación 4.2, se tiene lo siguiente:

D , diámetro comercial, que será de 4 pulgadas ó 0.1016 metros para el tramo de la tubería de PVC.

μ , coeficiente de Poisson. Para el caso de tuberías de PVC el valor será de 0.45.

δ , espesor de la pared (relación de esbeltez). 2.8 mm, tubería de PVC)

Con base en las recomendaciones emitidas por la CNA (CNA, 2001), para tuberías de PVC, el valor del módulo de elasticidad del material E , será de 2450 kg/cm².

Colocando los valores correspondientes en la ecuación (4.2), se tiene lo siguiente:

$$P_{cr} = \frac{2(2450)}{1 - (0.45)^2} \left(\frac{2.8}{101.6} \right)^3 = 0.128 \text{ kg/cm}^2$$

La presión crítica para este caso es inferior a la presión atmosférica (igual a 1 kg/cm^2), por esto, **la tubería no está segura contra colapso por presión atmosférica y por lo tanto quedará expuesta ante problemas de aplastamiento.**

Ahora bien, existen otras recomendaciones para analizar el problema de las subpresiones, por tanto, retomando la ecuación 3.3 y considerando $C_{PVC} = 33$, se tiene:

$$\delta_{cr} = \frac{101.6}{33} = 3.078 \text{ mm (PVC)} \therefore \mathbf{3.078 > 2.8 \text{ mm, Se presenta peligro por aplastamiento.}}$$

Asimismo considerando las recomendaciones de la CONAGUA en su libro Fenómenos Transitorios en tuberías, se expresa que una forma sencilla de calcular el riesgo de aplastamiento en una tubería, resulta del cociente entre Diámetro y el Espesor.

Para tuberías de PVC esta relación deberá ser menor a 33 para evitar riesgos potenciales por aplastamiento. Por tanto si aplicamos esta relación se obtiene:

$$\frac{101.6 \text{ mm}}{2.8 \text{ mm}} = 36.28 \therefore \text{es mayor a } 33, \mathbf{\underline{\text{Existe peligro potencial por aplastamiento.}}}$$

Por lo tanto, podemos concluir que el tramo entre el poblado de Higuierillas y el Puerto El Mezquital, presenta un riesgo potencial ante las presiones negativas.

4.4 Recomendaciones

- Es necesario considerar la incorporación de válvulas eliminadoras de aire instalada sobre la válvula de admisión y expulsión. Lo anterior obligará la salida del aire atrapado durante la operación normal del acueducto, permitiendo obtener una mayor eficiencia en la conducción. De lo contrario se reducirá la capacidad de transporte del conducto.
- De acuerdo con la normatividad local emitida por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), específicamente en su Norma Técnica NT-012-CNA-2001, se establece la instalación de válvula mixta en tramos largos con pendiente uniforme (sea paralela, ascendiendo o descendiendo respecto al gradiente hidráulico) en intervalos de entre 500 a 1000 metros.
- Asimismo la American Water Works Association (AWWA) establece instalar una válvula combinada (admisión, expulsión y eliminadora) en el inicio y final de la sección horizontal, asimismo para aquellos que la tubería presenta la

longitud elevada, es recomendable considerar estas válvulas en intervalos de 400 a 800 metros. Lo anterior se debe a la complicada evacuación del aire a través de una tubería horizontal o de pendiente muy suave, dado que se presentan velocidades muy bajas.

- La tubería de cuatro pulgadas ubicada al final de la conducción repercute de forma significativa en la presión de llegada y operación del tanque “Las Higuierillas”.
- Considerando un caudal de salida de 16 L/s (máximo horario) producto de dos bombas operando en el cárcamo y 105 metros de columna de agua en el mismo sitio, se asegura el suministro de agua hasta la última localidad que suministra el acueducto, sin embargo se tiene la restricción de la clase de la tubería, en el tramo ubicado entre San Lorenzo y el kilómetro 60+000.
- Se realizaron diferentes escenarios considerando las condiciones hidráulicas del punto anterior, destacan aquellos que involucran la incorporación de tomas adicionales (registradas y clandestinas). Para el caso de extraer un caudal mayor a 8 L/s adicional, los tanques “Higuierillas” y “El Mezquital” sufrirían las consecuencias. Esto resulta de relevancia si consideramos que la población ubicada en la localidad de “Higuierillas”, representa el 55% del total de la población beneficiada por el proyecto.
- La infraestructura instalada actualmente (tubería, tanques, etc) producto del proyecto, permite un suministro mayor a los 80 litros por segundo.

5. DISEÑO DE REFORZAMIENTOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE MATAMOROS, TAMPS.

Considerando la construcción del modelo de simulación hidráulica y el Sistema de Información Geográfica realizados por el IMTA, es posible definir reforzamientos de tubería que trasciendan en lo siguiente:

1. Cierre de circuitos en tuberías principales. Ello permite una mejora el servicio hacia los usuarios a través de un aumento de presión en la red de distribución.
2. Detección de áreas de oportunidad que establezcan un aumento en la facturación en la JAD. Esto se debe a la submedición que presentan un gran número de usuarios con micromedidor.
3. Pronóstico de ingresos considerando el aumento de facturación y el porcentaje de la voluntad de pago en dichas rutas de lectura involucradas en los reforzamientos.

5.1 Diseño de tubería de refuerzo en la red de distribución de Matamoros

Por lo anterior a continuación se muestran en las ilustraciones siguientes (COLOR NARANJA), los reforzamientos diseñados en diversas zonas de la ciudad de Matamoros; es importante precisar que en la tabla (al final de las ilustraciones) se presenta una relación que especifica los volúmenes de material.

Los reforzamientos tienen como objetivo primordial, mejorar las presiones en la red de distribución, éstos se implementaron considerando un costo mínimo de inversión y mejorando el servicio de agua potable. Es importante mencionar que aunado a esto se requieren las acciones de sectorización de la red de distribución mismas que se comentan en el capítulo siguiente.

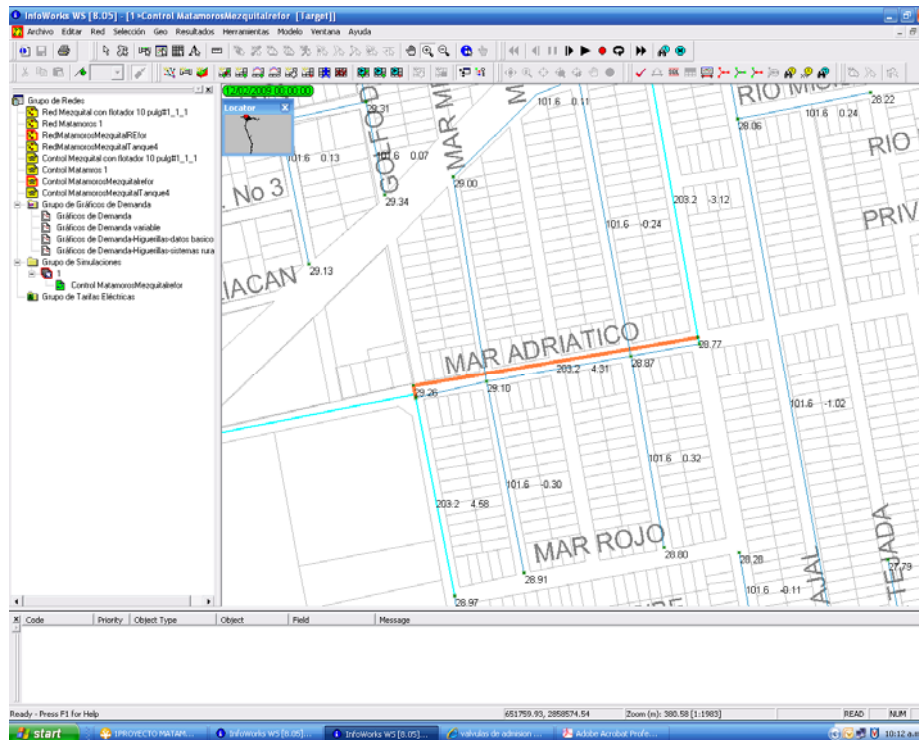


Ilustración 5.1. Reforzamiento número uno.

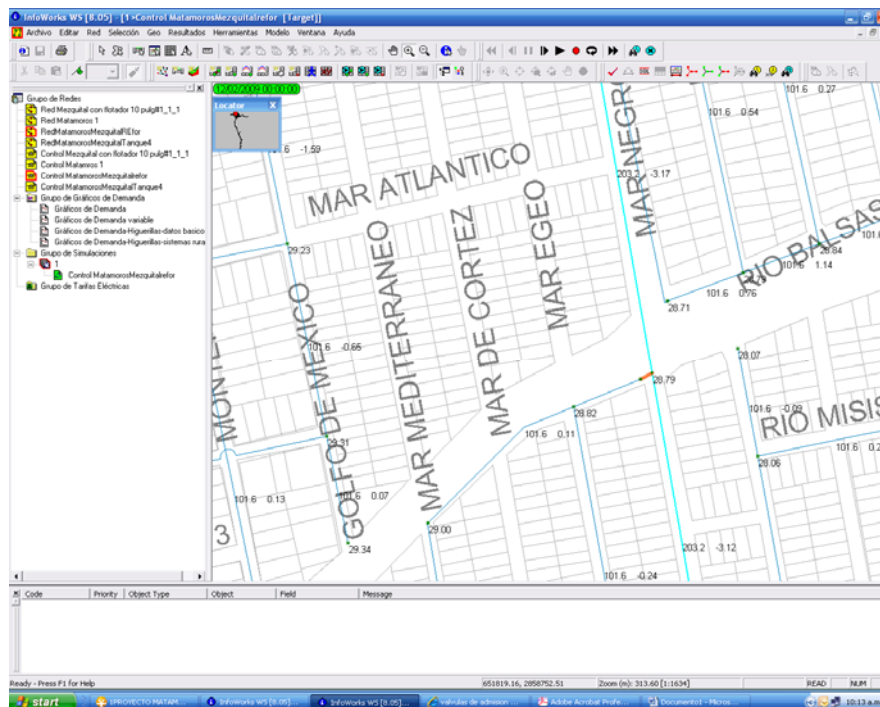


Ilustración 5.2. Reforzamiento número dos.

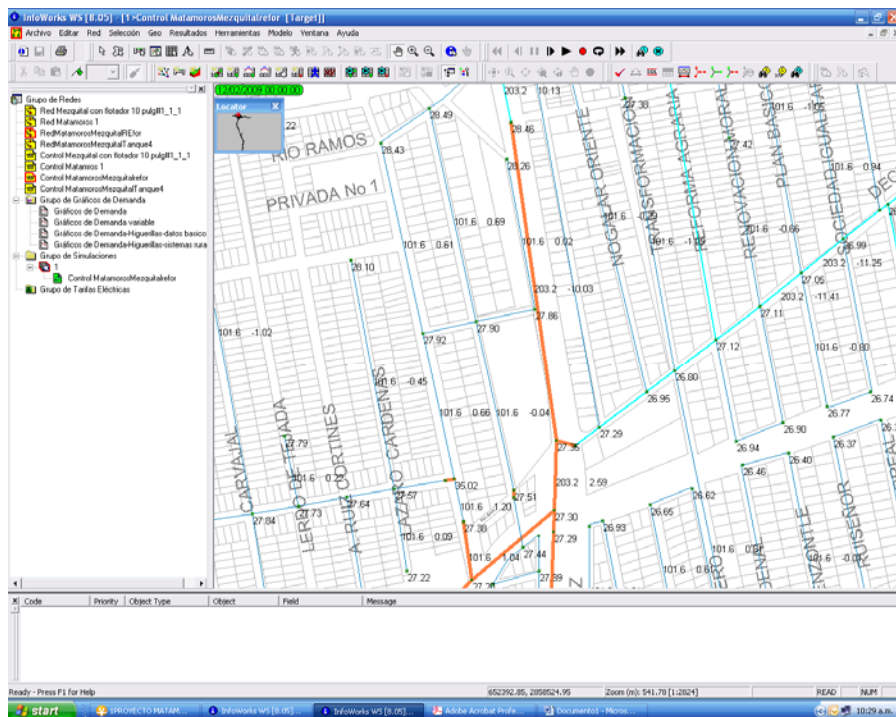


Ilustración 5.3. Reforzamiento número tres.

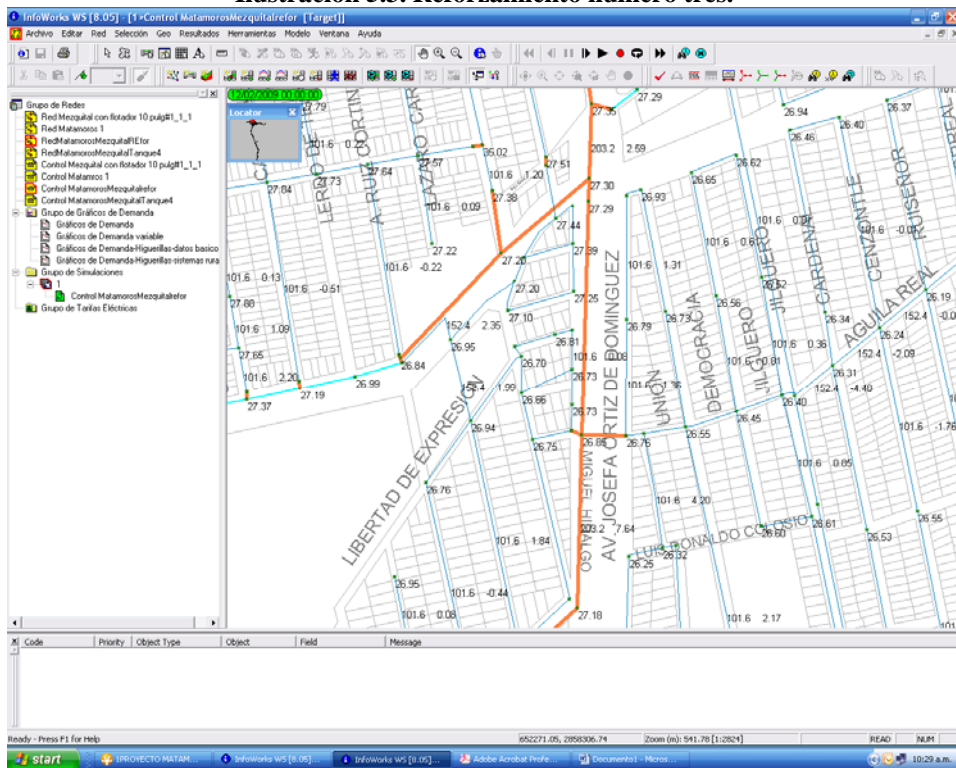


Ilustración 5.4. Reforzamiento número cuatro.

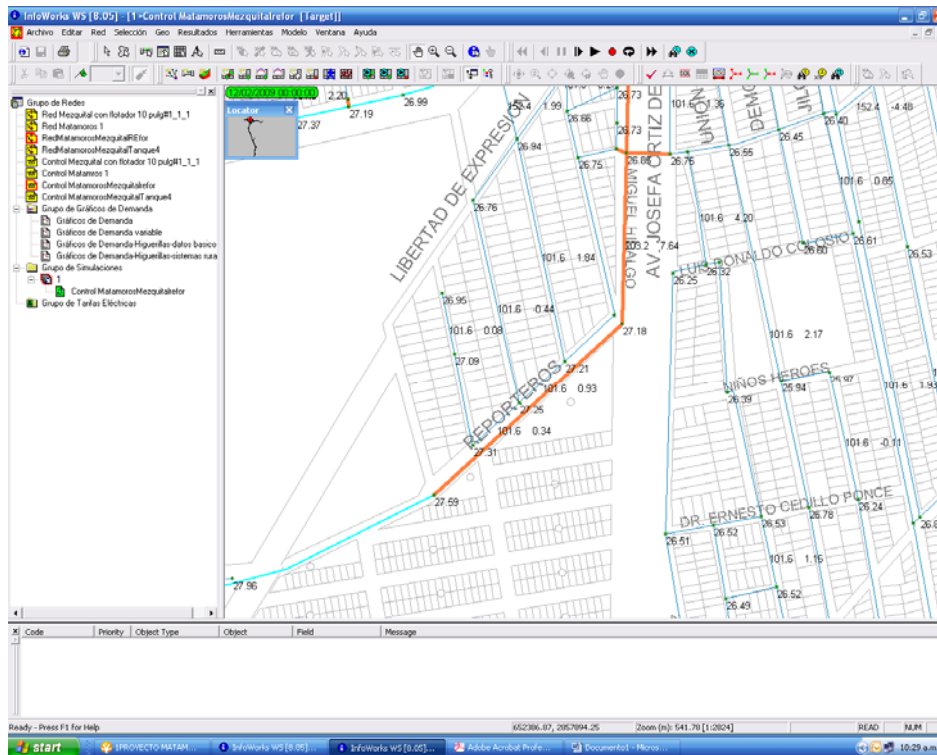


Ilustración 5.5. Reforzamiento número cinco.

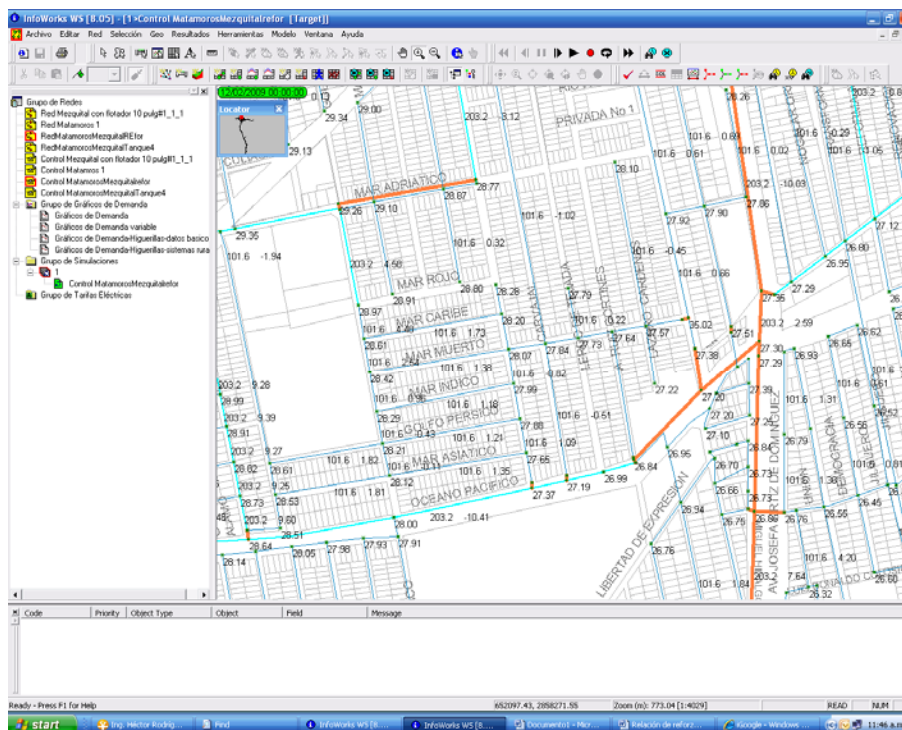


Ilustración 5.6. Reforzamiento número seis.

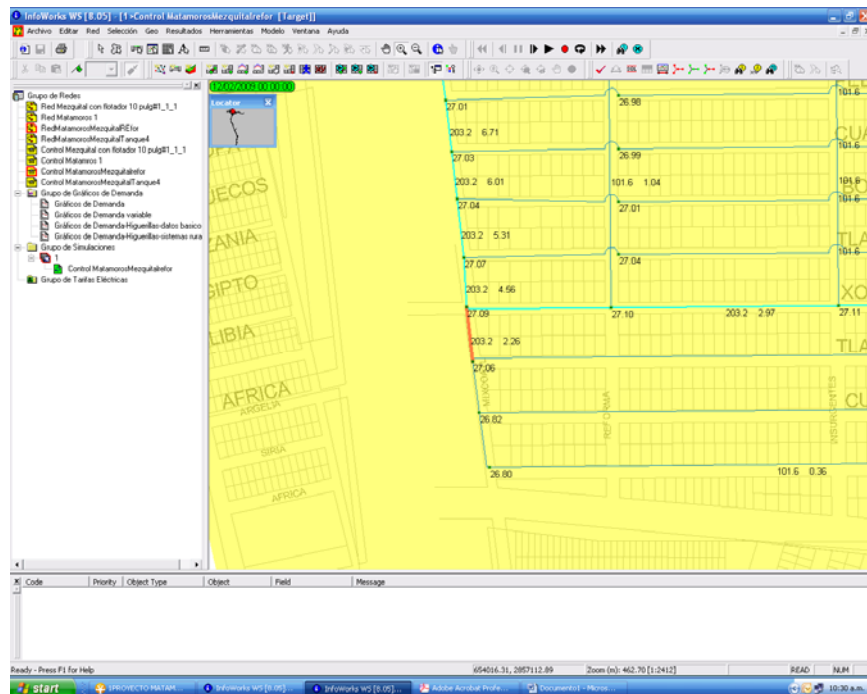


Ilustración 5.9. Reforzamiento número nueve

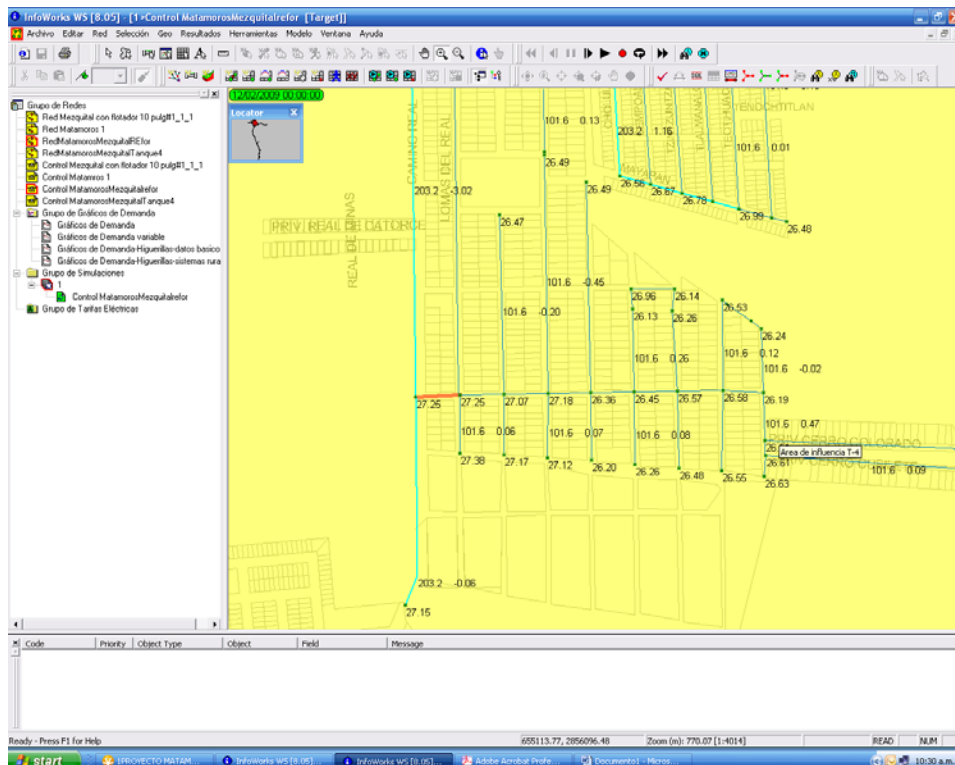


Ilustración 5.10. Reforzamiento número diez

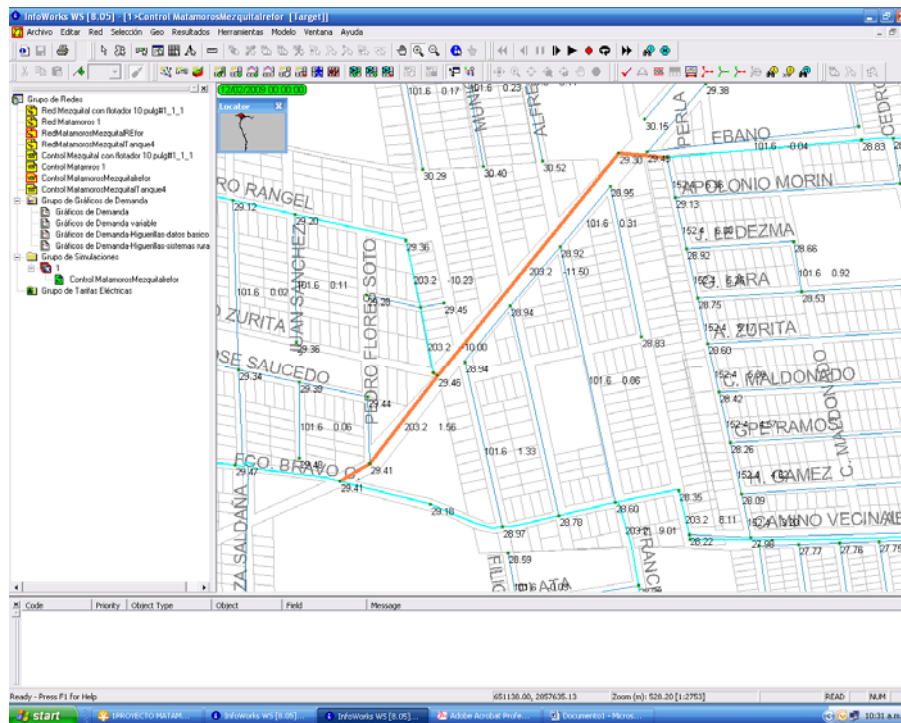


Ilustración 5.11. Reforzamiento número once

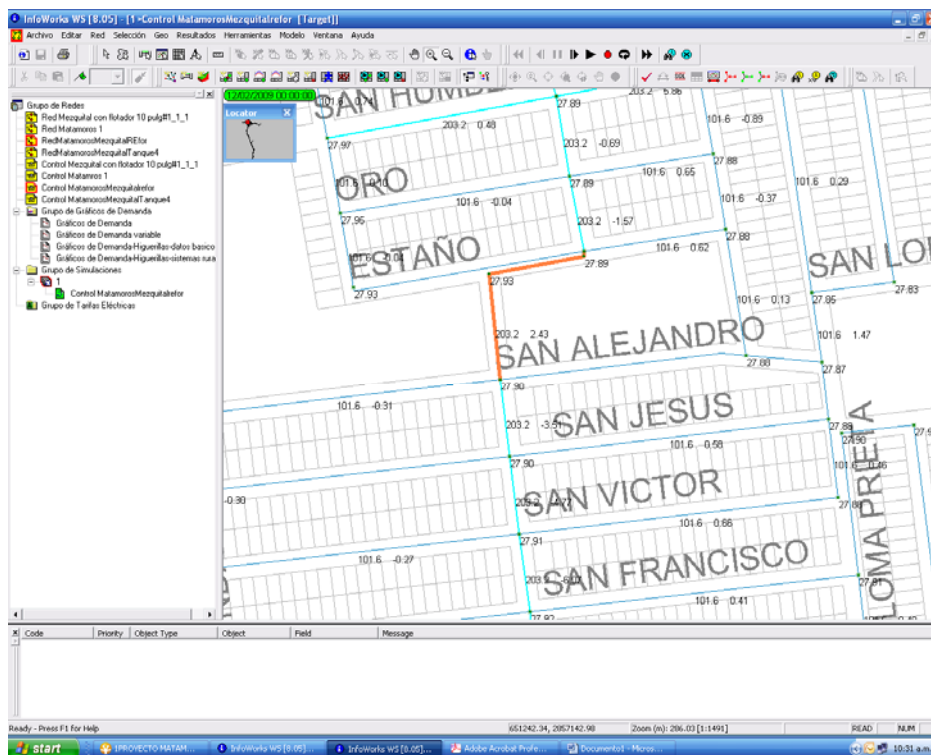


Ilustración 5.12. Reforzamiento número doce

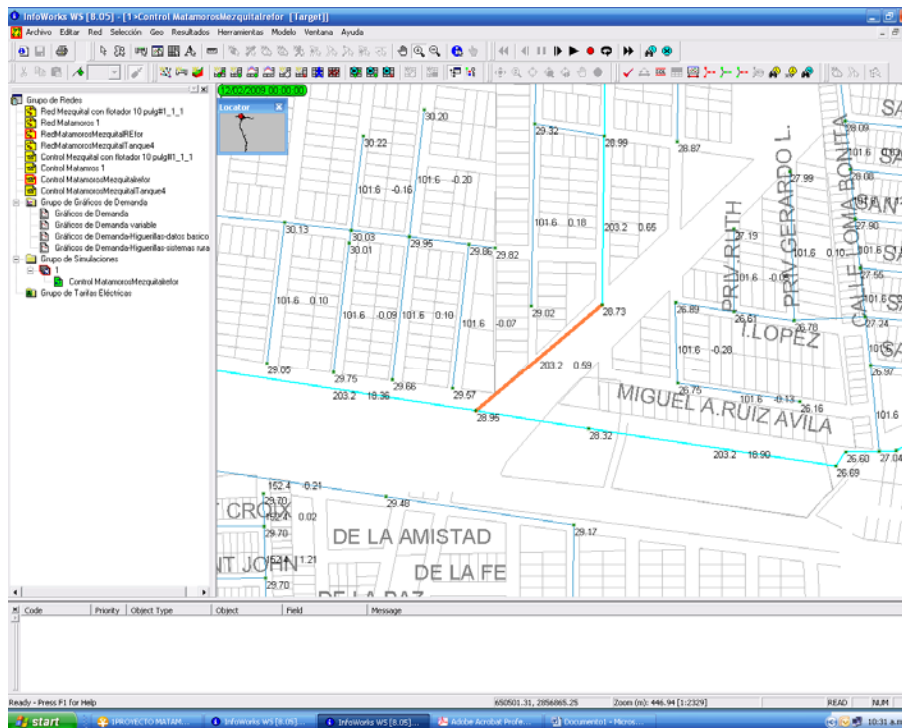


Ilustración 5.13. Reforzamiento número trece

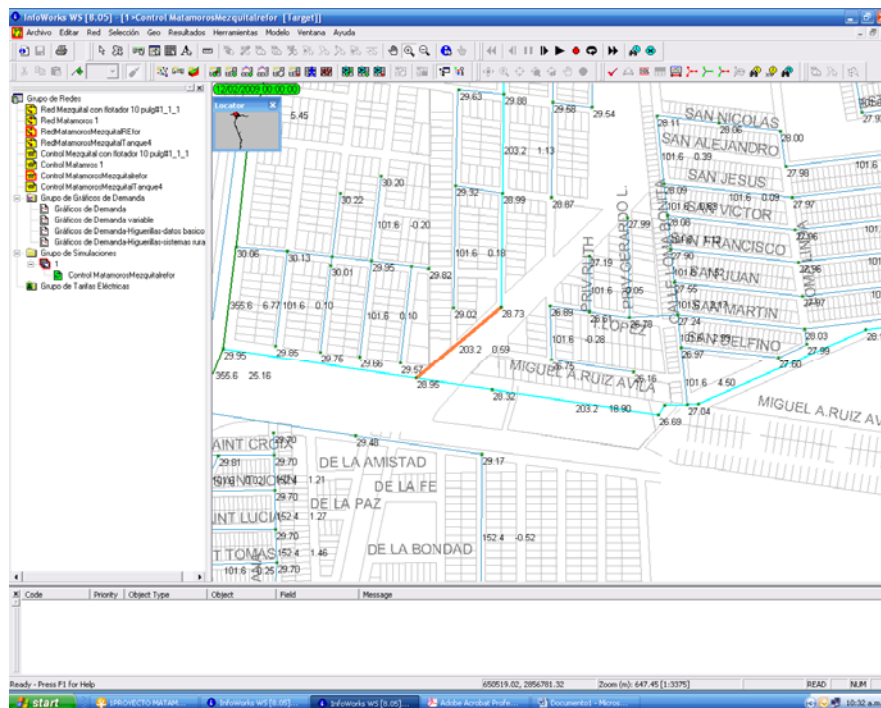


Ilustración 5.14. Reforzamiento número catorce.

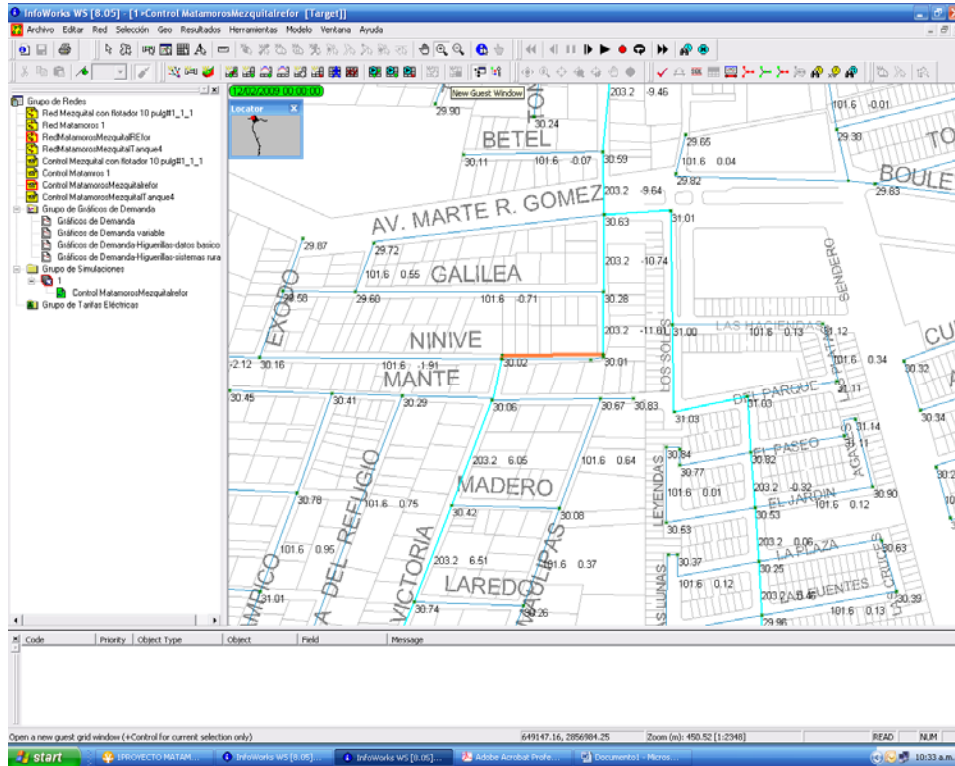


Ilustración 5.15. Reforzamiento número quince.

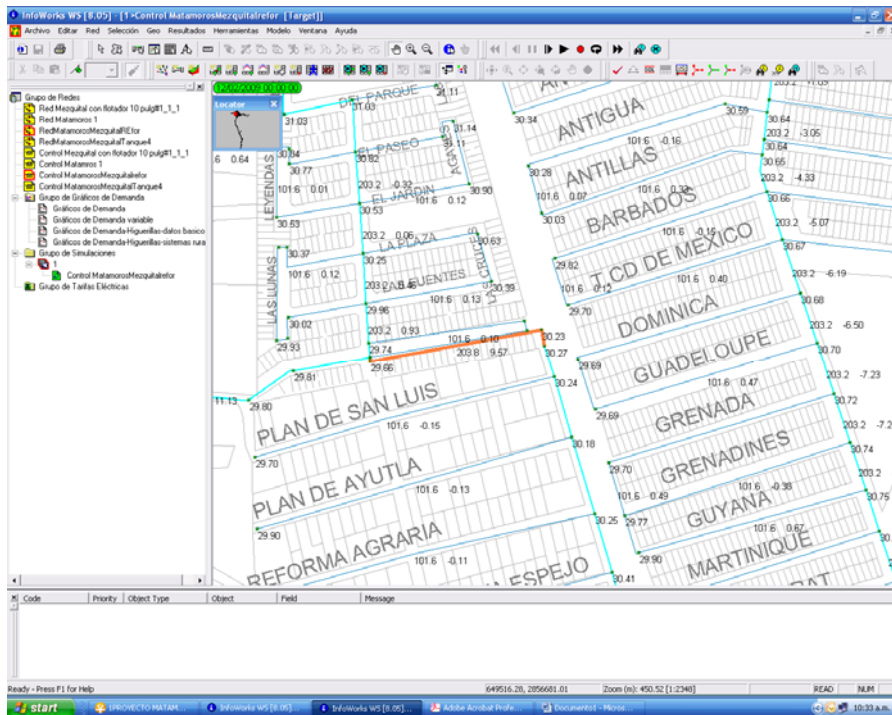


Ilustración 5.16. Reforzamiento número dieciséis.

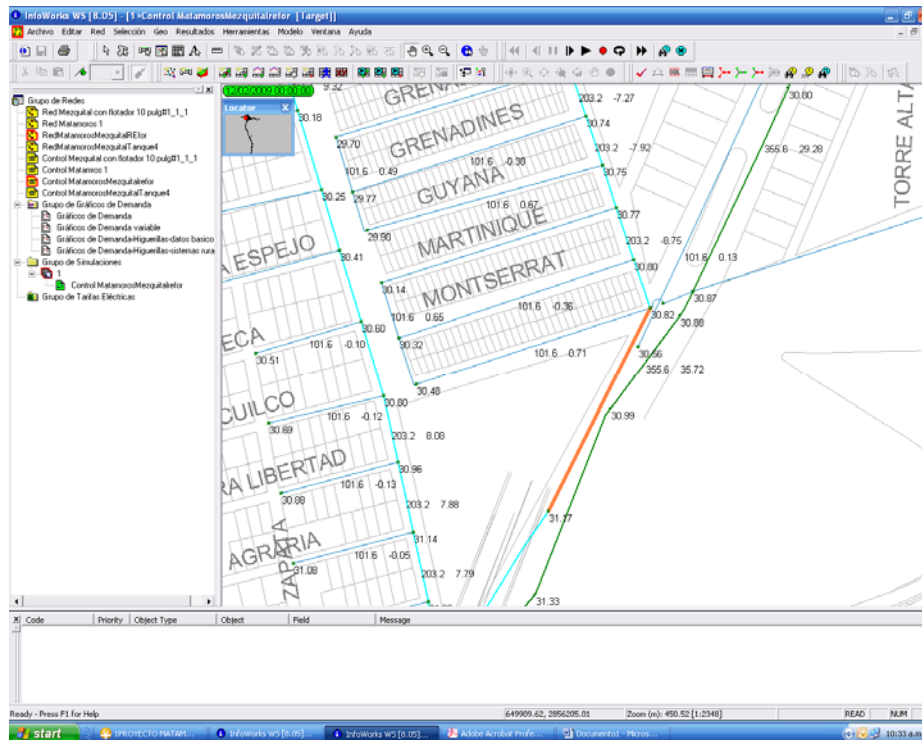


Ilustración 5.17. Reforzamiento número diecisiete.

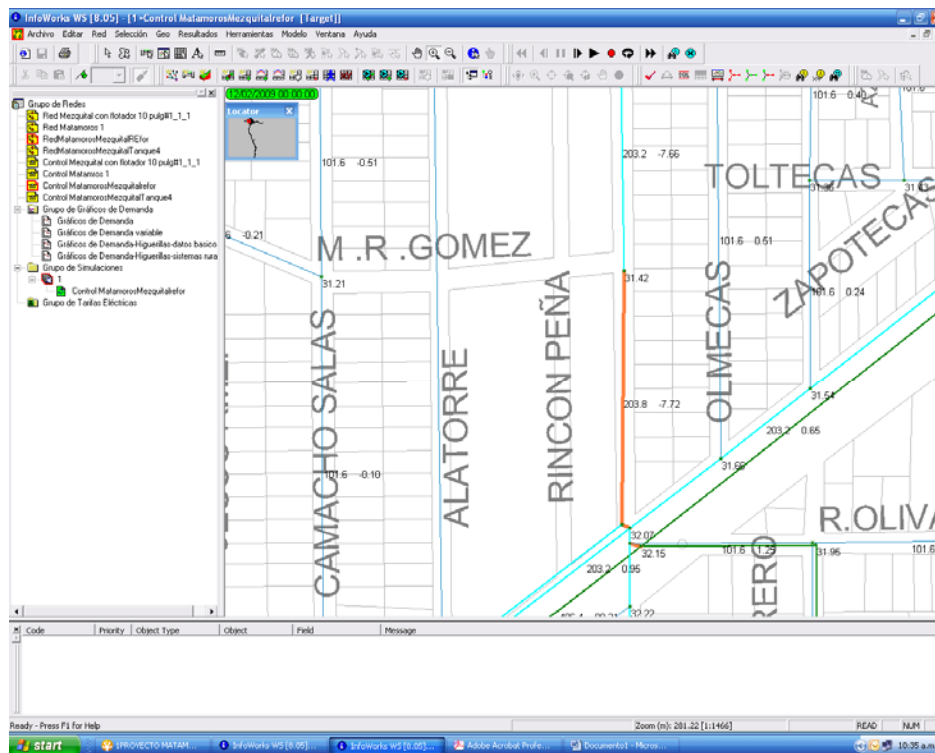


Ilustración 5.18. Reforzamiento número dieciocho.

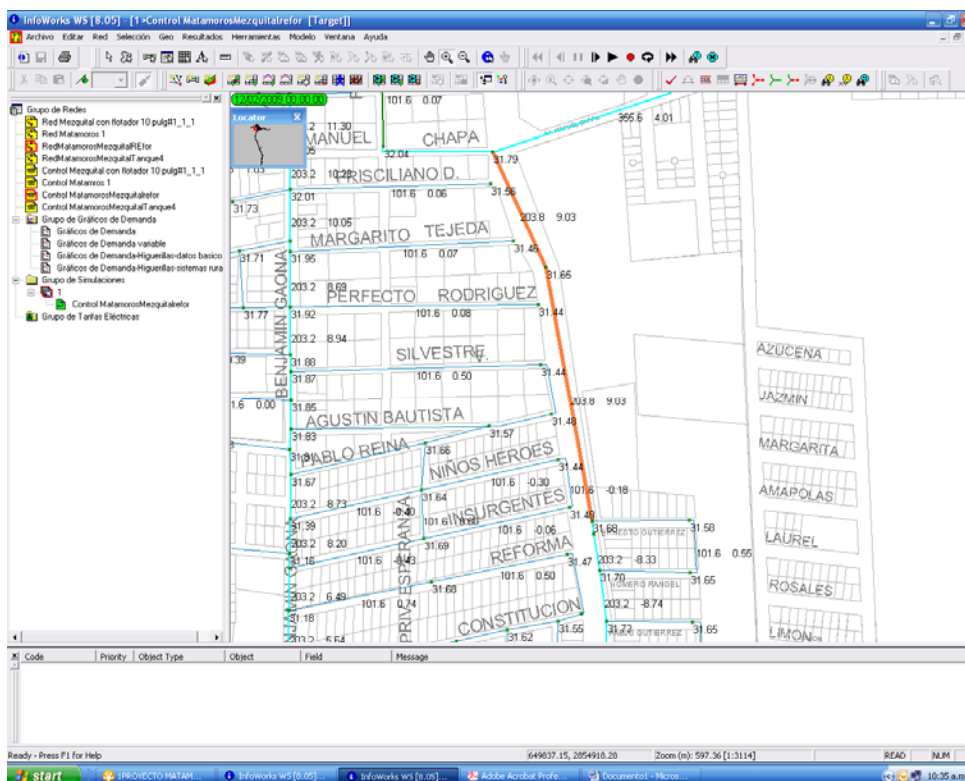


Ilustración 5.19. Reforzamiento número diecinueve.

De forma resumida los reforzamientos diseñados presentan las siguientes características.

Tabla 5.1. Resumen de reforzamientos proyectados por el IMTA

Diámetro (pulg)	Diámetro (mm)	Long (m)
4	101.6	106
6	152.4	11
8	203.2	4757
10	254.0	6
		4881

Durante el mes de julio personal de la Gerencia Técnica de la JAD, realizó recorridos en campo con el objetivo de corroborar el catastro y despiece de accesorios.

5.2 Recomendaciones y Conclusiones

Se diseñaron 19 reforzamientos en las zonas de la ciudad que presentan baja presión, esto con ayuda del modelo de simulación de la red de distribución. Estos reforzamientos son acciones inmediatas que puede implementar la JAD para mejorar el servicio de agua potable en la zonas sur oriente de la ciudad a un costo mínimo. En total se recomienda la instalación de 4881 metros de tubería de diverso diámetro. Además se recomienda continuar con las acciones de sectorización de la red de distribución que en el capítulo siguiente se comentan con más detalle.

6. SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE MATAMOROS, TAMAULIPAS

En el año del 2006 se llevó a cabo el proyecto “Estudio de sectorización de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Matamoros, Tamaulipas” [Rodríguez et al, 2006], por parte del IMTA y el PIAS de la JAD. En el mismo se planteaban acciones a corto, mediano y largo plazo para la sectorización de la red.

Con el proyecto actual de sectorización se toman en cuenta cambios como son: la ampliación de la planta potabilizadora 1 (PP1) y la planta Paquete 2 (PPQ2), la puesta en marcha de los Tanques 2 y 4 con sus respectivas zonas de influencia, para esto la JAD construyó una nueva línea de suministro exclusiva que suministra 150 litros por segundo a cada Tanque.

Ante esta situación la JAD solicitó al IMTA revisar y en su caso adecuar el proyecto de sectorización inicial de acuerdo a los cambios antes mencionados.

6.1 Macro sectores de acuerdo a la zona de influencia de cada planta potabilizadora

Para la demarcación de las zonas de influencia de cada Planta Potabilizadora, se modificaron de acuerdo a la Ilustración 6.1, el cambio con respecto al proyecto original no es sustancial, ya que no sólo se modificaron las áreas de influencia de los Tanques 2 y 4 sino que se incrementa la zona de influencia de la Planta Paquete 2 para que suministre un gasto de 300 litros por segundo.

Además se recomienda la instalación de tres nuevos rebombes en diversos puntos de la ciudad con la finalidad de incrementar las presiones en red y contar con un suministro de 10 metros columna de agua (mca) como presión mínima.

Para mejorar la operación y detección de fugas en la red, la sectorización de la misma considera zonas de influencia más pequeñas; en total son 61 sectores que pueden abastecerse de agua en un solo punto de entrada, esto facilita la medición de caudal y presión a la entrada.

La zona de influencia de la Planta potabilizadora 1 (PP1) abastece a 46,373 usuarios (ver Tabla 6.1) el gasto medio es de 829 l/s (este caudal es el gasto demandado en la época de invierno). El caudal máximo diario o caudal demandado por la población en verano es de 1,160 l/s, con variaciones horarias del caudal que llegarían hasta los 1,740 l/s.

Para amortiguar las variaciones horarias será necesario contar con una capacidad de regulación de 12,762 m³ de almacenamiento, esto se logra considerando el volumen de almacenamiento de los Tanques 2 y 4 que dan un total de 7800 m³ más el volumen de almacenamiento localizado en la Planta potabilizadora 1 que es de 10,000 metros cúbicos.

La Planta Potabilizadora 2 (PP2), abarca un total de 74,647 usuarios; el gasto medio es de 1334 l/s, el caudal de verano o Gasto máximo diario es de 1868 l/s con variaciones horarias de hasta los 2801 l/s, la capacidad de regulación de esta zona es de 20543 m³, para esta capacidad se debe considerar el volumen de almacenamiento del Tanque 3 y el volumen de la laguneta localizada al lado de la Planta Potabilizadora 2.

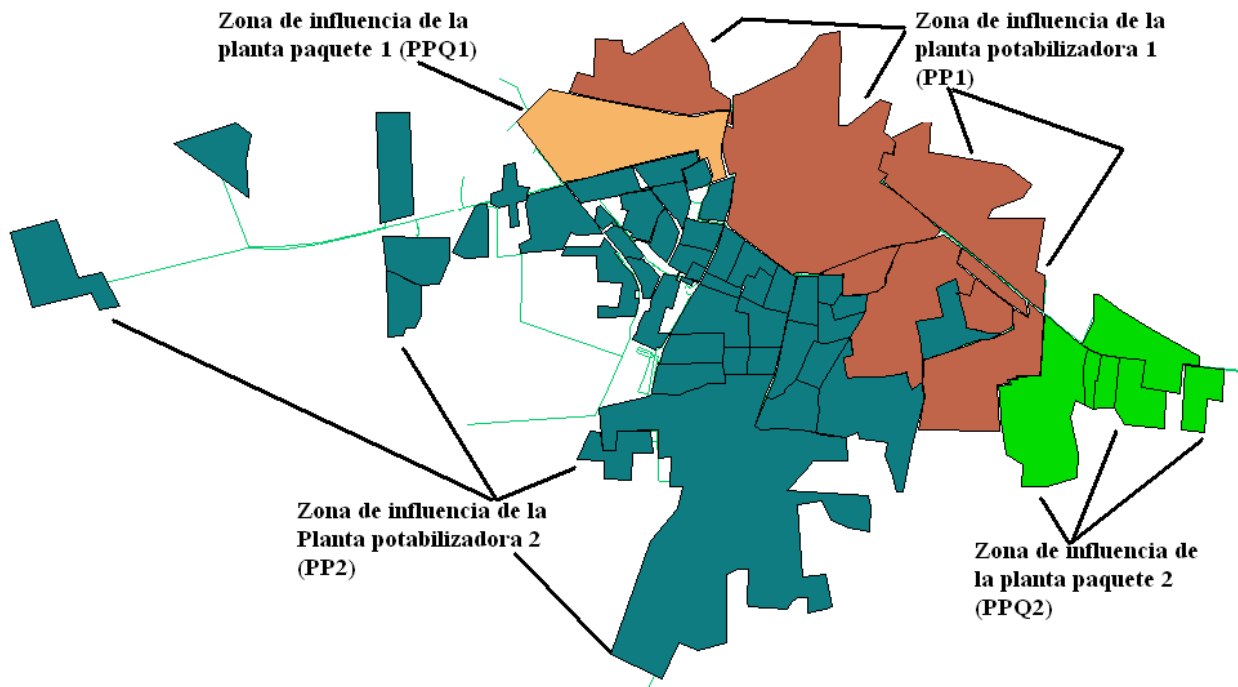


Ilustración 6.1 Zonas de influencia de las Plantas potabilizadoras, de acuerdo a la sectorización de la red proyectada

La Planta Paquete 1 (PPQ1), abarca un total de 2818 usuarios; el caudal medio es de 50 l/s, el caudal máximo diario es de 71 l/s demandado en verano, con variaciones horarias de la demanda de hasta 106 l/s. La capacidad de regulación necesaria es de 776 m³ de almacenamiento, menor a los 4000 m³ de almacenamiento del Tanque 1, lo que indica que el tanque 1 tendrá capacidad de almacenamiento para regular las variaciones de la demanda.

La Planta Potabilizadora 2 (PPQ2), abarca un total de 13,189 usuarios; el caudal medio de esta zona de influencia es de 236 l/s. En verano el caudal máximo diario es de 330 l/s con variaciones horarias de hasta los 495 litros por segundo. La capacidad de almacenamiento necesaria para esta zona es de 3630 metros cúbicos.

De las cuatro zonas de influencia, la más desprotegida en capacidad de regulación es la Planta Paquete 2, ya que no cuenta con el almacenamiento requerido para amortiguar las variaciones horarias de la demanda, por lo que se recomienda la construcción de un tanque regulador con capacidad de 3700 metros cúbicos.

Tabla 6.1 Caudales y capacidad de regulación requerida por zonas de influencia

Planta potabilizadora	Usuarios	Población	Q medio (l/s) CAUDAL DE INVIERNO	Q máximo diario (l/s) CAUDAL DE VERANO	Q máximo horario (l/s)	Capacidad de regulación (m3)
PP1	46373	185492	730	1022	1533	11241
PP2	74647	298588	1175	1645	2467	18095
PPQ1	2818	11272	44	62	93	683
PPQ2	13189	52756	208	291	436	3197
TOTAL	137027	548108	2157	3020	4530	33216

6.2 Zonas de influencia de Tanques

En la Ilustración 6.2, se muestran las zonas de influencias de los tanques y de los bombeos a red directos desde las plantas potabilizadoras.

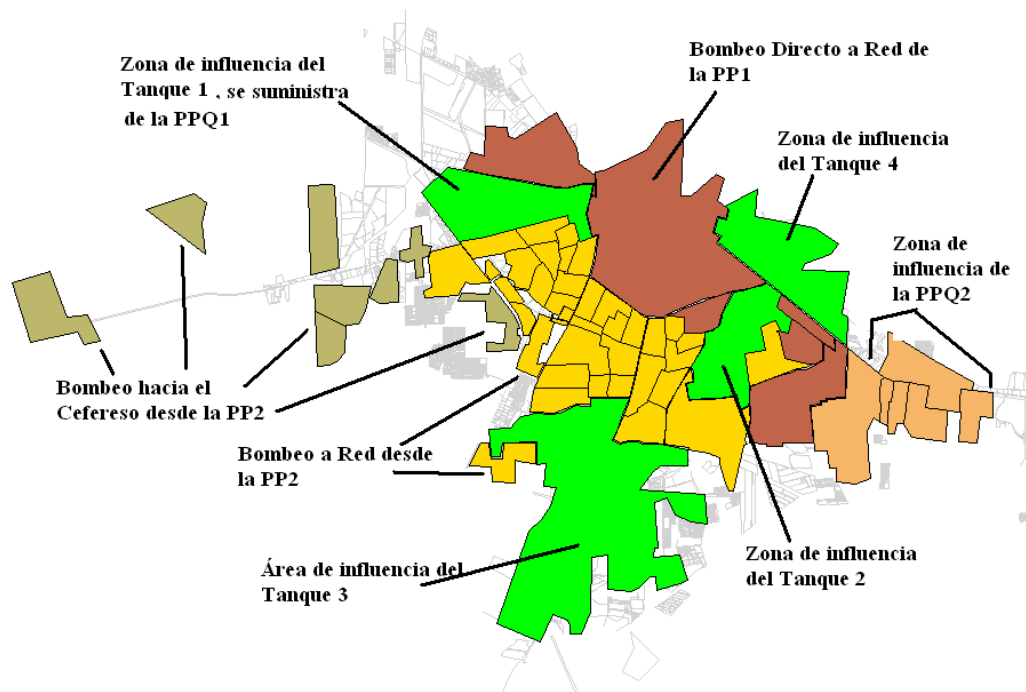


Ilustración 6.2. Zonas de influencia de los Tanques

El Tanque 1 que recibe agua desde la Planta Paquete 1, suministra agua a 3538 usuarios (ver Tabla 6.2); el caudal medio de esta zona de influencia es de 44.6 l/s; el caudal máximo diario es de 62 l/s demandado en verano, con variaciones horarias de hasta 94 l/s.

La capacidad de regulación requerida es de 686 m³ menor a los 4000 m³ de almacenamiento del tanque. Su zona de influencia se ve limitada por la capacidad de la Planta Paquete 1 (PPQ1) de suministrarle más agua. En caso de que se requiera incrementar el área de influencia del Tanque 1 se deberá incrementar la capacidad de la PPQ1 o suministrarle agua de la Planta potabilizadora 1.

El Tanque 2, su área de influencia abarca un total de 10864 usuarios, con un caudal medio de 136.8 l/s y un caudal máximo diario de 192 l/s; las variaciones horarias de la demanda llegan hasta 287 l/s. La capacidad de regulación requerida es de 2107 m³ menor a los 4000 m³ de almacenamiento del mismo.

La zona de influencia de este tanque también se ve limitada ya que la línea de suministro de agua de la planta potabilizadora 1 sólo le puede enviarle hasta los 150 litros por segundo como máximo.

El Tanque 3, su área de influencia abarca un total de 20660 usuarios; el gasto medio demandado por su zona de influencia es de 260.2 l/s; el gasto máximo diario es de 364 l/s con variaciones horarias de hasta los 546 l/s.

La zona de influencia del Tanque 3 requiere de una capacidad de regulación de 4007 m³ ligeramente mayor a los 3800 m³ de almacenamiento del tanque. El gasto que se suministra de la Planta Potabilizadora 2 al Tanque 3 oscila entre los 300 y 320 l/s, con lo que se garantiza el suministro de agua al tanque para satisfacer las necesidades de agua de la zona de influencia seleccionada.

El Tanque 4, su zona de influencia cuenta con 10171 usuarios lo que equivale a una población de 32547 habitantes. El caudal medio es de 128.1 l/s y el caudal máximo diario es de 179 l/s con variaciones horarias de hasta 269 l/s.

La regulación requerida para esta zona es de 1972 m³ menor a la capacidad de almacenamiento del Tanque 4 de 3800 m³. La zona de influencia del tanque 4 se ve limitada por la capacidad de suministro desde la Planta Potabilizadora 1 al mismo que es de 150 l/s, igual que el Tanque dos.

Tabla 6.2. Zonas de influencia de los Tanques elevados

Tanque Elevado	Usuarios	Población	Q medio (l/s) CAUDAL DE INVIERNO	Q máximo diario (l/s) CAUDAL DE VERANO	Q máximo horario (l/s)	Capacidad de regulación (m ³)	Capacidad de almacenamiento (m ³)
Tanque 1	3538	11322	44.6	62	94	686	4000
Tanque 2	10864	34765	136.8	192	287	2107	4000
Tanque 3	20660	66112	260.2	364	546	4007	3800
Tanque 4	10171	32547	128.1	179	269	1972	3800

6.3 Sectores de la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 2 (PP2)

Los sectores de esta zona de influencia se dividieron en tres partes, la primera el bombeo de la PP2 hacia el Cefereso, con 8 sectores, la segunda de la PP2 al Tanque 3 y por último el bombeo directo a Red.

6.3.1 Sectores de la zona de influencia del bombeo hacia el Cefereso

La zona de influencia del Rebombeo hacia el Cefereso desde la Planta Potabilizadora 2 se definió en 8 sectores (ver Ilustración 6.3) para garantizar un suministro de agua con una presión mínima de 1 kg/cm (10 mca) se requiere la instalación de un rebombeo nuevo localizado antes de la colonia Fidel Velásquez, con la instalación de dicho rebombeo se eliminan el Booster que abastece de agua el Cefereso, el Rebombeo hacia el ejido La Gloria rumbo al Cefereso y los tanques elevados hacia Cefereso 7 y 8.

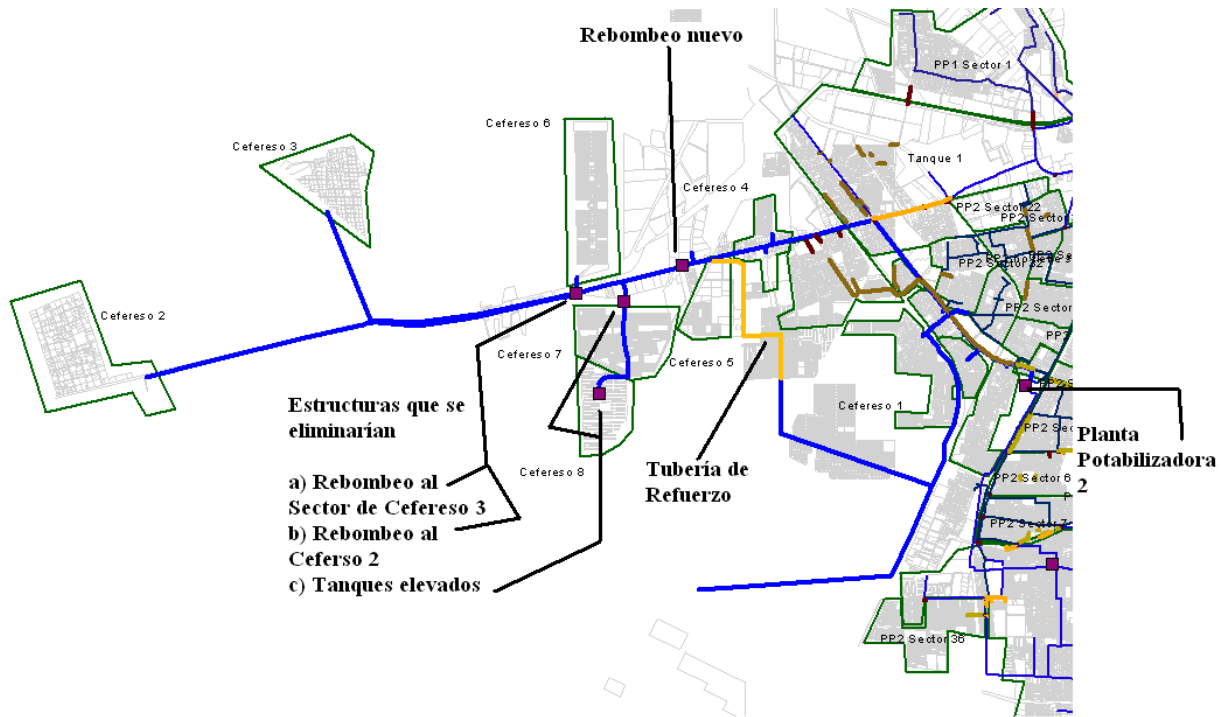


Ilustración 6.3. Sectores de la zona de influencia del Rebomero al Cefereso

Del suministro original es necesario desincorporar algunas zonas de la ciudad que actualmente se suministran de la conducción que va hacia el Cefereso (ver Ilustración 6.4), como son los sectores PP2 Sector 20, 23, 24 y 25, estos sectores se incorporan a la Planta Potabilizadora 2 mediante la instalación de una tubería nueva que se une al bombeo que va directo a la red.

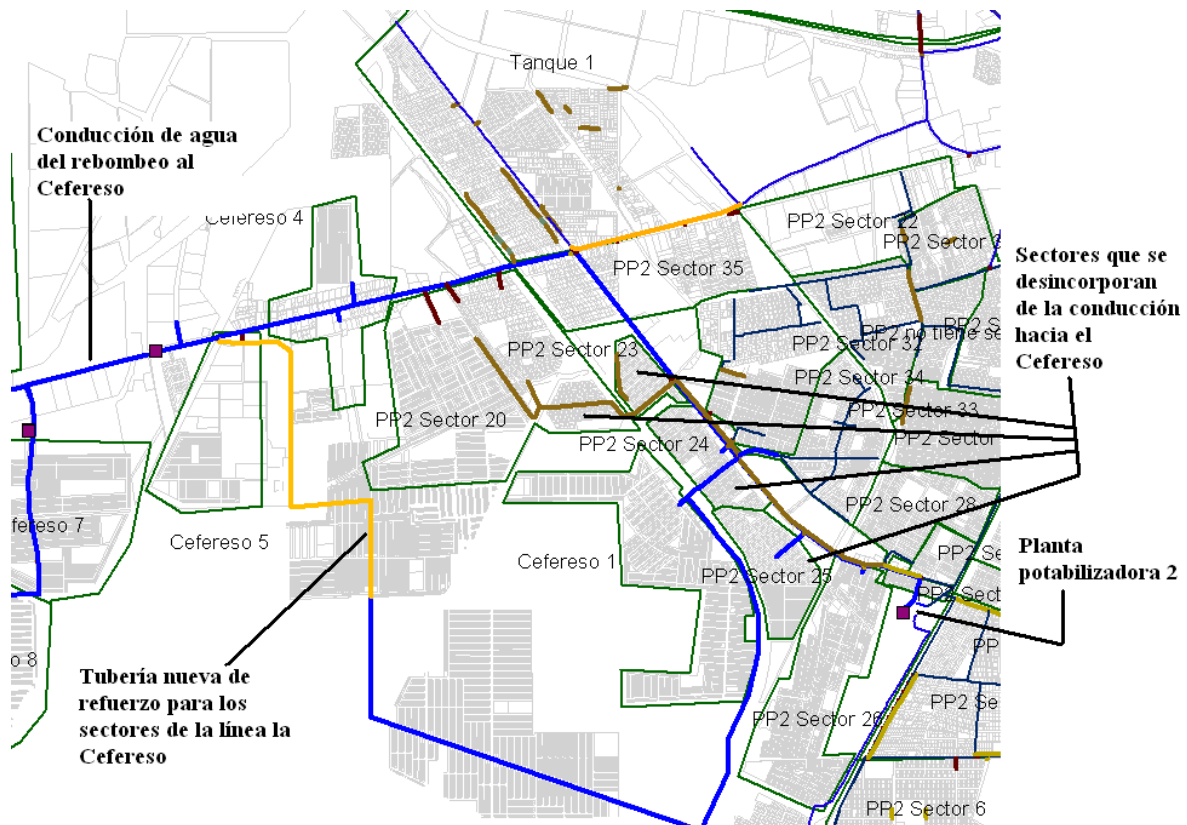


Ilustración 6.4. Sectores de la ciudad que se desincorporan de la conducción hacia el Cefereso

Las características de los sectores del bombeo al Cefereso se muestran en la Tabla 6.3, en total los ocho sectores definidos para esta zona de influencia cuentan con 16,082 usuarios. El caudal medio es 202.5 l/s, el caudal máximo diario es 278.1 l/s con variaciones horarias de la demanda que van hasta un gasto máximo horario de 417.2 l/s. La capacidad de regulación es 3060 m³, por lo que sería recomendable contar con un volumen almacenado semejante para poder absorber las variaciones horarias de la demanda.

En cuanto al rebombeo nuevo que se sugiere se instale un poco antes de la colonia Fidel Velásquez, éste debe suministrar un caudal de 148.3 l/s (que es el caudal máximo diario de los sectores Cefereso 2, 3, 7 y 8) a una presión de 3.5 kg/cm² y su cárcamo de bombeo debe tener una capacidad de almacenamiento de 1650 m³, con la finalidad de absorber las variaciones horarias del caudal que pueden llegar hasta los 222.4 litros por segundo.

Tabla 6.3. Características de los sectores del bombeo hacia el Cefereso

Sector	Área (has)	Núm Usuarios	Hab.	Qmedio (l/s)	Qmax diario (l/s)	Qmax Horario (l/s)	Capacidad de regulación (m3)
Cefereso 1	91.0	4276	13683	53.8	70	105	770
Cefereso 2	206.0	318	1018	4.0	6	8	62
Cefereso 3	119.0	219	701	2.8	4	6	42
Cefereso 4	46.8	812	2598	10.2	14	21	157
Cefereso 5	54.3	752	2406	9.5	13	20	146
Cefereso 6	153.3	1832	5862	23.1	32	48	355
Cefereso 7	114.2	4557	14582	57.4	80	121	884
Cefereso 8	75.0	3316	10611	41.8	58	88	643
Total	859.4	16082	51462	202.5	278.1	417.2	3060

6.3.2 Tanque 3

La zona de influencia del Tanque 3 está definida según la Ilustración 6.5, en ésta se muestran la tubería nueva y existente (red primaria), las características del sector que suministra agua el tanque 3 se muestran en la Tabla 6.2.

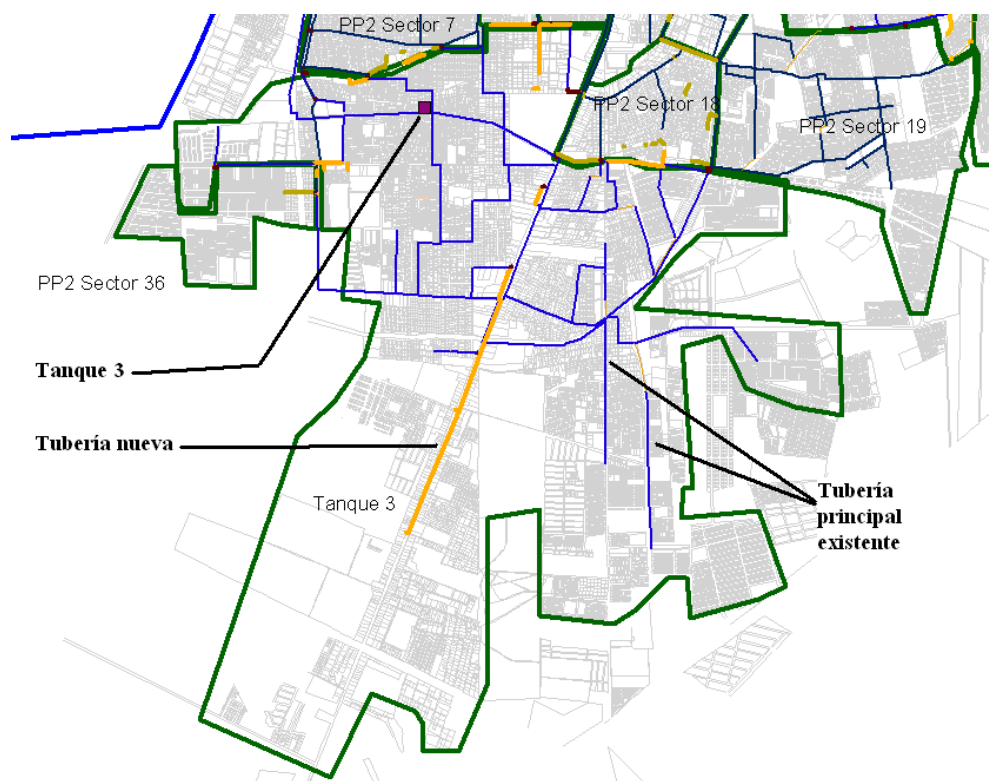


Ilustración 6.5. Zona de influencia del Tanque 3

6.3.3 Sectores de la zona de influencia del bombeo director a Red desde la PP2

La zona de influencia del bombeo directo a red desde la Planta Potabilizadora 2 se dividió en 37 sectores mostrados en la Ilustración 6.6 a la Ilustración 6.9, por su configuración esta es la mayor zona de suministro de agua a la ciudad. Por consiguiente para lograr esta sectorización se requiere de la instalación de una mayor cantidad de tubería mostrada en la Ilustración 6.9 a la Ilustración 6.12.

Destaca la instalación de tubería principal de diámetro mayor para desincorporar área que se abastece actualmente de la conducción que lleva agua hasta el Cefereso e incorporarla al bombeo directo a la red desde la PP2 (ver Ilustración 6.10), en total son 4 sectores: PP2 Sector 20, 23, 24 y 25.

En la Tabla 6.4 se muestran las características de cada uno de los 37 sectores en los que se divide esta zona de influencia; en total cuenta con 56,965 usuarios. El caudal medio es de 717 l/s. El caudal máximo diario es de 1004 l/s con variaciones horarias de hasta 1506 l/s. La capacidad de Regulación requerida es 11047 metros cúbicos. Misma que es absorbida por el almacenamiento de 10000 m³ de la PP2 más el volumen de la laguneta que es de 480000 metros cúbicos.

Es importante mencionar que la zona de influencia PP2 sector 19 requiere de un rebombeo (ver Ilustración 6.8) con un caudal de 148 l/s y una presión de 4.0 kg/cm². El cárcamo de rebombeo debe tener una capacidad de almacenamiento de 1640 metros cúbicos.

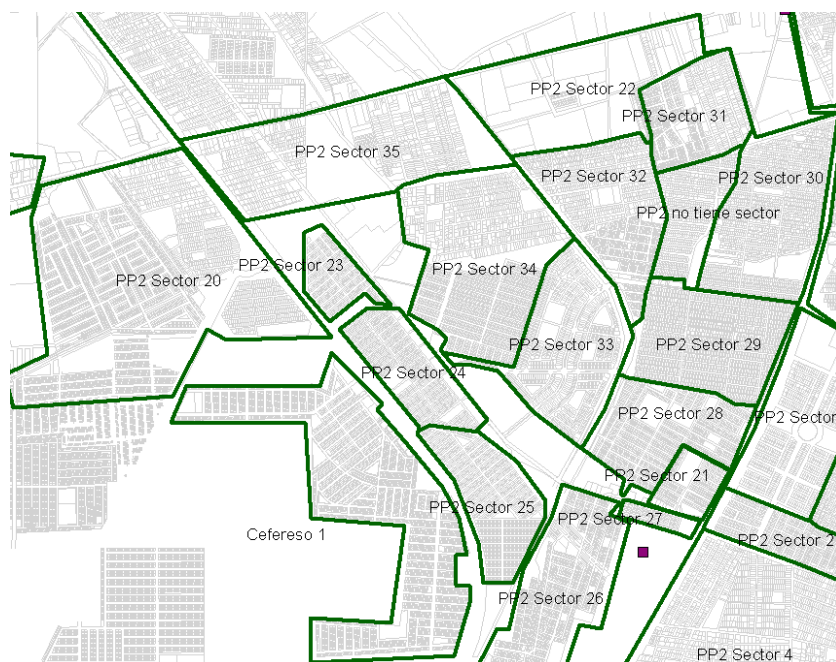


Ilustración 6.6. Sectores al Norte y poniente de la planta potabilizadora 2 que se abastecen del bombeo directo a red

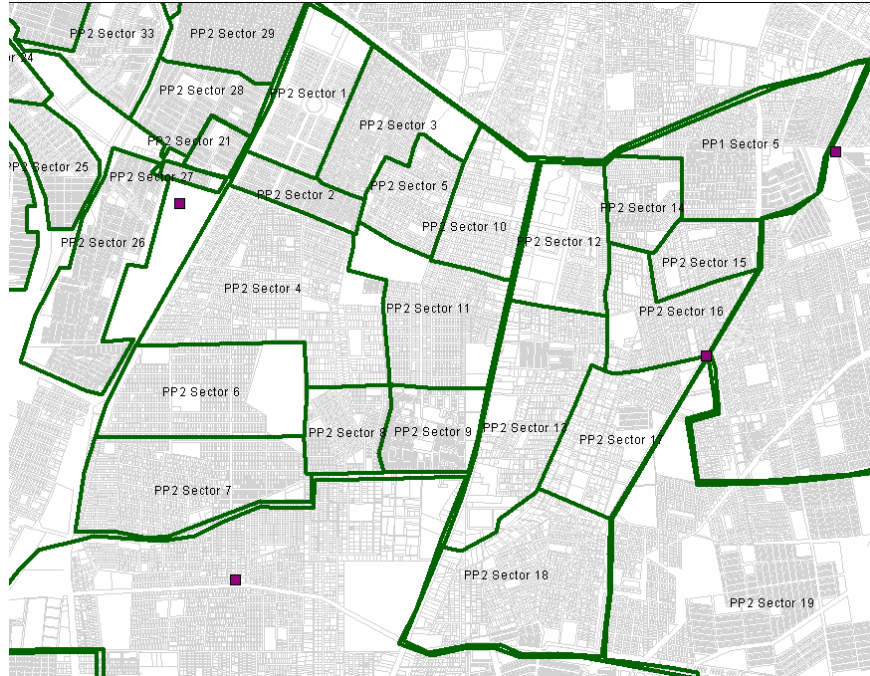


Ilustración 6.7. Sectores localizados al Este de la Planta Potabilizadora 2 que se abastecen de bombeo directo a red

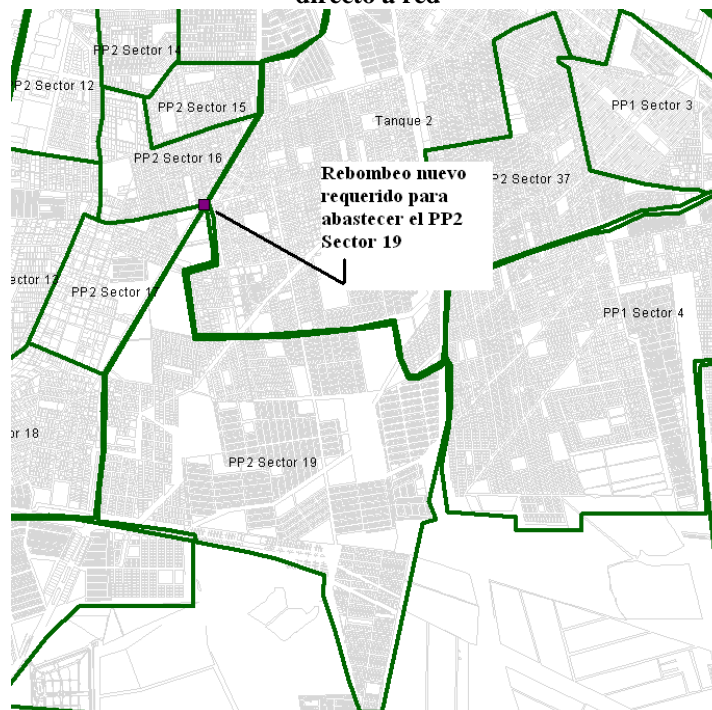


Ilustración 6.8. Sectores localizados al lado de la zona de influencia del tanque 2 que son suministrados por la Planta Potabilizadora 2.

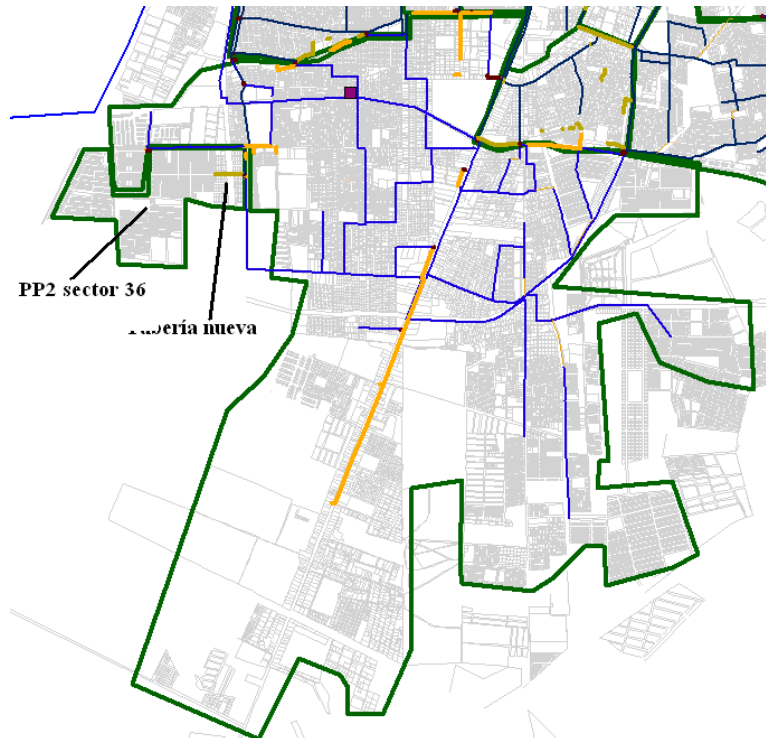


Ilustración 6.9. Zona de influencia del PP2 Sector 36 que se abastece directo desde la Planta Potabilizadora 2

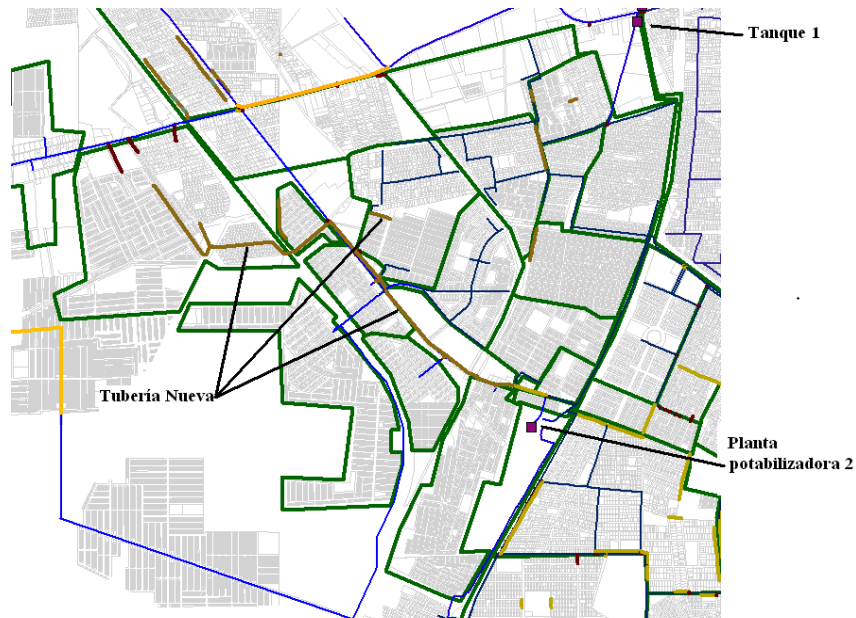


Ilustración 6.10. Tubería nueva para los sectores localizados al Norte y Poniente de la Planta Potabilizadora 2

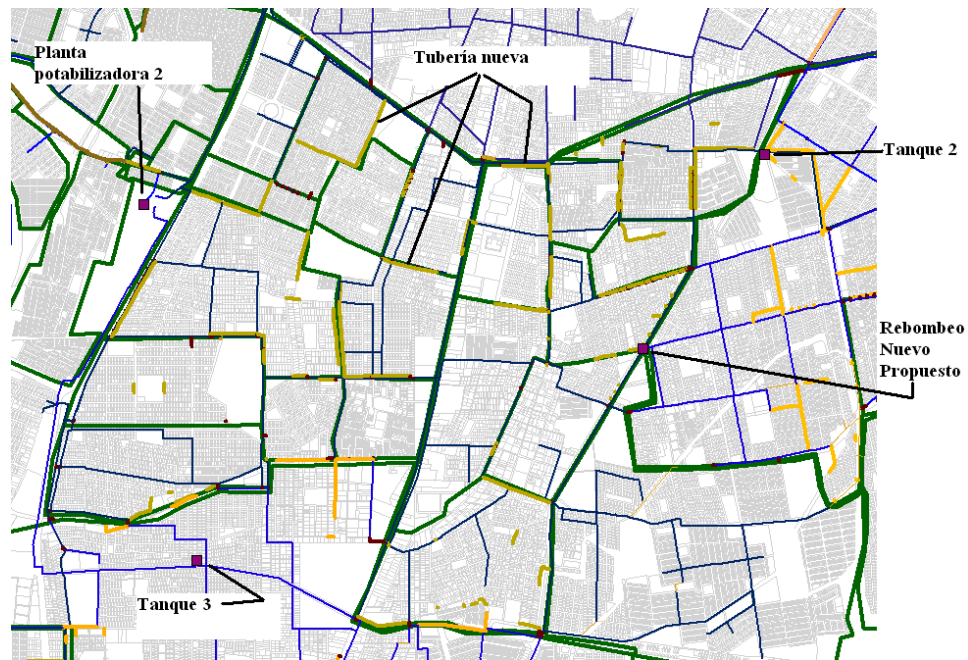


Ilustración 6.11. Tubería nueva en los sectores localizados al este de la Planta Potabilizadora 2

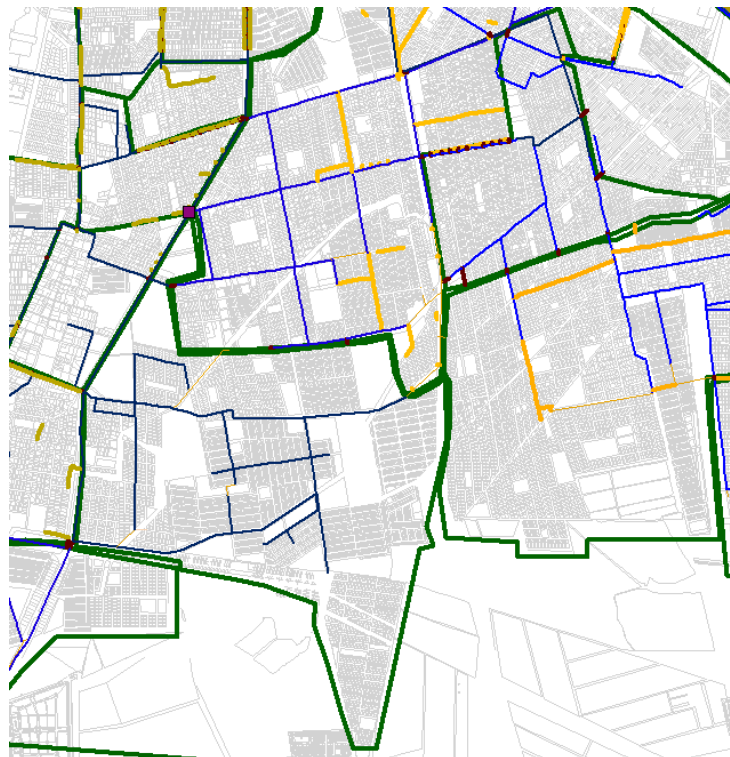


Ilustración 6.12. Tubería principal de los sectores PP2 sector 19 y 37 que son suministrados desde la PP2

Tabla 6.4. Características de los sectores que se suministran del bombeo directo a red desde la PP2

Sector	Área (has)	Núm Usuarios	Hab.	Qmedio (l/s)	Qmax diario (l/s)	Qmax Horario (l/s)	Capacidad de regulación (m3)
PP2 Sector 1	46.2	821	2627	10.3	14	22	159
PP2 Sector 10	40.9	413	1322	5.2	7	11	80
PP2 Sector 11	66.7	1169	3741	14.7	21	31	227
PP2 Sector 12	52.1	429	1373	5.4	8	11	83
PP2 Sector 13	82.0	1211	3875	15.2	21	32	235
PP2 Sector 14	27.2	680	2176	8.6	12	18	132
PP2 Sector 15	27.3	534	1709	6.7	9	14	104
PP2 Sector 16	46.2	896	2867	11.3	16	24	174
PP2 Sector 17	57.5	727	2326	9.2	13	19	141
PP2 Sector 18	99.0	1678	5370	21.1	30	44	325
PP2 Sector 19	316.3	8409	26909	105.9	148	222	1631
PP2 Sector 2	19.6	888	2842	11.2	16	23	172
PP2 Sector 20	140.7	4852	15526	61.1	86	128	941
PP2 Sector 21	9.8	366	1171	4.6	6	10	71
PP2 Sector 22	53.1	116	371	1.5	2	3	22
PP2 Sector 23	12.1	678	2170	8.5	12	18	131
PP2 Sector 24	24.7	1090	3488	13.7	19	29	211
PP2 Sector 25	28.5	1457	4662	18.3	26	39	283
PP2 Sector 26	68.0	3161	10115	39.8	56	84	613
PP2 Sector 27	2.6	119	381	1.5	2	3	23
PP2 Sector 28	32.1	1476	4723	18.6	26	39	286
PP2 Sector 29	41.4	1958	6266	24.7	35	52	380
PP2 Sector 3	48.1	1615	5168	20.3	28	43	313
PP2 Sector 30	44.6	1451	4643	18.3	26	38	281
PP2 Sector 31	25.6	1004	3213	12.6	18	27	195
PP2 Sector 32	40.7	1359	4349	17.1	24	36	264
PP2 Sector 33	41.1	1188	3802	15.0	21	31	230
PP2 Sector 34	64.7	2194	7021	27.6	39	58	425
PP2 Sector 35	66.8	756	2419	9.5	13	20	147
PP2 Sector 36	89.3	2771	8867	34.9	49	73	537
PP2 Sector 37	110.6	3618	11578	45.6	64	96	702
PP2 Sector 4	124.0	2134	6829	26.9	38	56	414
PP2 Sector 5	31.3	744	2381	9.4	13	20	144
PP2 Sector 6	73.1	1221	3907	15.4	22	32	237
PP2 Sector 7	77.6	1942	6214	24.5	34	51	377
PP2 Sector 8	29.1	808	2586	10.2	14	21	157
PP2 Sector 9	32.9	1032	3302	13.0	18	27	200
Total	2193.6	56965	182288	717	1004	1506	11047

6.4 Sectores de la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 1

La zona de influencia de la Planta potabilizadora 2 se dividió en seis sectores (ver Ilustración 6.13) además de las zonas de influencia de los Tanques 2 y 4 misma que ya se describieron.

La zona de influencia PP1 sector 6 permanece sin cambios ya que esta se determinó no cambiar su configuración debido a que cuenta con un buen suministro de agua en caudal y presión. La zona del PP1 sector 1 también permanece casi inalterada.

Lo más relevante en cuanto adecuaciones se refiere es la instalación de un rebombeo nuevo en la Lauro Villar que suministraría el agua a las zonas de influencia de los PP1 Sectores 2, 3 y 4, además en estos sectores es donde se requeriría la mayor cantidad de tubería nueva (ver Ilustración 6.14).

La zona de influencia de estos seis sectores suministra agua a 37178 usuarios (ver Tabla 6.5) para una población de 118970 habitantes. El caudal medio demandado es de 468 l/s para la época de verano. El caudal máximo diario es de 655 l/s con variaciones horarias de hasta 983 l/s esto se presentaría en la época de verano. La capacidad de regulación requerida por esta zona de influencia es de 7210 metros cúbicos.

La capacidad del rebombeo nuevo ubicado en la Lauro Villar es de 217 l/s con variaciones horarias de la demanda de hasta 326.5 l/s. La capacidad de almacenamiento del cárcamo de rebombeo deberá ser de 2395 metros cúbicos para amortiguar las variaciones horarias de la demanda.

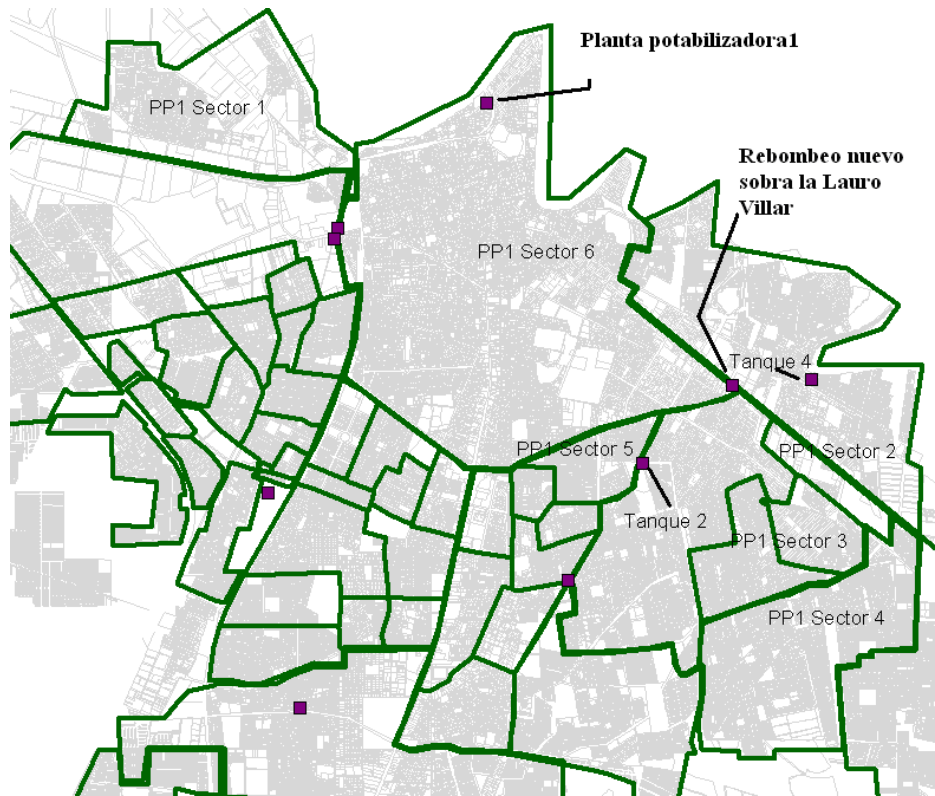


Ilustración 6.13. Sectores de la zona de influencia de la planta Potabilizadora 1

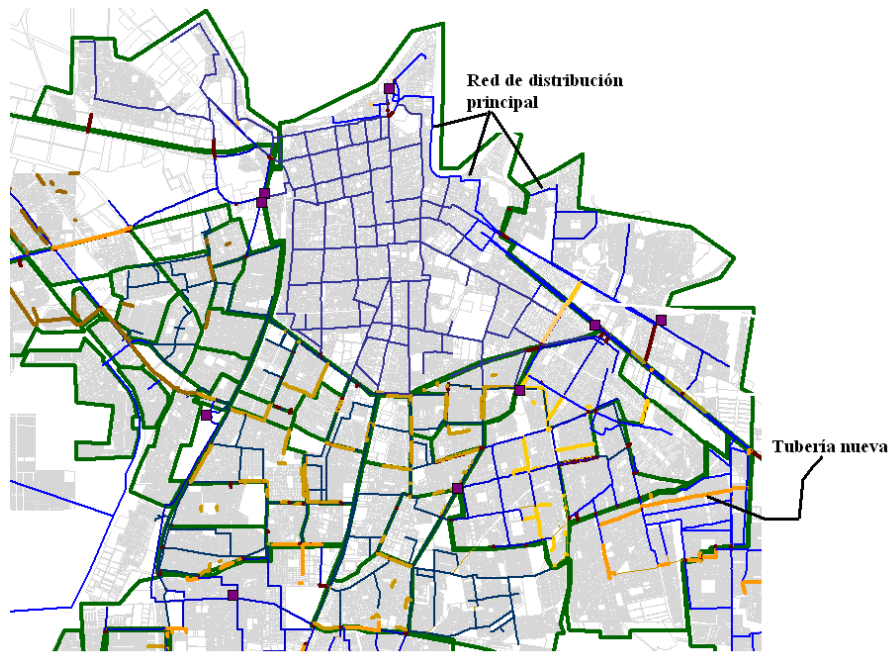


Ilustración 6.14. Tubería nueva en los sectores de la zona de influencia de la PP1

Tabla 6.5. Características de los sectores de la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 1

Sector	Área (has)	Núm Usuarios	Hab.	Qmedio (l/s)	Qmax diario (l/s)	Qmax Horario (l/s)	Capacidad de regulación (m3)
PP1 Sector 1	361.0	2971	9507	37.4	52	79	576
PP1 Sector 2	47.5	58	186	0.7	1	2	11
PP1 Sector 3	80.4	2400	7680	30.2	42	63	465
PP1 Sector 4	374.5	9888	31642	124.5	174	261	1918
PP1 Sector 5	82.5	2621	8387	33.0	46	69	508
PP1 Sector 6	1255.6	19240	61568	242.3	339	509	3731
Total	2202	37178	118970	468	655	983	7210

6.5 Sectores de la zona de influencia de la Planta Paquete 2

La zona de influencia de la Planta Paquete 2 se dividió en 6 sectores mostrados en la Ilustración 6.15. Esta es una de las zonas de influencia que requiere mayor inversión en la instalación de tubería nueva (ver Ilustración 6.16), además se recomienda la ampliación de la capacidad de producción de la Planta Paquete 2 de 140 l/s que produce actualmente incrementarla hasta los 317.4 litros por segundo (ver Tabla 6.6).

En Total esta zona de influencia abarca a un total de 16556 usuarios para una población de 59979 habitantes. El gasto medio demandado por esta zona es de 226.7 l/s; el caudal máximo diario es de 317.4 l/s con variaciones horarias que llegan hasta los 476.1 litros por segundo. La capacidad de regulación necesaria es de 3492 metros cúbicos.

Tabla 6.6. Características de los sectores de la zona de influencia de la Planta Paquete 2

Sector	Área (has)	Núm Usuarios	Hab.	Qmedio (l/s)	Qmax diario (l/s)	Qmax Horario (l/s)	Capacidad de regulación (m3)
PPQ2 Sector 1	402.6	7834	25069	98.7	138	207	1519
PPQ2 Sector 2	30.5	1095	3504	13.8	19	29	212
PPQ2 Sector 3	43.6	1626	5203	20.5	29	43	315
PPQ2 Sector 4	208.0	139	445	20.0	28	42	308
PPQ2 Sector 5	107.8	3854	12333	48.5	68	102	747
PPQ2 Sector 6	85.1	2008	6426	25.3	35	53	389
Total	877.6	16556	52979	226.7	317.4	476.1	3492

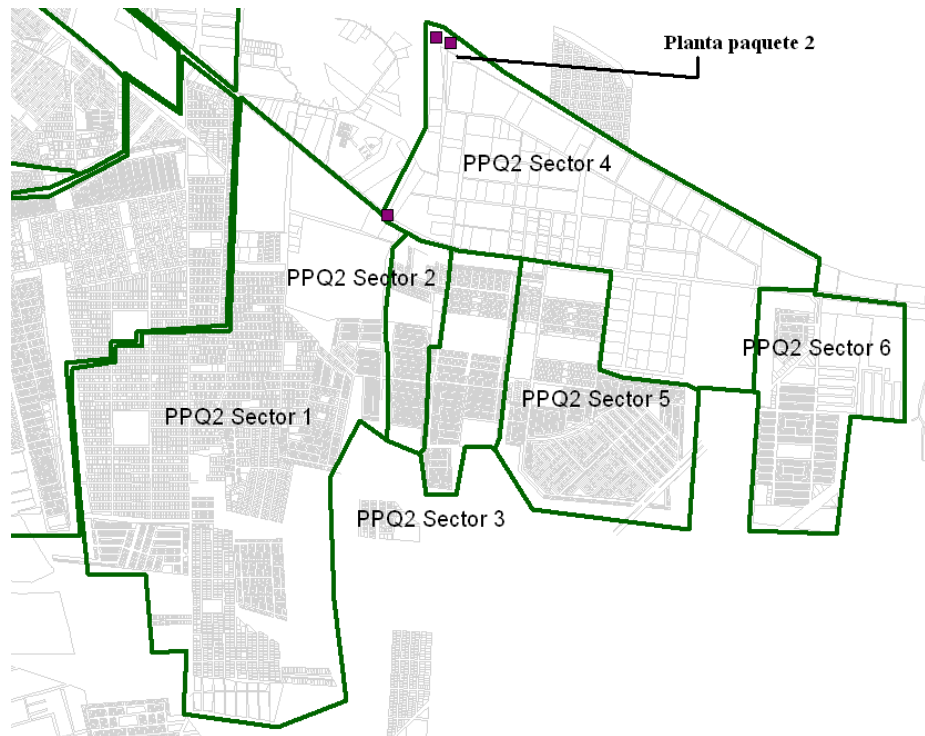


Ilustración 6.15. Sectores de la zona de influencia de la Planta Paquete 2

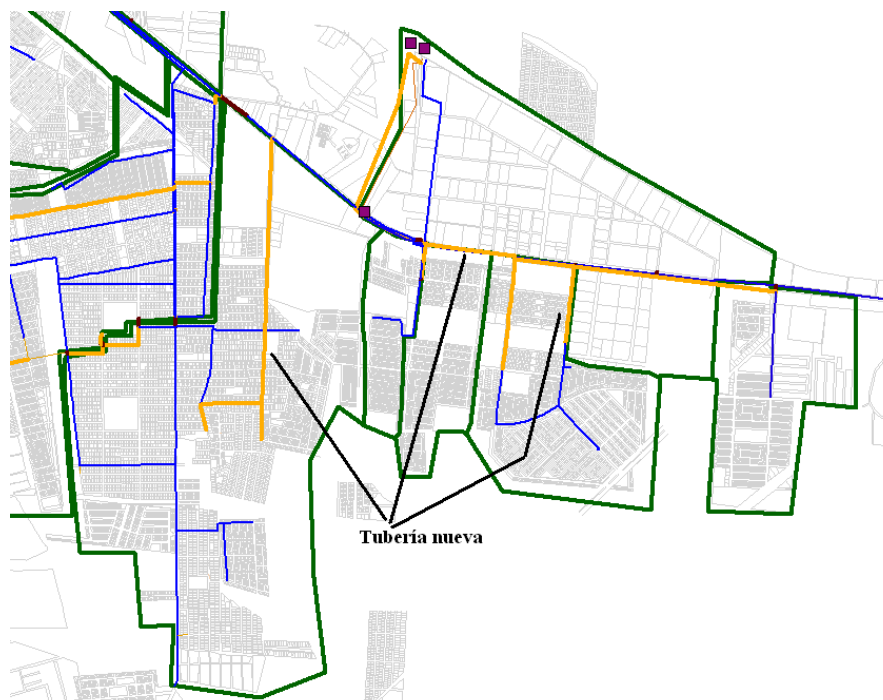


Ilustración 6.16. Tubería nueva en la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 2

6.6 Costos de la sectorización

En cuanto a la sectorización la cantidad de tubería nueva que se debe instalar (ver Tabla 6.7) en total representa sólo el 4 % de la longitud de red actual, es una cantidad mínima de tubería nueva que permitiría un mejoramiento sustancial en el suministro del agua.

Tabla 6.7. Tubería nueva contra la tubería existente

Diam (pul)	Diam (mm)	Tubería existente (km)	Tubería nueva (km)	Tubería nueva (%)
2	50.8	9.3	0.0	0%
3	76.2	14.9	0.0	0%
4	101.6	915.8	15.7	2%
6	152.4	129.7	6.3	5%
8	203.2	196.1	14.1	7%
10	254	81.5	5.5	7%
12	304.8	48.5	3.5	7%
14	355.6	17.0	3.2	19%
16	406.4	30.9	3.2	10%
18	457.2	1.3	0.1	7%
20	508	2.9	1.0	33%
24	609.6	8.1	0.0	0%
30	762	10.4	0.0	0%
Total		1466.2	52.4	4%

Para el cálculo del costo total de instalación de tubería nueva la Gerencia Técnica y de Saneamiento de la JAD proporcionó el costo por metro lineal de instalación de tubería (ver Tabla 6.8 y Tabla 6.9) para concreto hidráulico y terracería respectivamente.

Para el costo total de sectorización se tomará en cuenta los costos de instalación de tubería nueva en Concreto hidráulico, ya que la mayoría de los tramos nuevos a instalar se encuentran dentro de la ciudad.

**Tabla 6.8. Costo por metro lineal de Instalación de tubería de agua potable en pavimento hidráulico
(fuente: Gerencia Técnica y de Saneamiento de la JAD)**

No.	UBICACIÓN	DIAMETRO EN PULGADAS	M.L.	TOTAL	COSTO POR M.L.
1	INTRODUCCION DE TUBERIA, INCLUYE 20 TOMAS DOMICILIARIAS	4	100.00	\$ 202,404.30	\$ 2,024.04
2	INTRODUCCION DE TUBERIA, INCLUYE 20 TOMAS DOMICILIARIAS	6	100.00	\$ 227,313.37	\$ 2,273.13
3	INTRODUCCION DE TUBERIA, INCLUYE 20 TOMAS DOMICILIARIAS	8	100.00	\$ 239,626.60	\$ 2,396.27
4	INTRODUCCION DE TUBERIA	10	100.00	\$ 240,942.57	\$ 2,409.43
5	INTRODUCCION DE TUBERIA	12	100.00	\$ 296,077.97	\$ 2,960.78
6	INTRODUCCION DE TUBERIA	14	100.00	\$ 406,206.71	\$ 4,062.07
7	INTRODUCCION DE TUBERIA	16	100.00	\$ 492,672.75	\$ 4,926.73
8	INTRODUCCION DE TUBERIA	18	100.00	\$ 584,937.42	\$ 5,849.37
9	INTRODUCCION DE TUBERIA	20	100.00	\$ 677,777.66	\$ 6,777.78
10	INTRODUCCION DE TUBERIA	24	100.00	\$ 787,513.89	\$ 7,875.14
TOTAL			1,000.00	\$ 4,155,473.24	

Nota: Se realizaron presupuestos de 100 m.l. cada uno con piezas especiales y en algunos casos tomas domiciliarias

Tabla 6.9. Costo por metro lineal de Instalación de tubería de agua potable en Terracería (fuente: Gerencia Técnica y de Saneamiento de la JAD)

No .	UBICACIÓN	DIAMETRO EN PULGADAS	M.L.	TOTAL	COSTO POR M.L.
1	INTRODUCCION DE TUBERIA, INCLUYE 20 TOMAS DOMICILIARIAS	4	100.00	\$ 82,445.80	\$ 824.46
2	INTRODUCCION DE TUBERIA, INCLUYE 20 TOMAS DOMICILIARIAS	6	100.00	\$ 91,413.13	\$ 914.13
3	INTRODUCCION DE TUBERIA, INCLUYE 20 TOMAS DOMICILIARIAS	8	100.00	\$ 108,855.02	\$ 1,088.55
4	INTRODUCCION DE TUBERIA	10	100.00	\$ 141,883.76	\$ 1,418.84
5	INTRODUCCION DE TUBERIA	12	100.00	\$ 191,744.41	\$ 1,917.44
6	INTRODUCCION DE TUBERIA	14	100.00	\$ 296,580.30	\$ 2,965.80
7	INTRODUCCION DE TUBERIA	16	100.00	\$ 376,200.84	\$ 3,762.01
8	INTRODUCCION DE TUBERIA	18	100.00	\$ 453,456.59	\$ 4,534.57
9	INTRODUCCION DE TUBERIA	20	100.00	\$ 549,001.29	\$ 5,490.01
10	INTRODUCCION DE TUBERIA	24	100.00	\$ 630,897.76	\$ 6,308.98
TOTAL			1,000.00	\$ 2,922,478.90	

Nota: Se realizaron presupuestos de 100 m.l. cada uno con piezas especiales y en algunos casos tomas domiciliarias

6.6.1 Costos para sectorizar la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 2

En la Tabla 6.10 se muestran los costos para la sectorización de la red de distribución por zona de influencia. La planta potabilizadora 2 se dividió en 4 zonas de influencia: bombeo al Cefereso, Tanque 3, bombeo a la red y tubería para desincorporar sectores que se suministran de la línea hacia el Cefereso.

El bombeo directo al Cefereso el costo para su sectorización es de \$10,603,274 pesos este costo se incrementa debido a los 2602 metros de tubería de 14 pulgadas que se debe instalar para reforzar el suministro a la colonia Fidel Velásquez.

Para sectorizar el Tanque 3 se requiere de una inversión de \$11,521,655 pesos, el costo de esta zona de influencia se incrementa ya que es necesario instalar 2919 metros de tubería de

8 pulgadas para garantizar suministro de agua hasta el nuevo rebombeo que a su vez inyectará agua hasta el Mezquital.

El bombeo directo a red requiere de una inversión de \$29,573,911 pesos, esta es la zona que más área y usuarios abarca de la ciudad.

En cuanto a la zona de influencia de los sectores que se desincorporan de la línea de suministro que va hacia el Cefereso es necesaria una inversión de \$23,197,503 pesos, esta zona de influencia eleva sus costos de sectorización debido a que es necesaria la instalación de 2910 metros de tubería de 16 pulgadas.

En total para sectorizar la zona de influencia de la Planta potabilizadora 2 se requiere de una inversión de \$74,896,344 pesos.

Tabla 6.10. Costo de sectorización de la red de distribución por zona de influencia

Punto de Suministro	Diám (Pulg)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	Costo Total (\$)
	Diám (mm)	101.6	152.4	203.2	254	304.8	355.6	406.4	457.2	508	609.6	
	Costo (\$/ml) según el diámetro de la tubería	\$2,024	\$2,273	\$2,396	\$2,409	\$2,961	\$4,062	\$4,927	\$5,849	\$6,778	\$7,875	
Longitud de Tubería (en metros)												
PP2	Bombeo Cefereso	0	0	14	0	0	2602	0	0	0	0	\$10,603,274
PP2	Tanque 3	1646	526	2919	0	0	0	0	0	0	0	\$11,521,655
PP2	Red	6944	3923	1822	324	4	0	232	0	0	38	\$29,573,911
PP2	Red tubería para desincorporar sectores que se suministran de la línea hacia el Cefereso	2651	72	331	0	857	0	2910	0	0	0	\$23,197,503
	SubTotal	11241	4521	5086	324	861	2602	3142	0	0	38	\$74,896,344
PP1	Red	0	25	451	86	237	0	0	0	0	0	\$2,046,352
PP1	Tanque 2	2686		1335	910	40	595	12	0	0	0	\$13,421,768
PP1	Tanque 4	0	1088	12	0	0	0	0	0	0	0	\$2,501,776
	SubTotal	2686	1113	1798	996	277	595	12	0	0	0	\$17,969,896
PPQ1	Tanque 1	0	0	119	0	1113	0	0	0	0	0	\$3,581,508
PPQ2	PPQ2	106	154	4129	4135	1257	0	0	91	956	0	\$31,152,889
	Total	14033	5788	11133	5455	3508	3197	3154	91	956	38	\$127,600,637

6.6.2 Costos para sectorizar la zona de influencia de la Planta Potabilizadora 1

En cuanto a la Planta potabilizadora 1, esta se dividió en 3 zonas de influencia: la de bombeo de directo a la red, la del Tanque 2 y por último la del Tanque 4.

Para la zona de influencia del bombeo directo a red desde la PP1 es necesaria una inversión de \$2,046,352 pesos, el costo de sectorización no es muy elevado con respecto a las otras zonas de influencia debido a que esta zona sería la última en ser aislada de las demás.

Para sectorizarse el Tanque 2 es necesaria una inversión de \$13,421,768 pesos y el Tanque 4 se requiere de \$2,501,776 pesos, éste por la zona de influencia que se le asignó sería el más adecuado a sectorizarse en un corto plazo.

El costo total para sectorizar la zona de influencia de la planta potabilizadora 1 es de \$17,969,896 pesos.

6.6.3 Costos para sectorizar la zona de influencia de la Planta Paquete 1

Para la zona de influencia de la planta paquete 1, ésta se considera que bombea directo al Tanque 1 y desde el Tanque se suministra a una zona de influencia previamente definida. El costo por sectorización de esta zona es de \$3,581,508 pesos.

6.6.4 Costos para sectorizar la zona de influencia de la Planta Paquete 2

En cuanto a la planta paquete 2, se requiere de una inversión de \$31,152,889 pesos para aislar su zona de influencia. Se considera en este proyecto que la Planta Paquete 2 suministraría agua a la zona sur oriente de la ciudad y abarcaría hasta Playa Bagdad.

6.6.5 Costo total para sectorizar toda la ciudad de Matamoros

En total el costo por sectorización de toda la ciudad de Matamoros es de \$127,600,637 pesos.

6.7 Programa de inversiones a corto, mediano y largo plazo para la sectorización

Si bien los costos de inversión para sectorizar la red de distribución son elevados, éstos se pueden diferir según las necesidades y recursos con los que cuenta la JAD. En la Ilustración 6.17, se dividió la ciudad en áreas prioritarias para la inversión en sectorización de la red en acciones a corto, mediano y largo plazo.

Las zonas en las que se recomienda invertir en el corto plazo es en la sectorización de los 4 Tanque elevados lo que permitiría mejorar el suministro del agua a esas zonas de la ciudad. En la actualidad los tanques no cuentan con una zona definida de suministro lo que genera una operación deficiente de los mismos, por ejemplo la zona de influencia de los tanques 3 y 4 es mayor a su capacidad de regulación o; la demanda de agua de los usuarios es mayor al caudal de suministro al tanque desde las plantas potabilizadoras.

En total el número de usuarios beneficiados por las acciones a corto plazo son de 45,233 lo que da una población de 144,746 habitantes.

En cuanto a las acciones a mediano plazo se recomienda invertir en la ampliación de la Planta Paquete 2, lo que mejoraría el suministro de agua en la zona sur oriente de la ciudad, en la instalación de los tres rebombes nuevos: uno en la Lauro Villar; Otro que suministraría agua al “PP2 Sector 19” y el último el localizado cerca de la colonia Fidel Velásquez y en la Sectorización de la zona de influencia del bombeo que sale de la Planta Potabilizadora 2 hacia el Cefereso.

Estas son las zonas en donde se tiene baja presión en la red en época de verano. En total estas acciones beneficiarían a 53,393 usuarios para una población atendida de 213572 habitantes.

En cuanto a las zonas para invertir a largo plazo, son aquellas que actualmente se bombea directamente a la red; como se localizan cerca de las plantas potabilizadoras no tienen un problema en el suministro del agua, aunque se recomienda su sectorización a largo plazo ya que con esto se puede mejorar la operación de la red en su conjunto.

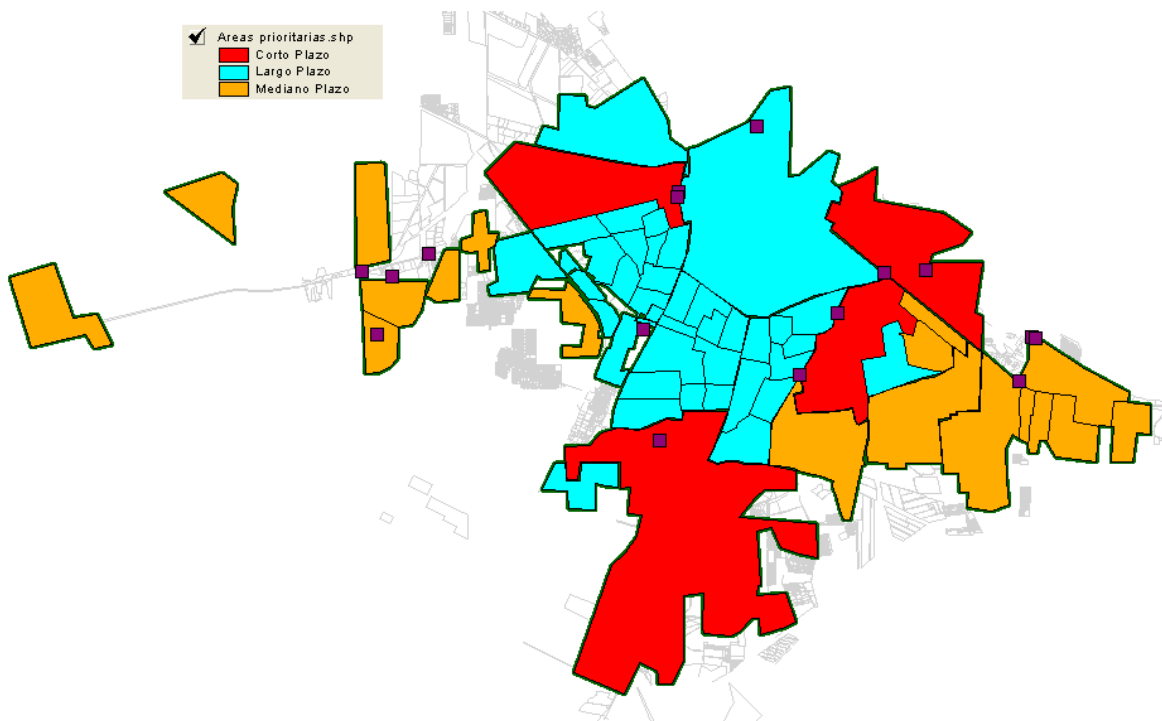


Ilustración 6.17. Programa de inversión a corto, mediano y largo plazo (Áreas prioritarias)

6.7.1 Costos de inversión a corto, mediano y largo plazo

Los costos de inversión a corto plazo son de \$31,026,707 pesos esta inversión considera la sectorización de las zonas de influencia de los cuatro tanques elevado (ver Tabla 6.11) esto corresponde al 24 % de la inversión total de la sectorización.

El costo a mediano plazo es de \$54,350,392 pesos en este se considera la zona de la red de tubería hacia el Cefereso y la zona de influencia de la Planta Paquete 2, las acciones a mediano plazo corresponden al 43 % de la inversión total.

Y los costos de las acciones a largo plazo son de \$42,223,538 pesos que sería el resto de la red de distribución que son el 33 % de la inversión total.

Tabla 6.11. Costos de inversión a corto, mediano y largo plazo

Acciones	Diám (Pulg)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	Costo Total (\$)
	Diám (mm)	101.6	152.4	203.2	254	304.8	355.6	406.4	457.2	508	609.6	
	Costo (\$/ml) según el diámetro de la tubería	\$2,024	\$2,273	\$2,396	\$2,409	\$2,961	\$4,062	\$4,927	\$5,849	\$6,778	\$7,875	
Longitud de Tubería (en metros)												
Corto Plazo	Tanque 3	1646	526	2919	0	0	0	0	0	0	0	\$11,521,655
	Tanque 2	2686		1335	910	40	595	12	0	0	0	\$13,421,768
	Tanque 4	0	1088	12	0	0	0	0	0	0	0	\$2,501,776
	Tanque 1	0	0	119	0	1113	0	0	0	0	0	\$3,581,508
	Sub total	4332	1614	4386	910	1153	595	12	0	0	0	\$31,026,707
Mediano Plazo	Red tubería para desincorporar sectores	2651	72	331	0	857	0	2910	0	0	0	\$23,197,503
	PPQ2	106	154	4129	4135	1257	0	0	91	956	0	\$31,152,889
	Sub total	2757	226	4460	4135	2114	0	2910	91	956	0	\$54,350,392
Largo Plazo	Bombeo Cefereso	0	0	14	0	0	2602	0	0	0	0	\$10,603,274
	Red	6944	3923	1822	324	4	0	232	0	0	38	\$29,573,911
	Red	0	25	451	86	237	0	0	0	0	0	\$2,046,352
	SubTotal	6944	3948	2287	410	241	2602	232	0	0	38	\$42,223,538
TOTAL												\$127,600,637

En la Ilustración 6.18 se muestra la proyección de la inversión de recursos para implementar la sectorización de la red de distribución. Para una inversión anual de 5 millones de pesos la sectorización se llevaría a cabo en un plazo de casi 26 años, las acciones a corto plazo se cumplirían en un tiempo de 6 años aproximadamente, las de mediano plazo en un lapso de 18 años y las de largo plazo hasta los 26 años.

Si se invierten 10 millones de pesos al año, le sectorización total de la red sería de 13 años, donde las acciones a corto plazo se cumplirían en 3 años aproximadamente y las de mediano plazo en un poco más de 8 años.

En la misma ilustración se tienen las gráficas para inversiones de 15, 20 y 25 millones de pesos anuales y los tiempos en que se llevaría las acciones a corto, mediano y largo plazo.

Proyección de la inversión para implementar la sectorización de la red de distribución de agua

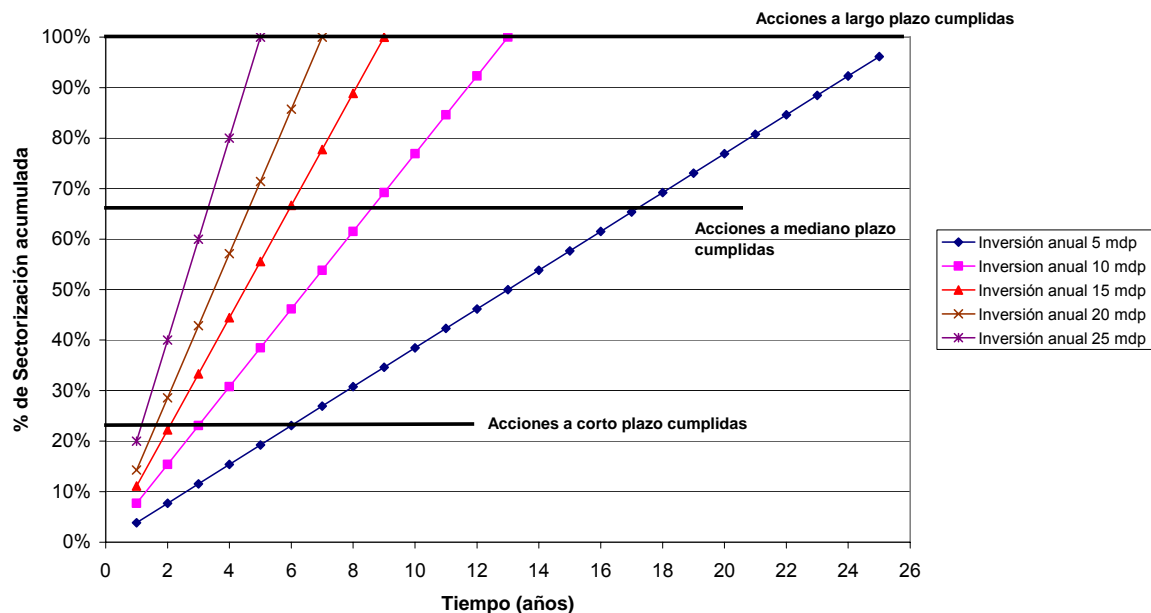


Ilustración 6.18. Proyección de la inversión de recursos para implementar la sectorización de la red de distribución

6.8 Conclusiones

La ciudad de Matamoros cuenta con cuatro plantas potabilizadoras desde las que se suministra agua a la ciudad, por su ubicación es necesario trasladar el agua a puntos alejados de las mismas lo que genera pérdidas de carga importante y por ende en algunas zonas de la ciudad se tienen bajas presiones a cierta hora del día.

Como primera acción de sectorización de la red de distribución, se recomienda a la JAD iniciar los trabajos en la delimitación de las zonas de influencia de los 4 tanque elevados, esto con la finalidad de garantizar un buen funcionamiento de los mismos y que cumplan con su tarea de regular las variaciones de la demanda de agua.

De acuerdo al caudal que se puede suministrar desde las diversas plantas potabilizadoras a cada un de los Tanques se definió la zona de influencia de los mismos cuidando de no rebasar la capacidad de regulación de los mismos. El tanque que se acerca más a su capacidad de regulación según su zona de influencia es el Tanque 3 que oscila en 4007 m³ con respecto a los 3800 m³ de su capacidad.

Los otros tres tanques su capacidad de almacenamiento es mayor que la capacidad de regulación de las zonas de influencia asignada.

Para aprovechar en mayor medida la ubicación de las plantas potabilizadoras se decidió dividir la ciudad en 61 sectores en función de la zona de influencia de cada planta. Se recomienda la ampliación de la Planta Paquete 2 hasta un caudal de 317.4 l/s y para que suministre agua a la parte sur oriente de la ciudad misma que fue dividida en 6 sectores.

En cuanto a la Planta potabilizadora 1 se recomienda la instalación de un nuevo rebombeo en la Lauro Villar para que alcance a suministrar con buena presión las zonas de influencia de “PP1 Sectores 2, 3 y 4”. En los otros sectores de esta zona de influencia se requerirán de trabajos menores para su aislamiento.

En cuanto a la Planta Potabilizadora 2, es la zona de influencia que contará con la mayor cantidad de sectores con 37. En cuanto al bombeo hacia el Cefereso, son necesarias dos acciones: la primera, desincorporar algunas zonas de la ciudad que actualmente se suministran con la conducción de este rebombeo y la segunda, es la instalación de un rebombeo nuevo antes de la colonia Fidel Velásquez con la finalidad de garantizar las presiones de suministro mínimas en las zonas de influencia de los sectores localizados al poniente de la ciudad.

El bombeo directo a red desde la planta potabilizadora 2, su zona de influencia requerirá de adecuaciones importantes ya que es donde se concentra la mayor cantidad de sectores, además de la instalación de un rebombeo que suministre agua la zona del “PP2 sector 19”.

Se recomienda que el caudal producido en la Planta Paquete 1 se envíe directamente al Tanque 1 y de ahí se suministre a la red de distribución asignada a dicho tanque.

En cuanto a los costos: El costo total de la sectorización de la red de distribución es de \$127,600,637 pesos para las cuatro zonas de influencia: Plantas Potabilizadoras 1 y 2 y Plantas Paquetes 1 y 2.

Los costos de inversión de la sectorización a corto plazo son de \$31,026,707, se consideran los cuatro tanques elevados; a mediano plazo es de \$54,350,392, se incluyen la sectorización de la Planta Paquete 2 y la línea de suministro al Cefereso; y por último a largo plazo que es de \$42,223,538, y es el resto de la red de distribución.

Para una inversión anual de 5 millones de pesos la sectorización se llevaría a cabo en un plazo de casi 26 años, las acciones a corto plazo se cumplirían en un tiempo de 6 años aproximadamente, las de mediano plazo en un lapso de 18 años y las de largo plazo hasta los 26 años.

Si se invierten 10 millones de pesos al año, la sectorización total de la red sería de 13 años, donde las acciones a corto plazo se cumplirían en 3 años aproximadamente y las de mediano plazo en un poco más de 8 años.

7. ANÁLISIS DE EXACTITUD EN MICROMEDIDORES

7.1 Introducción

La micromedición constituye una modalidad de facturación del consumo de agua potable de un usuario, mediante la lectura periódica de un instrumento de registro denominado micromedidor, el cual determina el volumen de agua potable que ingresa a un predio. El objetivo de la micromedición es alcanzar o empatar la facturación de acuerdo a los consumos reales. Los micromedidores llevan a cabo una integración del caudal a lo largo del tiempo obteniendo los volúmenes totales de fluido que han pasado a través de ellos.

Existen diversas tecnologías, desde la rotación de una rueda de paletas o turbinas insertada en la tubería, hasta aquellos con giro de un pistón u oscilación de un disco para el registro del volumen. La presión de los micromedidores disminuye a caudales bajos, es ahí donde pierden precisión más rápidamente, por lo que el volumen consumido con caudales bajos, es uno de los condicionantes que más influye en la precisión de un micromedidores.

Por su parte, la importancia de las fugas en los domicilios particulares radica en que la mayoría de los micromedidores no pueden detectarlas a no ser que el caudal de las mismas sea elevado. La precisión con que se mide el consumo está fuertemente condicionada por la presencia o no de fugas, ya que en caso de no ser detectadas todo el volumen consumido en ellas pasará a ser parte del volumen no registrado.

Otro parámetro característico de micromedidor es conocido como caudal de arranque. Un micromedidor que tenga un caudal de arranque bajo, menor que el caudal de fuga, tendrá en general una buena precisión. Sin embargo un micromedidor con un caudal de arranque mayor que el caudal de fuga tendrá una poca precisión. Cuando los micromedidores presenta lecturas erróneas, los volúmenes de consumo son subestimados o sobreestimados. La micromedición es un factor importante en el balance de agua, por tal motivo se realizó una evaluación de diferentes micromedidores instalados en Matamoros, Tamaulipas, para determinar el error en la precisión.

Asimismo existen en el padrón de usuarios de la ciudad, alrededor de 40977 usuarios que tienen un registro de facturación menor a 10 metros cúbicos (situación irreal en una familia común de cuatro habitantes), esta situación obliga un estudio de consumos detallado debido al potencial en términos económicos que deja de percibir el Organismo Operador.

Finalmente el personal del IMTA con base en la información proporcionada por el departamento de Facturación de la JAD, construyó un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual permite organizar de forma gráfica la información del sistema comercial,

además de establecer un vínculo con el modelo de simulación hidráulica realizado por el propio IMTA.

7.2 Metodología realizada

El primer paso para llevar a cabo esta actividad de verificación de micromedidores será, el diseño de la muestra. Posteriormente se identifican los usuarios seleccionados y finalmente se realiza la prueba en campo, determinando la precisión del medidor sometido a diferentes caudales.

7.2.1 Usuarios del servicio

La Gerencia Comercial de la Junta de Aguas y Drenaje de Matamoros (JAD), divide a los usuarios considerando cuatro grandes módulos.

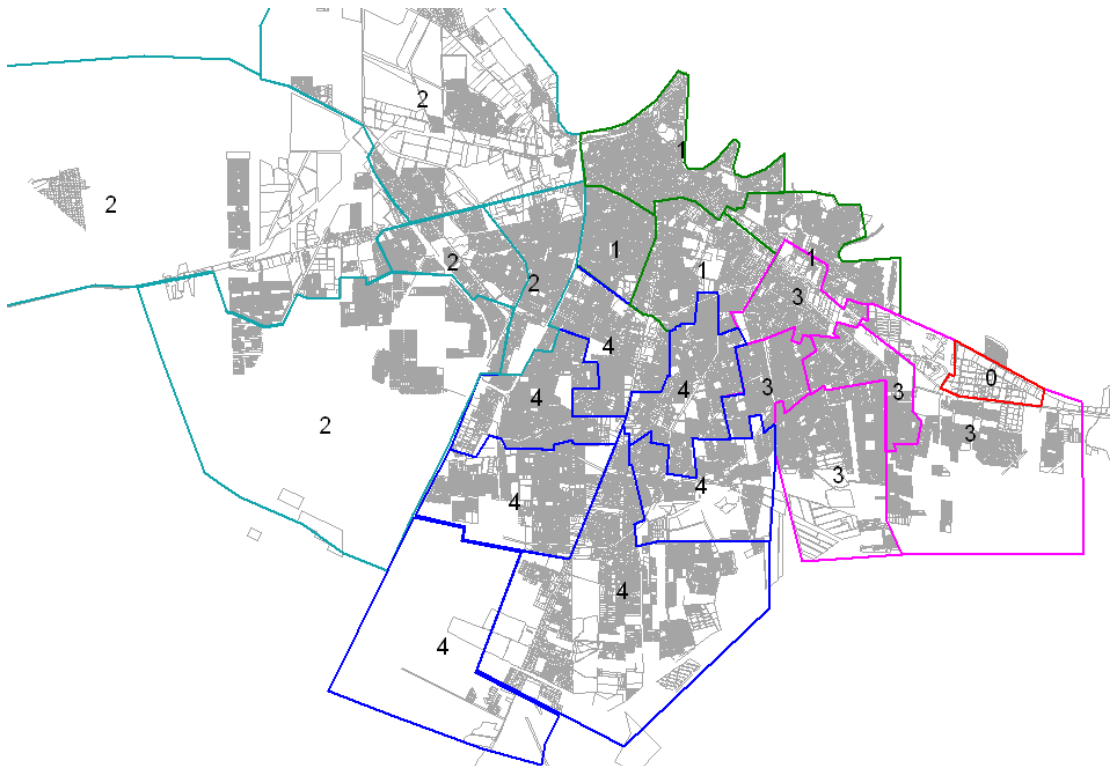


Ilustración 7.1. Módulos del área comercial de la JAD, (SIG elaborado por el IMTA).

Los módulos presentan un número de usuarios irregular, el cual se presenta en la ilustración siguiente. Es notorio observar que el módulo uno, corresponde a la zona de la ciudad con

mayor antigüedad. Caso contrario ocurre con el módulo cuatro, donde se presenta el mayor incremento de asentamientos urbanos en los últimos años en la ciudad. Los sectores dos y tres, establecen un incremento relativamente ordenado y uniforme a través del tiempo.

Número de usuarios ó tomas

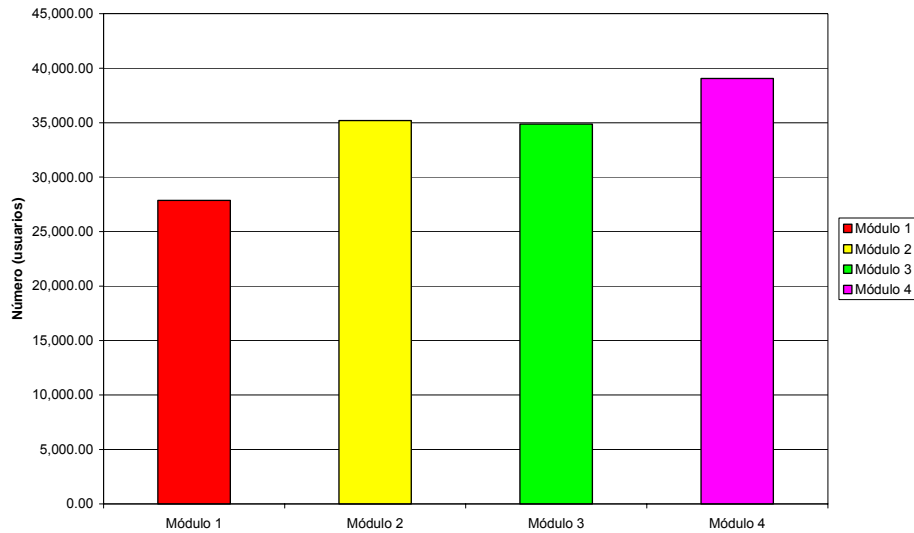


Ilustración 7.2. Número de usuarios por módulo comercial

Si consideramos esta clasificación por módulo e involucramos el saldo pendiente por facturar, se tiene que el módulo tres representa mayores ingresos para la JAD.

Saldo (\$)

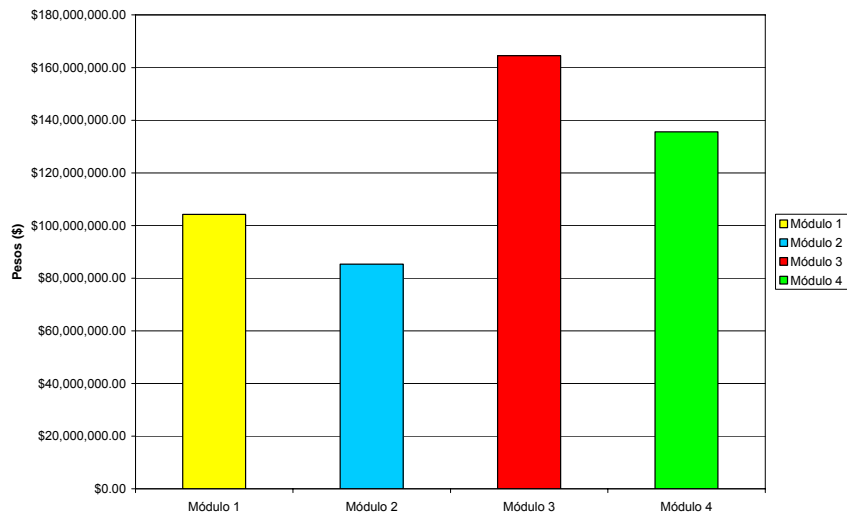


Ilustración 7.3. Distribución del saldo, clasificado por módulo.

Sin embargo, dentro de los módulos existe otra subclasificación. El departamento de Facturación establece 20 sectores comerciales divididos espacialmente de la forma siguiente.

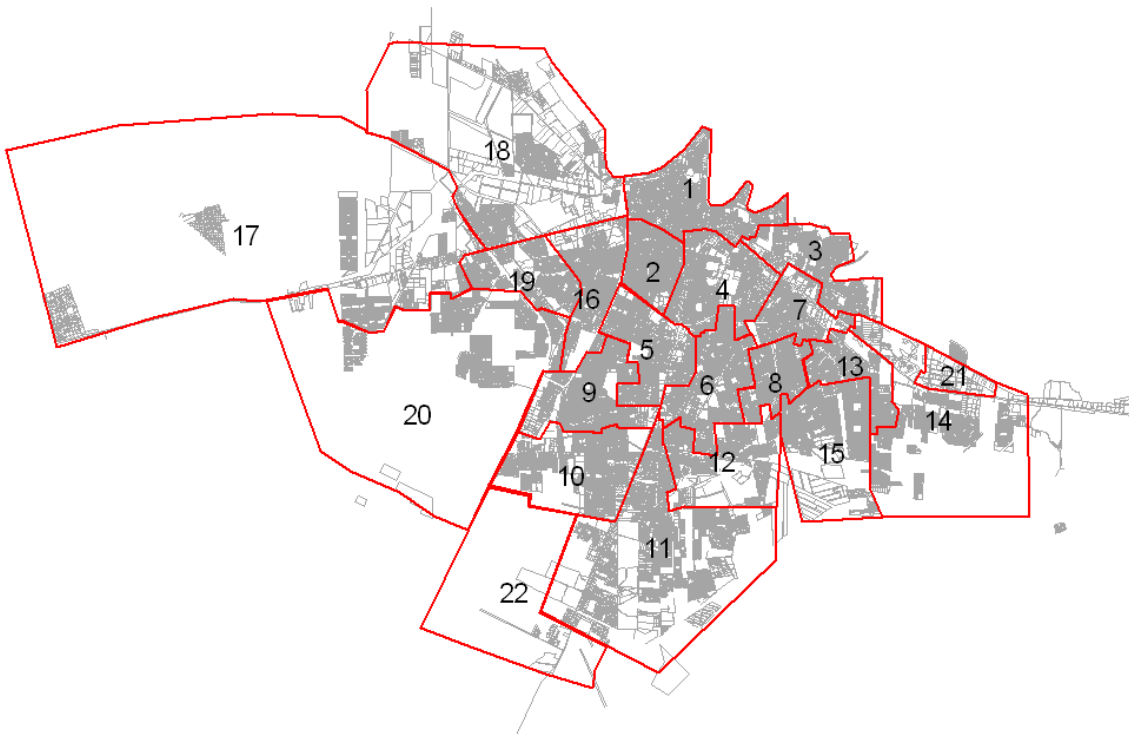


Ilustración 7.4. Sectores comerciales en la ciudad de Matamoros, (SIG realizado por el IMTA).

De acuerdo con el departamento de Facturación de la Junta de Agua y Drenaje de Matamoros, existen aproximadamente 137,027 usuarios, divididos en los 20 sectores anteriormente señalados.

Tabla 7.1. Desglose de usuarios considerando número de sector, tipo de servicio y consumo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
TOTAL	7,067	6,816	7,182	6,815	7,123	7,289	6,783	6,867	6,628	7,225	5,090	5,706	7,142	7,032	7,068	7,294	6,718	6,216	7,255	7,711	137,027
C. FLJA	1,869	2,576	3,473	3,493	3,481	3,618	4,270	4,381	3,565	3,464	3,458	1,129	3,656	2,798	3,414	2,119	1,303	3,601	1,900	3,551	61,119
S. MEDIDO	5,198	4,240	3,709	3,322	3,642	3,671	2,513	2,486	3,063	3,761	1,632	4,577	3,486	4,234	3,654	5,175	5,415	2,615	5,355	4,160	75,908
0 a 10 m³	2,328	1,793	2,263	1,548	1,857	2,131	1,535	1,779	1,997	2,843	1,187	2,787	2,174	2,787	2,754	2,543	3,723	1,472	3,359	2,572	45,432
11 a 20 m³	1,212	1,222	969	908	1,081	1,096	695	554	800	731	309	1,435	990	1,118	692	1,860	1,327	798	1,583	1,163	20,543
21 a 50 m³	1,244	1,018	399	676	587	389	236	134	231	166	98	330	292	302	188	716	324	279	372	337	8,318
51 a 100 m³	273	152	44	106	76	33	23	14	18	10	18	9	19	16	14	35	18	33	20	30	961
101 a 300 m³	123	53	25	67	29	20	18	4	16	11	15	15	11	10	6	17	19	26	12	28	525
301 a 500 m³	10	2	2	8	5	2	2	1	0	0	2	1	0	1	0	4	2	1	5	11	59
501 a 1000 m³	5	0	4	7	5	0	2	0	1	0	3	0	0	0	0	0	1	3	4	11	46
1001 a 2000 m³	2	0	2	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	4	16
2001 m³ a Más	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	8

Finalmente los 20 sectores son divididos a su vez en 353 rutas de lectura. Las rutas se dividen espacialmente de la forma siguiente.

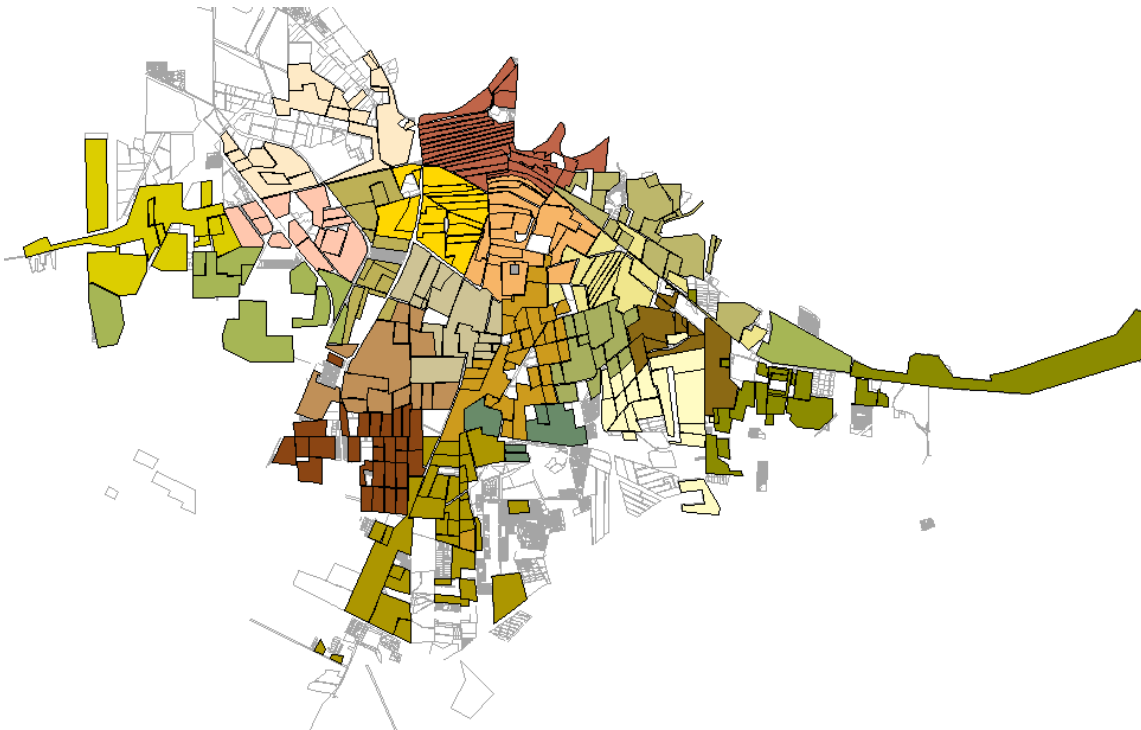


Ilustración 7.5. Sectores comerciales y sus rutas de lectura, (SIG realizado por el IMTA)

Recordar que el personal del IMTA ordenó y clasificó la información del Departamento de Facturación, dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Este a su vez se entregará al personal de la JAD para su uso y continua actualización.

Una de las ventajas inmediatas de integrar la información comercial dentro de un SIG, es la visualización espacial de la misma; ejemplo de ello, es la ilustración siguiente donde se observa la distribución en porcentaje, de los usuarios con un consumo menor a 15 m³/mes (rojo) y usuarios con un consumo mayor a 15 m³/mes (azul).

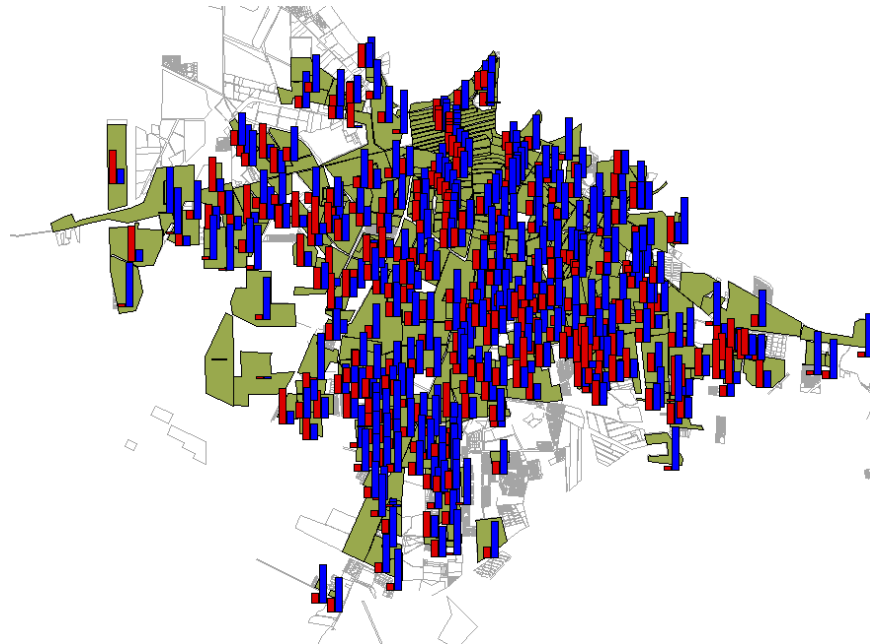


Ilustración 7.6. Porcentaje de usuarios con un consumo menor a 15 m³/mes (Rojo) y usuarios con un consumo mayor a 15m³/mes (azul).

A partir de este análisis es posible llevar a cabo una planeación oportuna de recursos, dado que se establecen zonas o sectores donde existen un número considerable de usuarios con consumo menor a 15 metros cúbicos, ver ilustración siguiente.

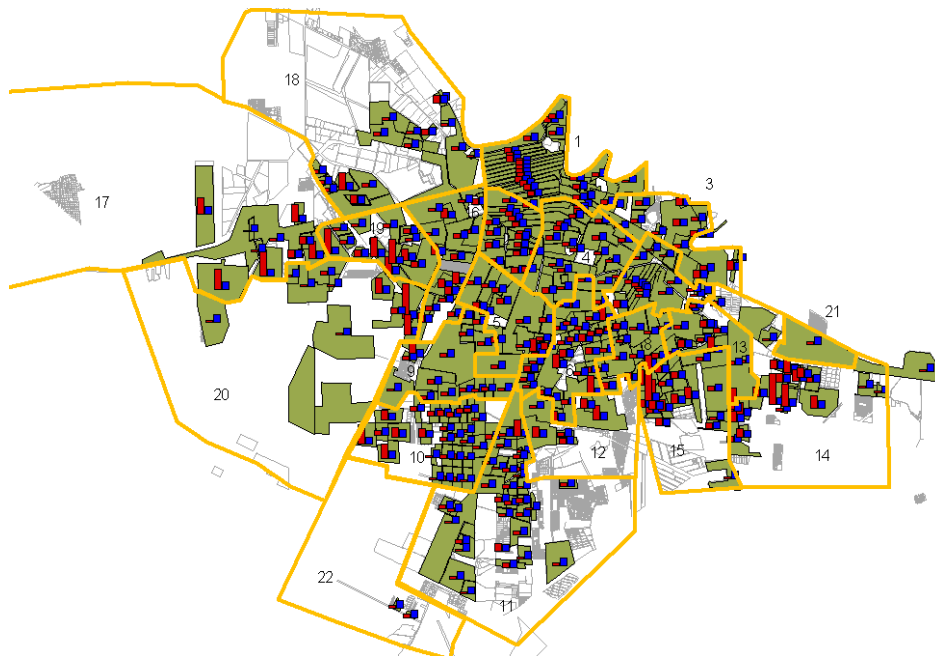


Ilustración 7.7. Porcentaje de usuarios con un consumo menor a 15 m³/mes (rojo) y usuarios con un consumo mayor a 15m³/mes (azul) para cada sector comercial.

A partir de las ilustraciones anteriores se establece, que las rutas que presenten gráfica de barras en rojo, con un orden de magnitud mayor a las gráficas azules, denotan una pérdida de recursos económicos a la Junta de Agua. Lo anterior se debe generalmente a que una familia típica mexicana, consume un volumen promedio mensual mayor a 20 metros cúbicos. Por lo anterior y con base en el SIG elaborado por el IMTA, es posible conocer por ejemplo, las rutas que tienen un mayor número de usuarios por debajo de los 15 metros cúbicos (ver tabla siguiente).

Tabla 7.2. Rutas con mayor incidencia de usuarios debajo de 15 metros cúbicos con respecto a su total

Id. Ruta	Id. Ruta	Id. Ruta	Id. Ruta
92	210	263	307
94	211	267	308
101	214	268	309
135	218	270	313
146	231	278	314
148	233	284	316
172	236	286	317
178	237	287	319
179	240	289	320
183	244	291	322
186	248	292	324
193	249	293	326
199	251	294	332
201	254	298	334
203	257	299	336
204	258	300	
205	260	304	
206	261	305	

Se tienen 69 rutas que presentan mayor incidencia de usuarios, con consumos promedio mensuales menores a 15 metros cúbicos, esto representa el 19.54% (353) del total de rutas lecturas identificadas por departamento de Facturación de la JAD.

Actualmente el esquema tarifario vigente en la ciudad de Matamoros establece un rango mínimo de 0 a 10 metros cúbicos. Nuevamente si consideramos el SIG es posible conocer el número de rutas que presentan la mayor incidencia de usuarios con un consumo menor a 10 metros cúbicos, en comparación al total de cada una de ellas.

Tabla 7.3. Rutas con mayor incidencia de usuarios debajo de 10 metros cúbicos con respecto a su total

Rutas con mayor incidencia de usuarios debajo de 10 m3	Número de usuarios
240	145
326	506
289	117
233	504
316	208
292	81
260	163
267	94
300	169
320	239
287	385
305	1409
304	294
317	917
334	266
178	480
291	1
258	149
204	347
309	971
186	929
236	460

TOTAL 8834

A partir de la tabla anterior es posible establecer que el número de usuarios total resulta de 8834, esto representa 6.56% del total de usuarios que tiene registrado el departamento de Facturación de la JAD. De forma espacial estas rutas se identifican en la ilustración siguiente.

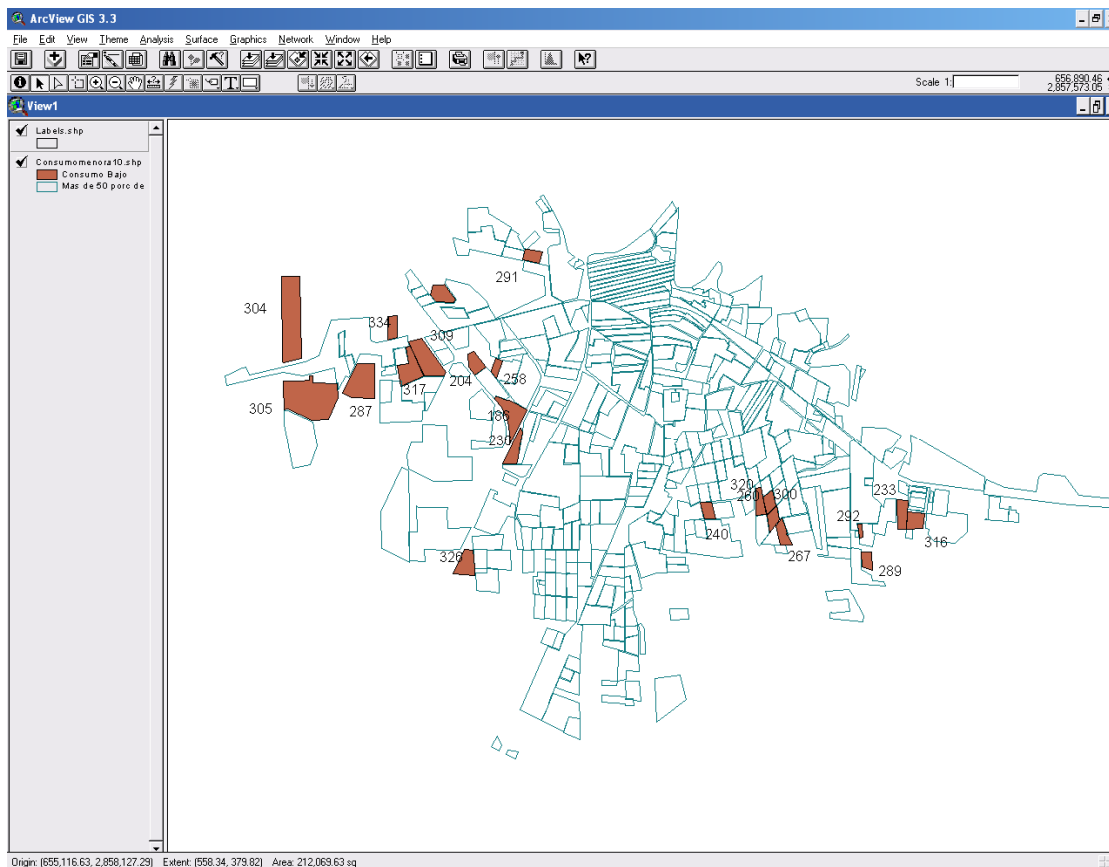


Ilustración 7.8. Rutas con mayor incidencia de usuarios debajo de 10 metros cúbicos con respecto a su total

Considerando el análisis anterior, se realizó un muestreo aleatorio, con el objetivo de conocer el estado de los micromedidores dentro de la ciudad de Matamoros. A partir del análisis siguiente será posible definir lo siguiente:

- La precisión de los micromedidores (porcentaje de sobremedición, submedición, etc)
- Estado de micromedidores por marca comercial, (mejor y peor evaluadas).
- Emisión de recomendaciones en relación a la instalación del micromedidor (cuadro, válvula de expulsión de aire, posición del micromedidor, etc).
- Identificación de zonas con problemas de medición; producto de una operación deficiente en la red de distribución (baja presión).
- Diseño de acciones que permitan incrementar la facturación en el Organismo Operador, p.e. reforzamientos de tubería dentro de la red de distribución.

7.2.2 Selección de la muestra aleatoria

Con el objetivo de conocer el estado de los micromedidores (errores de medición) de la ciudad, el IMTA diseñó una muestra de 402 micromedidores distribuidos dentro de la ciudad de Matamoros (ver ilustración siguiente).

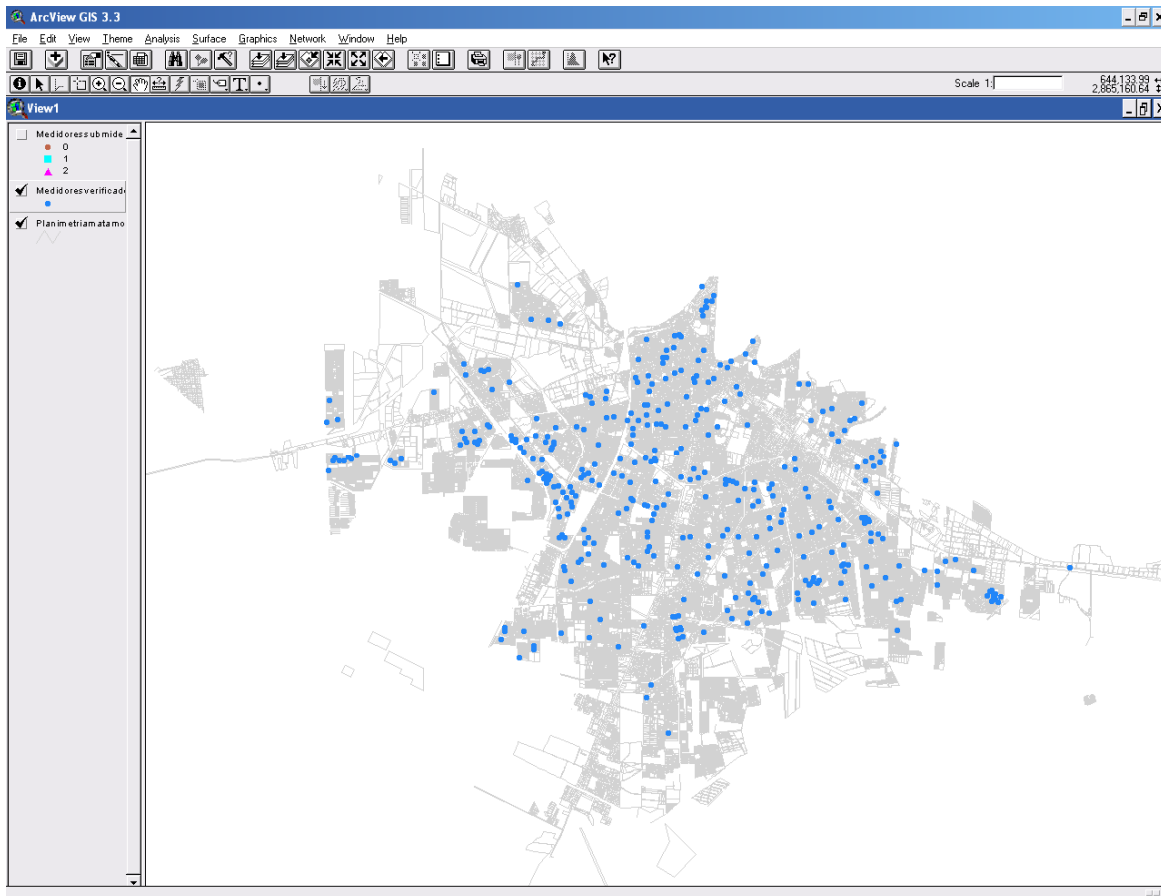


Ilustración 7.9. Ubicación espacial de los micromedidores analizados

Del total de la muestra se seleccionaron de forma directa 15 usuarios considerados como grandes consumidores; éstos generalmente se componen de industrias ubicadas dentro de la ciudad.

Considerando lo anterior se seleccionan las 385 muestras restantes de forma aleatoria. Antes de iniciar el proceso de selección, se asigna a cada uno de los 20 sectores (de acuerdo con el departamento de facturación), un factor de ponderación involucrando número total de usuarios con servicio medido en cada sector, con ello se asigna un número mayor de evaluaciones en campo, a aquellos sectores que presenten mayor número de usuarios con servicio medido (micromedidores). A continuación se muestra la distribución de los usuarios por número de sector.

Tabla 7.4. Distribución de usuarios de la muestra por número sector

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
6.85%	5.59%	4.89%	4.38%	4.80%	4.84%	3.31%	3.28%	4.04%	4.95%	2.15%	6.03%	4.59%	5.58%	4.81%	6.82%	7.13%	3.44%	7.05%	5.48%	100.00%
26.3639	21.505	18.8118	16.8489	18.472	18.6191	12.7458	12.6088	15.5353	19.0755	8.27739	23.2142	17.6807	21.4745	18.5328	26.2472	27.4645	13.2631	27.1602	21.0992	385
26	22	19	17	18	19	13	13	16	19	8	23	18	21	19	26	27	13	27	21	385

En el anexo 2 se muestran los detalles de los usuarios seleccionados.

7.2.3 Realización de pruebas en campo

Para cada medidor se tomaron lecturas de volumen, presión, datos del medidor, tales como la marca, el número del medidor y su ubicación, y las observaciones en el momento de la prueba. Las lecturas se tomaron para caudales al 100%, 50% y 4%, los cuales se determinaban con un banco portátil de pruebas. En la estimación del error en la precisión, se emplea la fórmula siguiente.

$$\% \text{ de Error} = \frac{\text{Volumen medidor} - \text{Volumen real}}{\text{Volumen real}} \quad (7.1)$$

Donde:

El *volumen* determinado con el *medidor*, es la diferencia entre la lectura inicial y final, El *volumen real* es medido con un bote volumétrico, el cual es llenado durante el mismo intervalo de tiempo en que se toman las lecturas del medidor.

En las fotos siguientes (Ilustración 7.10 e Ilustración 7.11) se muestra como se llevaron a cabo las pruebas de los micromedidores.

En el siguiente formato (ver **Ilustración 7.12**) se capturaron lecturas, datos del medidor y se calculó el porcentaje de error en los micromedidores, para cada caudal. Se identifica con amarillo los errores mayores de 100%, los cuales pueden ser resultado de errores en la toma de lecturas. En el anexo 3 se presentan las pruebas realizadas. Se visitaron 400 medidores, de los cuales para algunos no fue posible realizar la prueba por causas que se describen en las observaciones vertidas en cada formato.

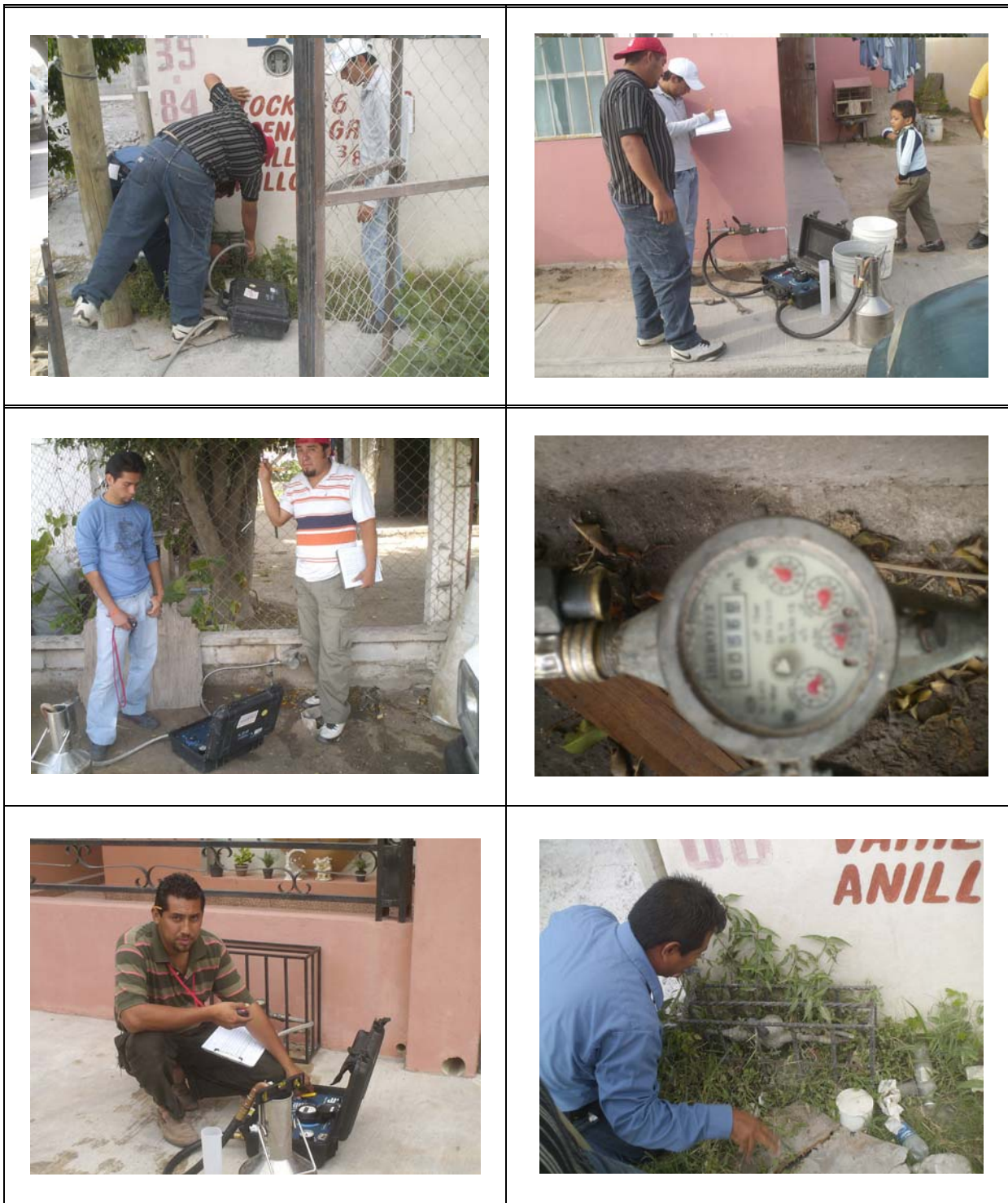


Ilustración 7.10. Cont. de muestreo en campo para la verificación de micromedidores



Ilustración 7.11. Cont. de muestreo en campo para análisis de micromedidores



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3



TIEMPO		LECTURA MEDIDOR 1		PRESION DE PRUEBA		DIFERENCIA	VOLUMEN			GASTO DE PRUEBA	%	% ERROR	% ERROR
MIN	SEG	INICIAL (m ³)	FINAL (m ³)	INICIAL (PSI)	FINAL (PSI)	MED. No. 1 (Litros)	(Litros)	PATRÓN (ml)	(Litros)	REAL (l/h)	Q	NOM-012-SCFI/94	CALCULADO
0	50	421.8236	421.8339			10.3000	10	+10	10.01	718		±2%	2.897%
0	50	421.8339	421.8442			10.3000	10	0	10.00	718		±2%	3.000%
1	44	421.8523	421.8625	11	11	10.2000	10	+20	10.02	354		±2%	1.796%
1	44	421.8625	421.8728	11	11	10.3000	10	+10	10.01	354		±2%	2.897%
1	9	421.8733	421.8739	14	14	0.6000	0.5	0	0.50	29		±5%	20.000%
1	12	421.8739	421.8744	14	14	0.5000	0.5	0	0.50	29		±5%	0.000%

ACEPTADO (A) RECHASADO (R) ACEPTADO CONDICIONAL (AC)

OBSERVACIONES:

ELABORÓ:

VoBo:

Ilustración 7.12. Formato de registro empleado, durante el muestreo sobre la precisión de micromedidores domésticos.

7.2.4 Resultados del muestreo en campo

A partir de los datos obtenidos en campo, se calcularon los promedios de los porcentajes de error de los medidores con la misma marca y a su vez para cada zona. En el cálculo final, se omitieron los errores mayores de 100 por ciento, con el objetivo de no sesgar el promedio final. A continuación se presentan los resultados por marca y zona comercial.

Tabla 7.5. Errores en la micromedición calculados por marca y por zona (1)

FLUCON							
			ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
NUMERO DE MEDIDORES			6	3	6	2	9
Qmax	2%	-2%	2.1149%	0.9658%	1.0458%	3.2971%	-4.0249%
Qmax	2%	-2%	-14.4170%	2.1295%	1.1003%	0.5000%	1.2248%
Q med	2%	-2%	1.4998%	-0.3658%	4.5337%	-0.3990%	1.1903%
Q med	2%	-2%	2.0824%	0.1664%	0.1357%	0.5000%	1.8440%
Qmín	5%	-5%	6.6667%	0.0000%	-12.9966%	0.0000%	0.2245%
Qmín	5%	-5%	3.6735%	6.6667%	-13.3280%	0.0000%	0.1616%
NUMERO DE MEDIDORES			6	5	6	6	10
Qmax	2%	-2%	-14.2809%	0.8407%	-0.1011%	2.7769%	1.0374%
Qmax	2%	-2%	-29.7839%	0.6628%	-0.0501%	2.2920%	1.2488%
Q med	2%	-2%	-15.0895%	1.3396%	-0.8338%	2.5302%	0.8490%
Q med	2%	-2%	-11.9902%	-1.0171%	-0.9674%	2.5649%	-0.7194%
Qmín	5%	-5%	6.3234%	5.3030%	3.3037%	5.1575%	0.0025%
Qmín	5%	-5%	-11.1727%	0.2525%	0.0000%	-9.7980%	0.0000%
NUMERO DE MEDIDORES			6	3	7	6	6
Qmax	2%	-2%	0.8334%	1.4978%	-0.5402%	0.4646%	2.0107%
Qmax	2%	-2%	0.4179%	0.0021%	0.7678%	0.8319%	2.3672%
Q med	2%	-2%	-0.0346%	-1.6985%	0.3277%	0.3811%	2.5099%
Q med	2%	-2%	0.5487%	-1.7008%	-2.5025%	-5.6618%	-13.7389%
Qmín	5%	-5%	-12.3922%	0.0000%	0.2915%	3.3333%	4.3636%
Qmín	5%	-5%	-8.0000%	-19.5918%	2.6874%	3.3333%	8.1616%
NUMERO DE MEDIDORES			7	10	4	3	4
Qmax	2%	-2%	-1.5982%	1.7400%	1.1248%	0.9668%	0.8503%
Qmax	2%	-2%	-3.1552%	1.1200%	0.1255%	0.6651%	0.4244%
Q med	2%	-2%	-2.9311%	0.4102%	-0.5499%	0.8723%	-1.0497%
Q med	2%	-2%	-2.0148%	-0.2808%	-0.7249%	-0.0004%	-0.6242%
Qmín	5%	-5%	0.0000%	4.1010%	4.4554%	0.3367%	10.0000%
Qmín	5%	-5%	0.6803%	-2.0990%	9.5110%	-5.9864%	0.0000%
NUMERO DE MEDIDORES			2				
Qmax	2%	-2%	-0.3006%				
Qmax	2%	-2%	0.3992%				
Q med	2%	-2%	-0.8968%				
Q med	2%	-2%	-0.7487%				
Qmín	5%	-5%	-0.9804%				
Qmín	5%	-5%	-0.9804%				

Tabla 7.6. Errores en la micromedición calculados por marca y por zona (2)

CICASA								
				ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
NUMERO DE MEDIDORES				18	9	5	9	
Qmax	2%	-2%	2.9301%	2.1185%	1.9186%	3.3311%		
Qmax	2%	-2%	3.6564%	1.6929%	1.8799%	4.2972%		
Q med	2%	-2%	2.7787%	0.7745%	1.6206%	2.7082%		
Q med	2%	-2%	2.4213%	1.0876%	2.8641%	3.6766%		
Qmin	5%	-5%	-16.4966%	-6.9281%	-30.0000%	-4.1665%		
Qmin	5%	-5%	-12.6354%	-10.0000%	-50.0000%	-0.5572%		
				ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8	ZONA 9	ZONA 10
NUMERO DE MEDIDORES				6	2	1	4	1
Qmax	2%	-2%	0.4145%	0.2029%	-1.0000%	1.0956%	2.5896%	
Qmax	2%	-2%	1.5724%	-0.5000%	-1.1976%	0.9638%	2.1021%	
Q med	2%	-2%	1.7617%	-0.5500%	-1.0000%	0.7748%	1.0000%	
Q med	2%	-2%	1.4860%	-0.9991%	-2.0979%	0.5030%	1.7964%	
Qmin	5%	-5%	-3.5119%	-20.0000%	0.0000%	-5.9933%	-18.3673%	
Qmin	5%	-5%	-15.3384%	-20.0000%	20.0000%	-6.6667%	-20.0000%	
				ZONA 11	ZONA 12	ZONA 13	ZONA 14	ZONA 15
NUMERO DE MEDIDORES					6	5	3	2
Qmax	2%	-2%		0.9307%	1.8951%	-0.0975%	2.5000%	
Qmax	2%	-2%		0.2439%	1.4959%	-0.2257%	1.9486%	
Q med	2%	-2%		0.4326%	0.8005%	-0.0315%	-2.9489%	
Q med	2%	-2%		0.0523%	-0.5983%	-0.6346%	7.5516%	
Qmin	5%	-5%		-11.4714%	4.8878%	-6.1224%	-9.5960%	
Qmin	5%	-5%		-12.1188%	4.1642%	-12.7946%	10.0000%	
				ZONA 16	ZONA 17	ZONA 18	ZONA 19	ZONA 20
NUMERO DE MEDIDORES				14	1	3	10	12
Qmax	2%	-2%	5.5747%	-2.2931%	1.1311%	0.2783%	0.0558%	
Qmax	2%	-2%	1.9395%	-2.7778%	1.3977%	0.0211%	0.1599%	
Q med	2%	-2%	-1.7092%	-1.9019%	1.3680%	0.2506%	-0.6811%	
Q med	2%	-2%	-1.1369%	-0.9009%	2.2328%	-0.1688%	1.2027%	
Qmin	5%	-5%	-3.6364%	0.0000%	0.0000%	-1.7733%	0.1701%	
Qmin	5%	-5%	-2.0000%	0.0000%	0.0000%	-6.3973%	1.6667%	

NUMERO DE MEDIDORES				4				
Qmax	2%	-2%	1.0956%					
Qmax	2%	-2%	0.9638%					
Q med	2%	-2%	0.7748%					
Q med	2%	-2%	0.5030%					
Qmin	5%	-5%	-5.9933%					
Qmin	5%	-5%	-6.6667%					

Tabla 7.7. Errores en la micromedición calculados por marca y por zona (3)

IBEROTEK							
			ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
NUMERO DE MEDIDORES			8	17	6	5	14
Qmax	2%	-2%	4.5826%	1.1980%	-2.2123%	3.8805%	3.4462%
Qmax	2%	-2%	0.7345%	1.2563%	0.9349%	-0.4737%	1.2575%
Q med	2%	-2%	1.3466%	0.5401%	2.0334%	0.6009%	3.1120%
Q med	2%	-2%	4.2505%	-5.5950%	-0.2690%	0.9807%	0.9798%
Qmín	5%	-5%	6.0317%	-3.6793%	-10.4950%	0.5051%	-1.6116%
Qmín	5%	-5%	6.0317%	1.1182%	-20.0000%	0.0000%	-1.4608%
NUMERO DE MEDIDORES			6	5	5	5	7
Qmax	2%	-2%	2.8677%	1.9204%	0.6785%	3.3843%	0.3992%
Qmax	2%	-2%	2.2417%	1.1413%	0.2410%	-1.2208%	0.3037%
Q med	2%	-2%	3.6057%	3.9389%	-0.2394%	2.8610%	0.5581%
Q med	2%	-2%	-14.4294%	2.3994%	0.0790%	-1.2202%	-0.4282%
Qmín	5%	-5%	-6.8117%	-7.9960%	4.1260%	-8.3564%	2.7157%
Qmín	5%	-5%	-8.0000%	3.6078%	0.2020%	-4.1980%	-2.8571%
NUMERO DE MEDIDORES			1	13	5	11	10
Qmax	2%	-2%	2.7467%	1.0909%	1.5865%	0.3907%	0.1885%
Qmax	2%	-2%	1.0101%	0.5680%	-0.7179%	-0.6284%	0.4291%
Q med	2%	-2%	2.5896%	-0.2016%	-0.8202%	1.6174%	0.9609%
Q med	2%	-2%	1.4925%	-0.2847%	1.8197%	0.7724%	-0.6609%
Qmín	5%	-5%	0.0000%	-5.9159%	7.7624%	-5.4731%	-16.8525%
Qmín	5%	-5%	-0.9901%	-6.1678%	5.0183%	0.1010%	-14.1703%
NUMERO DE MEDIDORES			5	16	4	13	4
Qmax	2%	-2%	-17.1591%	0.0696%	-0.0230%	0.4517%	2.2876%
Qmax	2%	-2%	-0.7457%	0.3118%	0.2736%	0.2590%	-5.2804%
Q med	2%	-2%	0.4997%	-0.0935%	-0.6235%	0.1835%	0.4724%
Q med	2%	-2%	0.8592%	0.0940%	-0.6743%	0.2238%	-0.5227%
Qmín	5%	-5%	0.0000%	0.1825%	4.4554%	-1.6234%	0.0000%
Qmín	5%	-5%	20.0000%	-3.6616%	-5.0000%	12.0308%	-2.0000%
NUMERO DE MEDIDORES			2				
Qmax	2%	-2%	2.0427%				
Qmax	2%	-2%	1.2464%				
Q med	2%	-2%	-2.8978%				
Q med	2%	-2%	1.7457%				
Qmín	5%	-5%	20.0000%				
Qmín	5%	-5%	0.0000%				

Tabla 7.8. Errores en la micromedición calculados por marca y por zona (4)

RECORDALL Badger-Meter					
			ZONA 1		
NUMERO DE MEDIDORES			1		
Qmax	2%	-2%	-0.9009%		
Qmax	2%	-2%	-0.1996%		
Q med	2%	-2%	-4.9049%		
Q med	2%	-2%	-4.1916%		
Qmín	5%	-5%			
Qmín	5%	-5%			
AZTECA					
			ZONA 1	ZONA 4	ZONA 9
NUMERO DE MEDIDORES			2	1	1
Qmax	2%	-2%	2.6988%	10.0000%	-1.3807%
Qmax	2%	-2%	2.5478%	-0.3984%	-0.3984%
Q med	2%	-2%	3.7965%	0.5025%	0.5025%
Q med	2%	-2%	2.3490%	0.0000%	0.0000%
Qmín	5%	-5%		0.0000%	0.0000%
Qmín	5%	-5%		0.0000%	0.0000%
SCANCODER					
			ZONA 2		
NUMERO DE MEDIDORES			1		
Qmax	2%	-2%	0.0000%		
Qmax	2%	-2%	-0.0999%		
Q med	2%	-2%	-1.9019%		
Q med	2%	-2%	-1.0989%		
Qmín	5%	-5%	-20.0000%		
Qmín	5%	-5%	0.0000%		

			-----	-----	
NUMERO DE MEDIDORES			1	1	
Qmax	2%	-2%	4.2084%	3.8961%	
Qmax	2%	-2%	2.2044%	3.6889%	
Q med	2%	-2%	-2.0000%	3.8961%	
Q med	2%	-2%	-1.9019%		
Qmín	5%	-5%	-0.9901%	-40.0000%	
Qmín	5%	-5%	-0.9901%	0.0000%	

Los errores presentados en las tablas anteriores se graficaron como se muestra a continuación. Estas gráficas se presentan en el anexo 4 del presente documento. Es importante mencionar que las líneas en color rojo, muestran los límites máximos de error que considera la normatividad oficial mexicana en el tema (NOM-012-SCFI-1994)

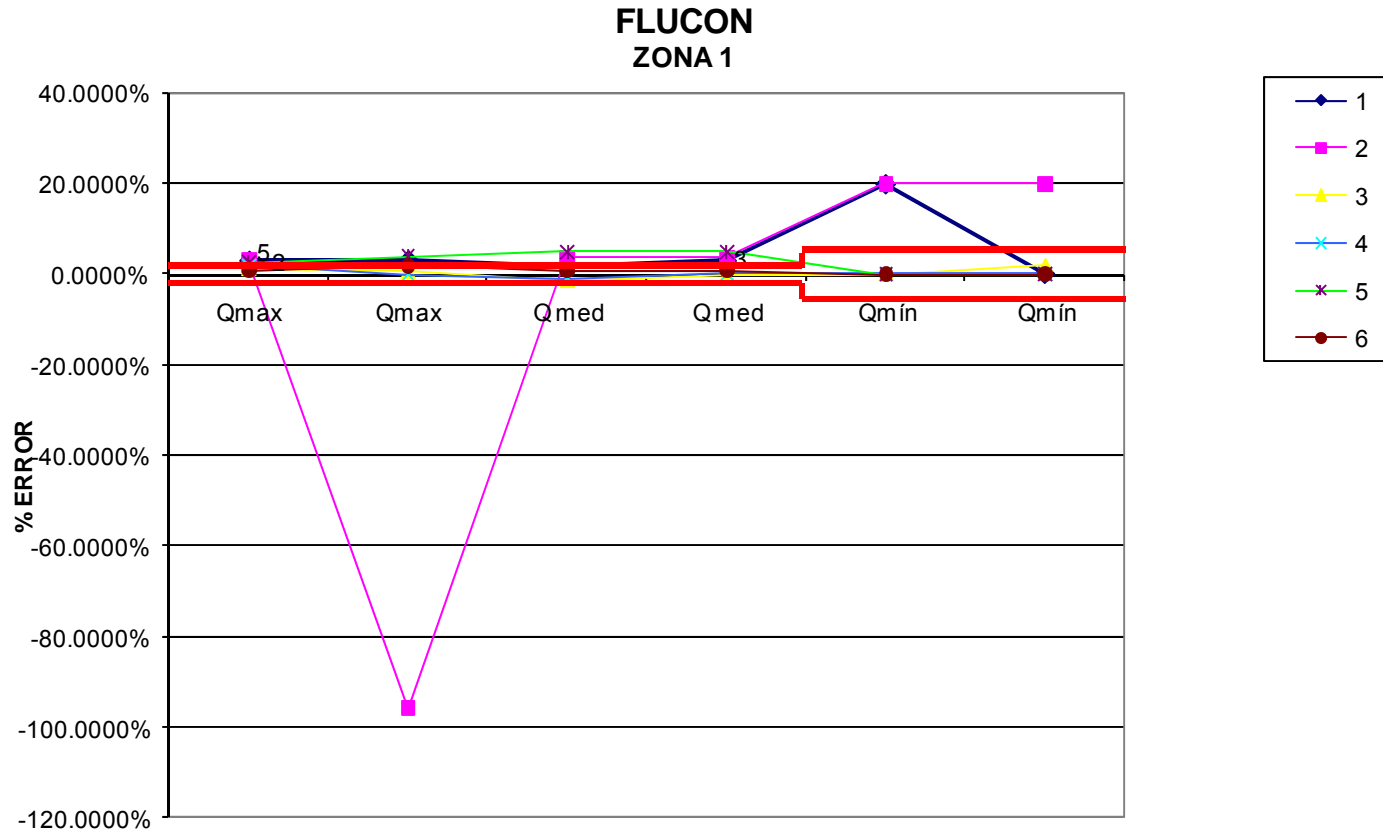


Ilustración 7.13. Resumen de errores de micromedición, MARCA FLUCON – Zona 1.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los porcentajes de error calculados para los medidores con la misma marca. Las gráficas de estos errores se presentan en el anexo 5. En color rojo se observan los límites máximos permisibles para los diferentes caudales que establece la NOM-012-SCFI-1994 (**Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos-Medidores para agua potable fría-Especificaciones**).

Tabla 7.9. Resumen de los errores en la micromedición calculados por marca

			FLUCON	CICASA	IBEROTEK	RECORDALL	AZTECA	SCANCODER	-----
NUMERO DE MEDIDORES			117	115	162	1	4	1	2
Qmax	2%	-2%	0.0343%	1.3297%	0.6580%	100.0000%	3.7727%	0.0000%	4.0523%
Qmax	2%	-2%	-1.4822%	1.0117%	0.1496%	-0.9009%	0.5836%	-0.0999%	2.9467%
Q med	2%	-2%	-0.3526%	0.3322%	0.9545%	-0.1996%	1.6005%	-1.9019%	0.9481%
Q med	2%	-2%	-1.6595%	1.0032%	-0.3994%	-4.9049%	0.7830%	-1.0989%	-1.9019%
Qmín	5%	-5%	1.3092%	-7.3389%	-1.0970%	-4.1916%	0.0000%	-20.0000%	-20.4950%
Qmín	5%	-5%	-1.7061%	-7.5255%	-0.9712%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	-0.4950%

El error global se calculó con la media de los promedios mostrados en la tabla anterior.

Tabla 7.10. Error global en la micromedición

			PROMEDIO GLOBAL
NUMERO DE MEDIDORES			402
Qmax	2%	-2%	15.6924%
Qmax	2%	-2%	0.3155%
Q med	2%	-2%	0.1973%
Q med	2%	-2%	-1.1683%
Qmín	5%	-5%	-7.4019%
Qmín	5%	-5%	-1.5283%

A continuación se presentan las ilustraciones donde se resumen los errores por marca comercial de medidor. De igual forma que los resultados anteriores, las líneas rectas de color rojo expresan los límites máximos permisibles emitidos por la normatividad oficial mexicana.



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3



FLUCON

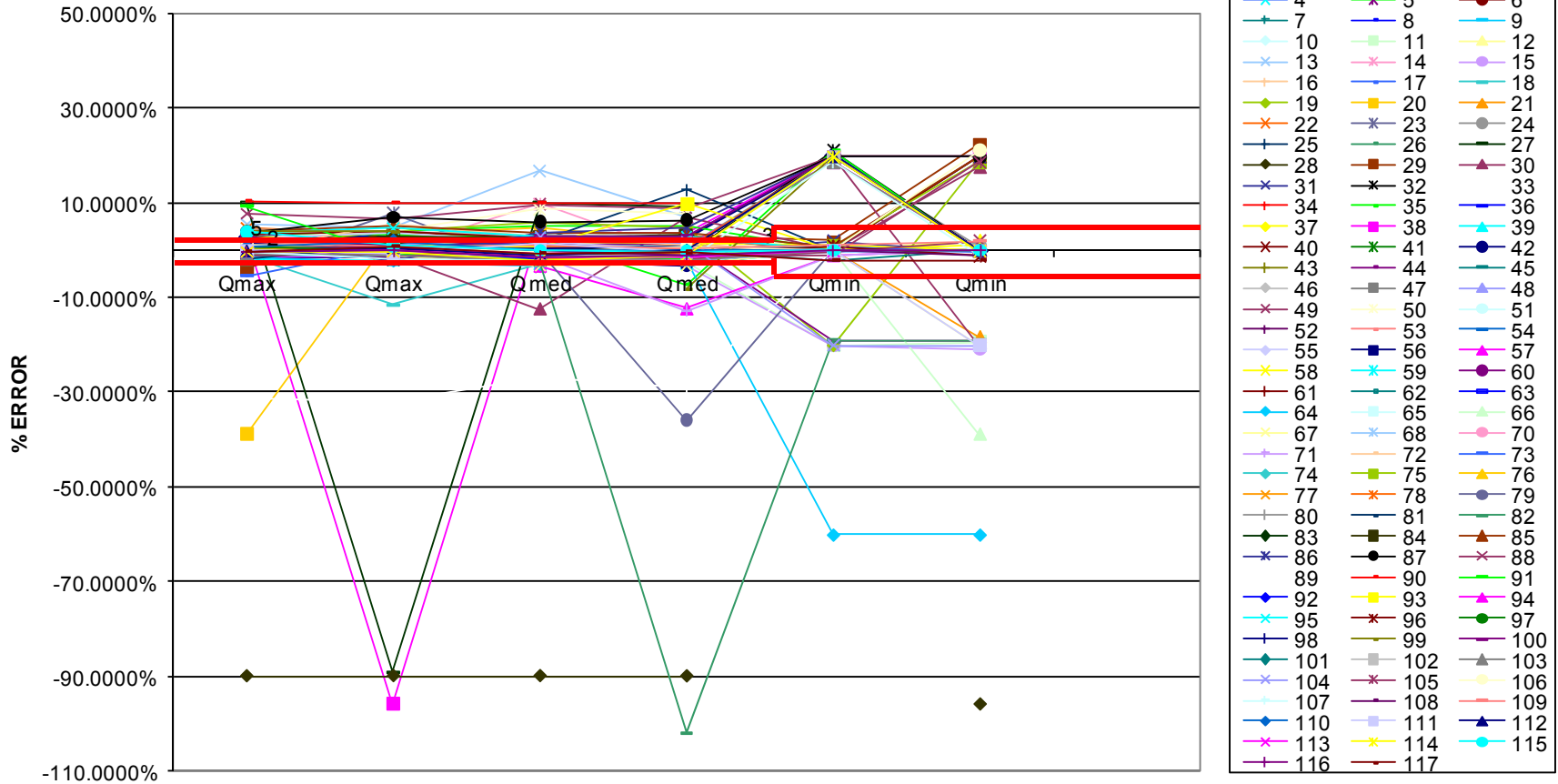


Ilustración 7.14. Resumen de errores en micromedidores marca FLUCON



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3

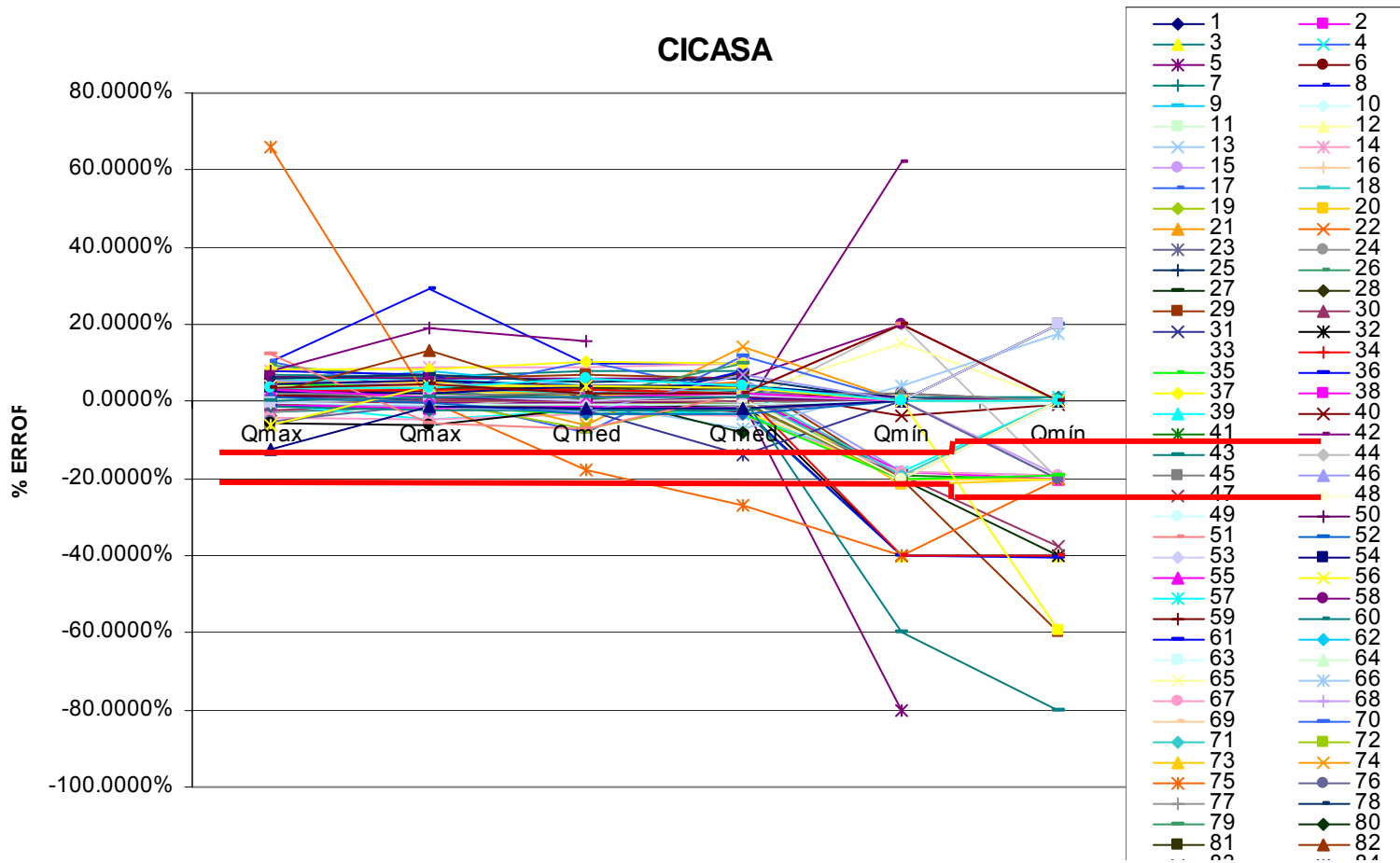


Ilustración 7.15. Resumen de errores en micromedidores marca CICASA



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3

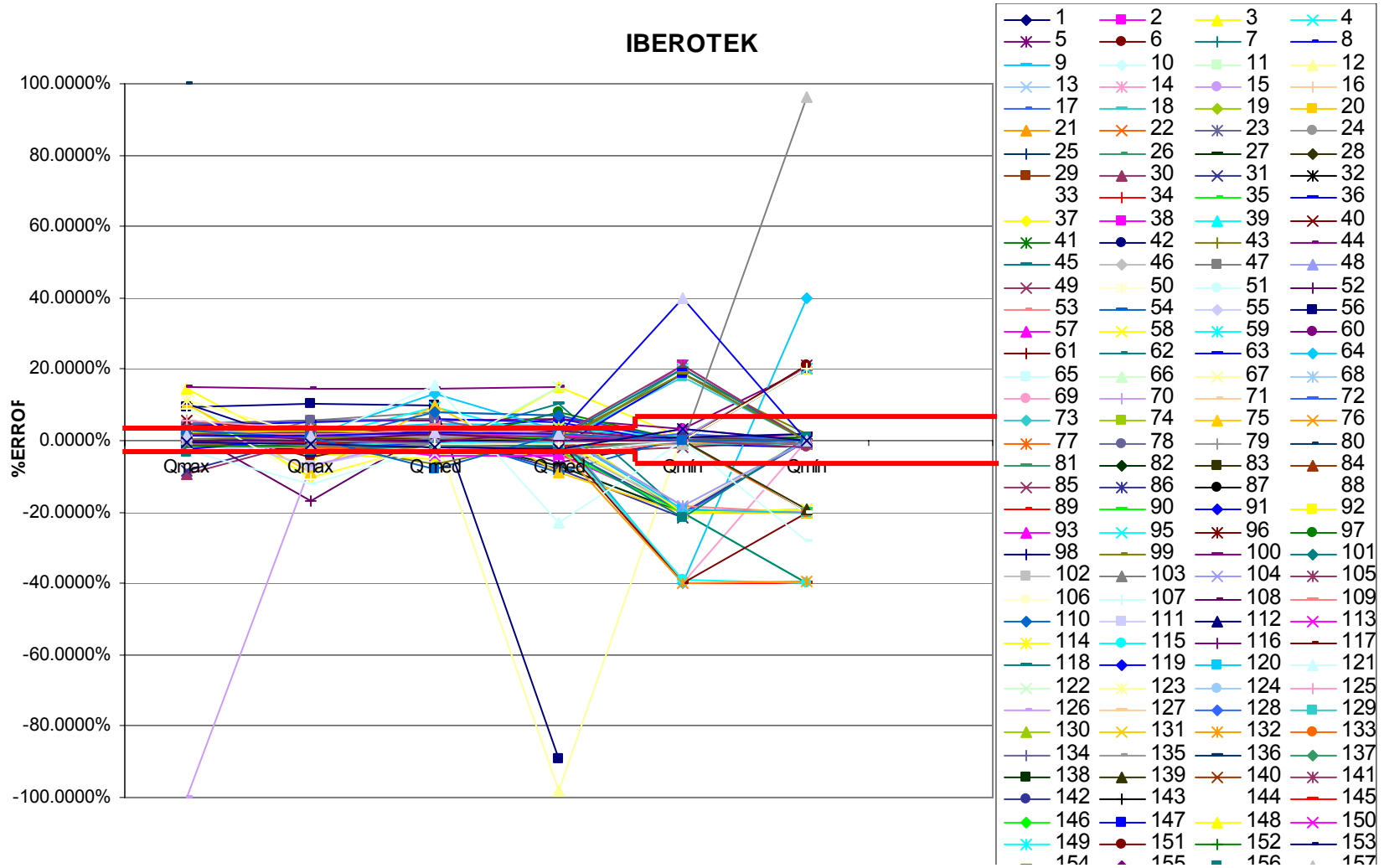


Ilustración 7.16. Resumen de errores en micromedidores marca IBEROTEK

AZTECA

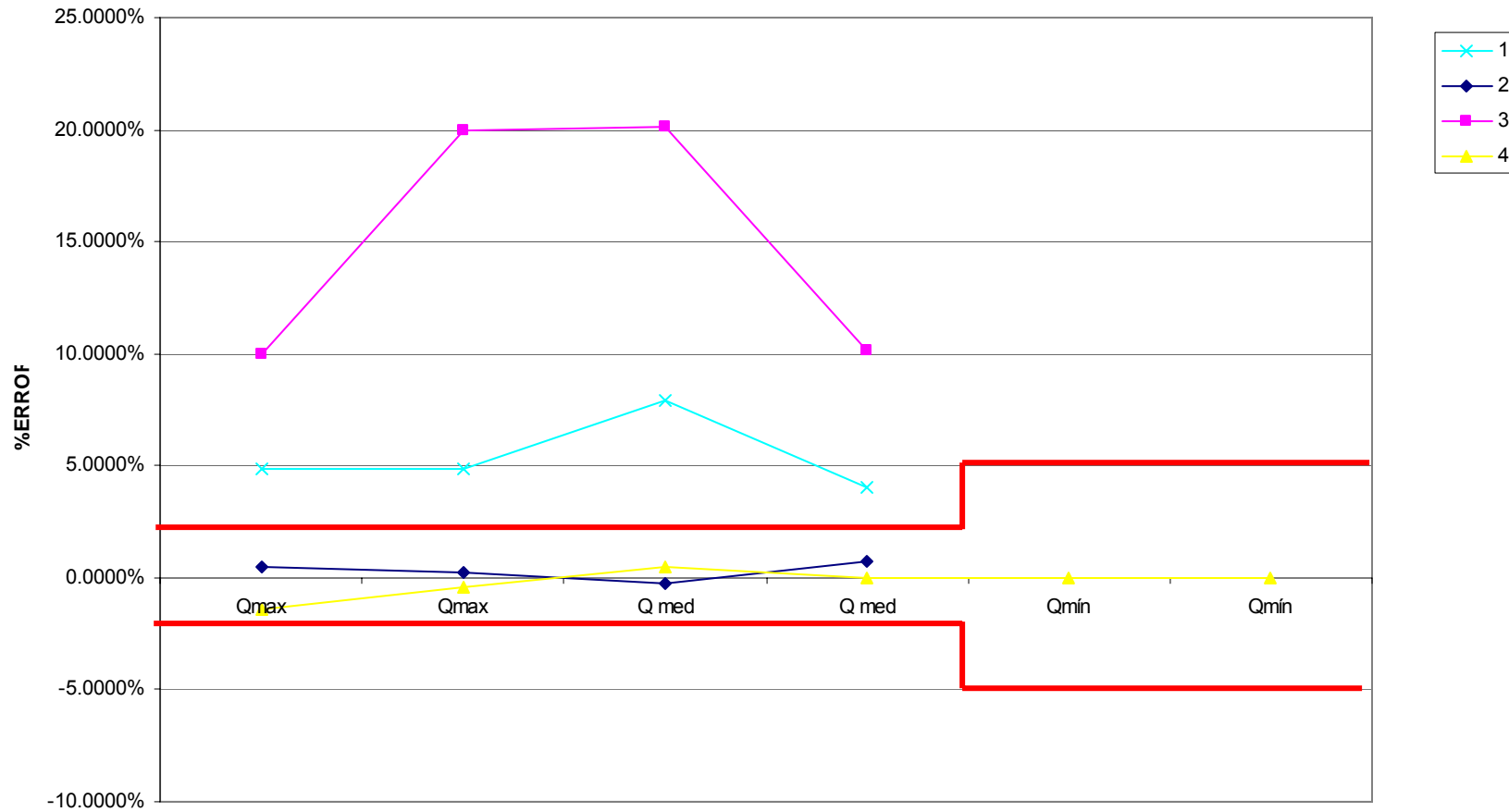


Ilustración 7.17. Resumen de errores en micromedidores marca AZTECA



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3



RECORDALL ZONA 1

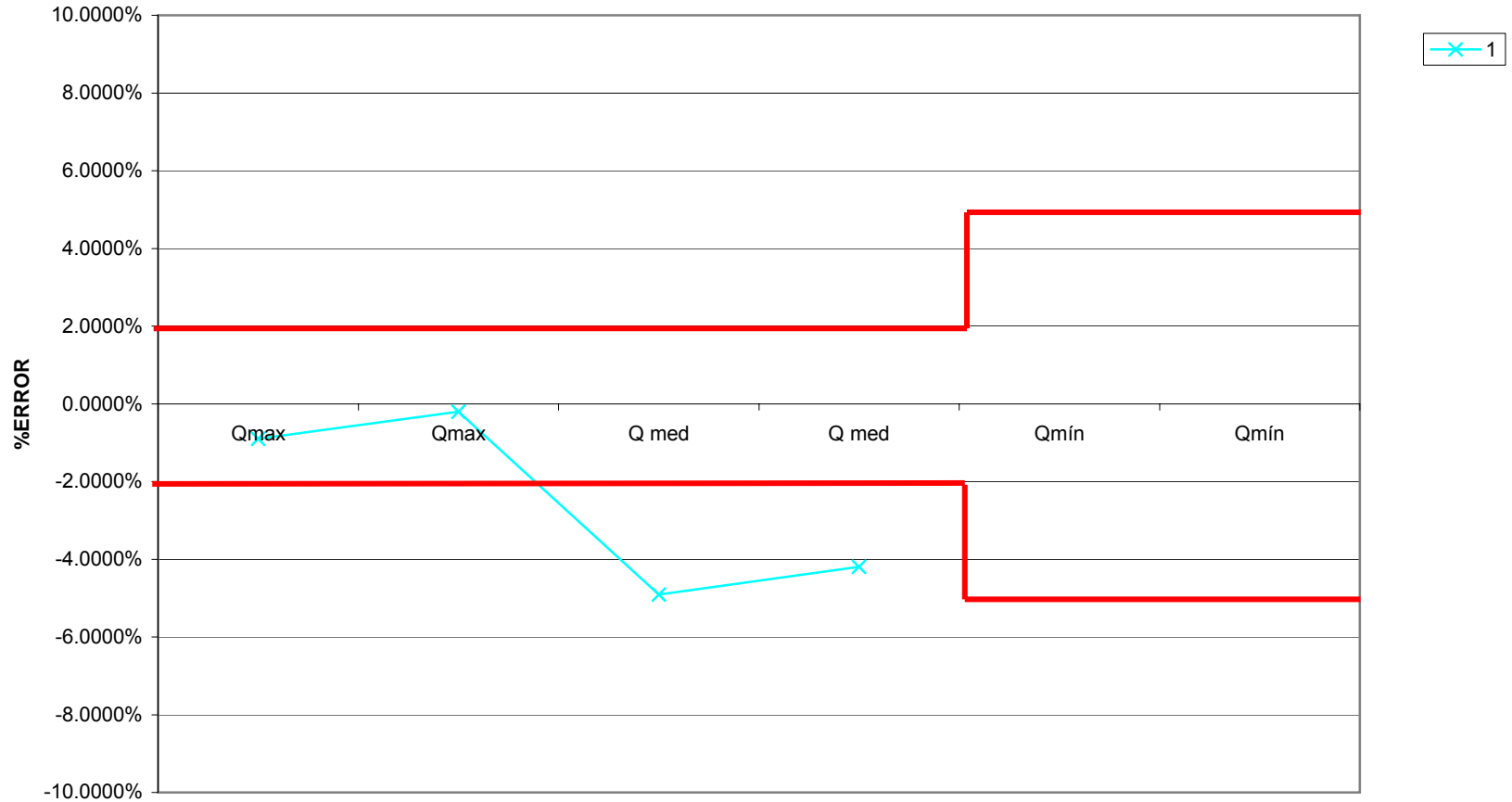


Ilustración 7.18. Resumen de errores en micromedidores marca RECORDALL

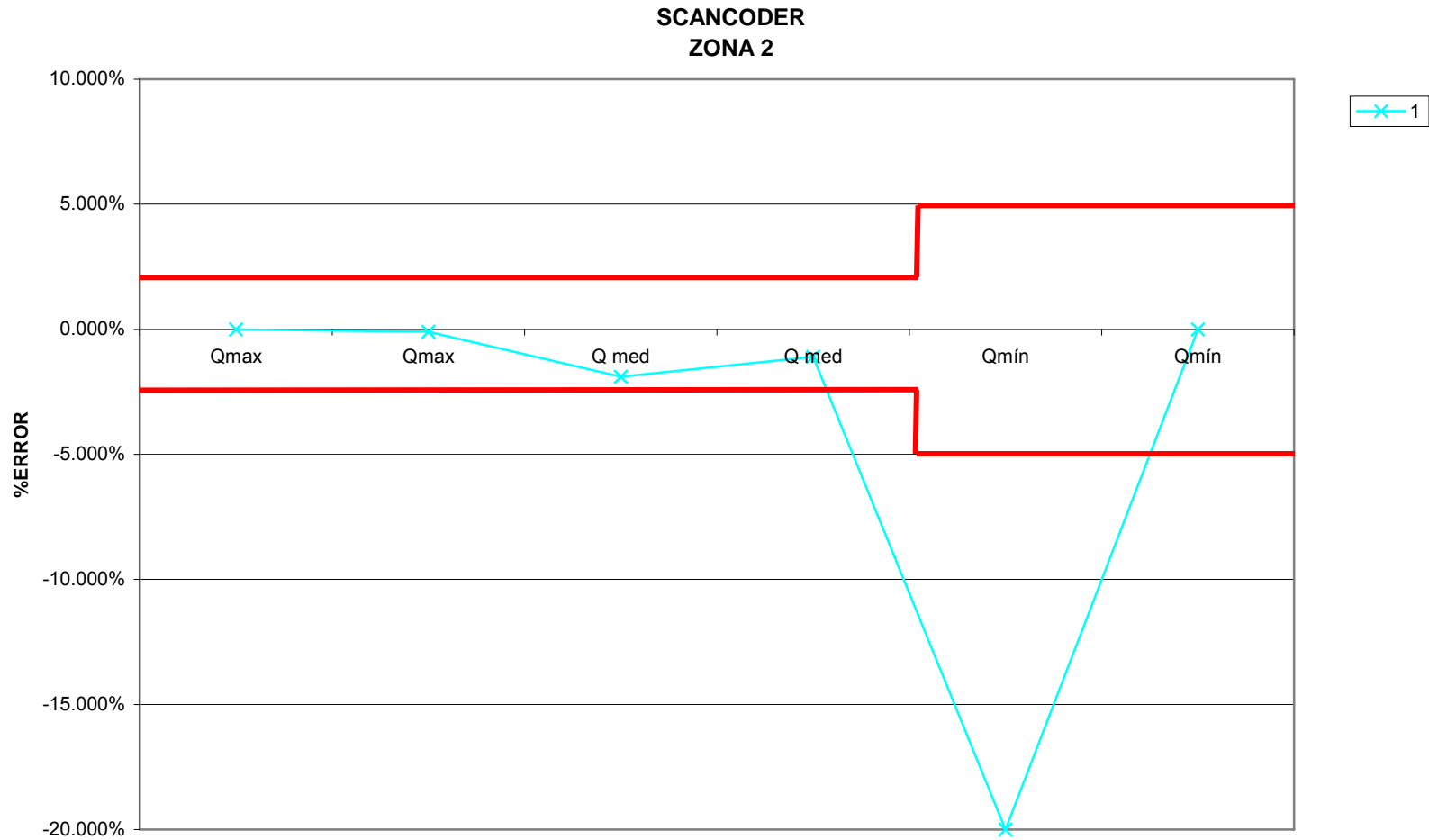


Ilustración 7.19. Resumen de errores en micromedidores marca SCANCODER

En resumen de forma espacial, los micromedidores donde no fue posible realizar las pruebas al 4 por ciento, debido a la deficiencia en la presión hidráulica para efectuar la prueba, se presentan a continuación (color rosa).

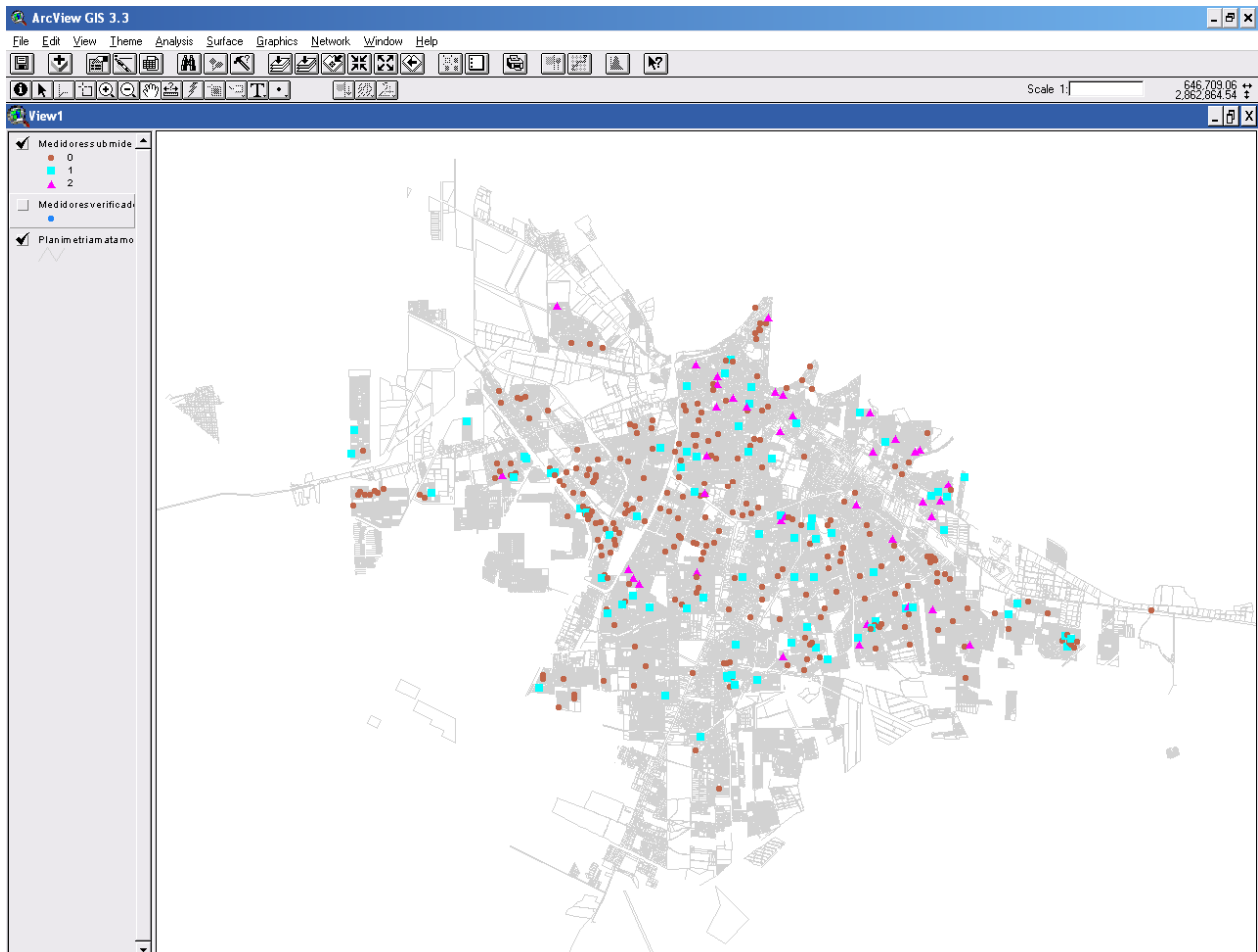


Ilustración 7.20. Ubicación de medidores con submedición y aquellos con omisión de la prueba por problemas hidráulicos.

Los puntos indicados en color azul, corresponde aquellos sitios donde los micromedidores presentaron problemas de submedición, superiores a los establecidos en la normatividad mexicana vigente.

7.3 Conclusiones y observaciones del muestreo en medidores domiciliarios.

Derivado del análisis anterior se puede concluir lo siguiente:

- De acuerdo con la NOM-012-SCFI-1994 se establece que los micromedidores ubicados dentro de la red de distribución de la ciudad de Matamoros, presentan generalmente errores por encima de los límites máximos permisibles en el caudal mínimo.
- Con base en el resumen de errores es posible determinar que los micromedidores de las marcas CICASA, RECORDALL y SCANCODER resultaron mayores deficientes en el rango de caudal.
- Asimismo el promedio global de la muestra de 402 micromedidores presenta un error global en $Q_{mín}$ de -7.40% y -1.52%, lo que se traduce en tres situaciones que inciden directamente en el Organismo Operador: 1) Los micromedidores están sometidos a una operación hidráulica deficiente proveniente de la red de distribución, 2) Mala selección del tipo de micromedidor, 3) Pérdidas en términos de facturación y con ello de cobranza en el departamento comercial, producto de la submedición que presentan los micromedidores.
- Es necesario en el futuro establecer un programa de instalación de micromedidores en lugares donde el Organismo Operador obtenga mayores consumos en términos de facturación. Lo anterior es posible a través del Sistema de Información Geográfica que el personal del IMTA realiza para la Junta de Aguas y Drenaje de Matamoros, Tamaulipas.
- Además de coordinar los esfuerzos de las Gerencias Técnica y Comercial de la JAD en la instalación futura de los micromedidores, y conociendo las deficiencias en el gasto mínimo, es posible subsanar esta situación considerando instalar en el futuro micromedidores con **Clase Metrológica C**.
- El medidor Clase “C” abarca un rango mayor de $q_{mín}$ comparado al Clase “B”. Por ejemplo, si consideramos un caudal similar a los 1500 l/hora ($N \geq 1.5$), la NOM-012-SCFI-1994 establece lo siguiente:

Tabla 7.11. Clasificación de los medidores de acuerdo a los valores de $q_{mín}$ y q_t

Clase	$q_{mín}$		q_t	
	Para $n < 1,5$	Para $n \geq 1,5$	Para $n < 1,5$	Para $n \geq 1,5$
A	0,04N	0,08N	0,10N	0,30N
B	0,02N	0,03N	0,08N	0,20N
C	0,01N	0,006N	0,015N	0,015N

De la tabla anterior se obtiene que, el caudal mínimo ($q_{mín}$) para medidor Clase C ($n \geq 1,5$) será igual a 9 L/hora (0.006×1500). Este valor resulta de un orden de magnitud menor comparado con 45 L/hora (0.03×1500) de aquellos medidores Clase B ($n \geq 1,5$).

Por tanto, en caso de seguir con la política de operación actual en la red de distribución de la ciudad de Matamoros (baja presión) y la promoción de instalación de medidores, se recomienda instalar aquellos con mayor rango en el caudal mínimo, esto es, medidores con clase metrológica “C”. Lo anterior disminuirá la submedición reportada en este estudio por el IMTA.

- Asimismo es necesario incrementar y/o mejorar las condiciones hidráulicas de la red de distribución de agua de la ciudad, a través del mantenimiento preventivo o correctivo en los equipos de bombeo de las plantas de bombeo, con el objetivo de incrementar la presión en el sistema.
- Los tanques 2, 3 y 4 deberán operar de forma eficiente, garantizando una presión constante a la red de distribución, aunado a un programa de definición de sus respectivas áreas de influencia. Esto contribuirá el incremento de los caudales mínimos que se presentan actualmente en los micromedidores de los usuarios.
- Finalmente existen dentro del sistema de la red de distribución, circuitos hidráulicos de tubería principal que no han sido cerrados, razón por la cual es necesaria la inversión y diseño de tuberías de reforzamiento. En el capítulo siguiente se detallará este diseño con base en el modelo de simulación hidráulica abordado previamente en el capítulo uno, del presente documento.

8. EVALUACIÓN DE MACROMEDIDORES EN INDUSTRIAS

Durante el mes de julio se comenzaron los trabajos de medición en medidores ubicados en las instalaciones de 10 usuarios industriales. Las industrias seleccionadas fueron las siguientes:

1. Proteínas Básicas. Primer muestreo
2. Proteínas Básicas. Segundo muestreo
3. Coca Cola – medidor 1
4. Coca Cola – medidor 1b
5. Coca Cola – medidor 2
6. Hotel Holiday Inn
7. Hotel Residencial Best Western
8. Plaza Fiesta Inn
9. Premezclados
10. Stepan

Aún cuando no son 10 usuarios diferentes, la JAD expresó su preferencia de realizar diferentes campañas de monitoreo en ciertas industrias de altos consumos, por encima de tener la posibilidad de elegir otros usuarios industriales de menor consumo.

8.1 Empresa - Proteínas Básicas

De común acuerdo con el personal de Facturación de la JAD, se iniciaron en la industria conocida como “Proteínas Básicas”. Con base en las mediciones de caudal realizadas por el personal del IMTA en la empresa Proteínas Básicas y a la salida de la Planta Potabilizadora, para fines de comprobación en la precisión de registro de los medidores instalados por parte de la empresa y de la Junta de Agua y Drenaje de Matamoros (JAD), se concluye lo siguiente:

- Personal del IMTA instaló dos medidores ultrasónicos a la salida de la Planta Potabilizadora y en la llegada a la empresa conocida como Proteínas Básicas. Por lo tanto, fue posible desarrollar mediciones de carácter simultáneo con fines de comparación.
- Las mediciones de caudal realizadas por el IMTA se efectuaron bajo la supervisión del personal de la JAD y la empresa Proteínas Básicas, a través del Licenciado Isaías Colunga y el Ingeniero Hernán respectivamente.
- La campaña de medición de caudal realizada por el IMTA tuvo una duración de 32 horas aproximadamente. La hora y fecha de inicio fue a las 12:00 horas del medio

día aproximadamente (30 de Julio de 2009) y el término resultó a las 20:00 horas del día siguiente (31 de Julio de 2009) (Ilustración 8.1).

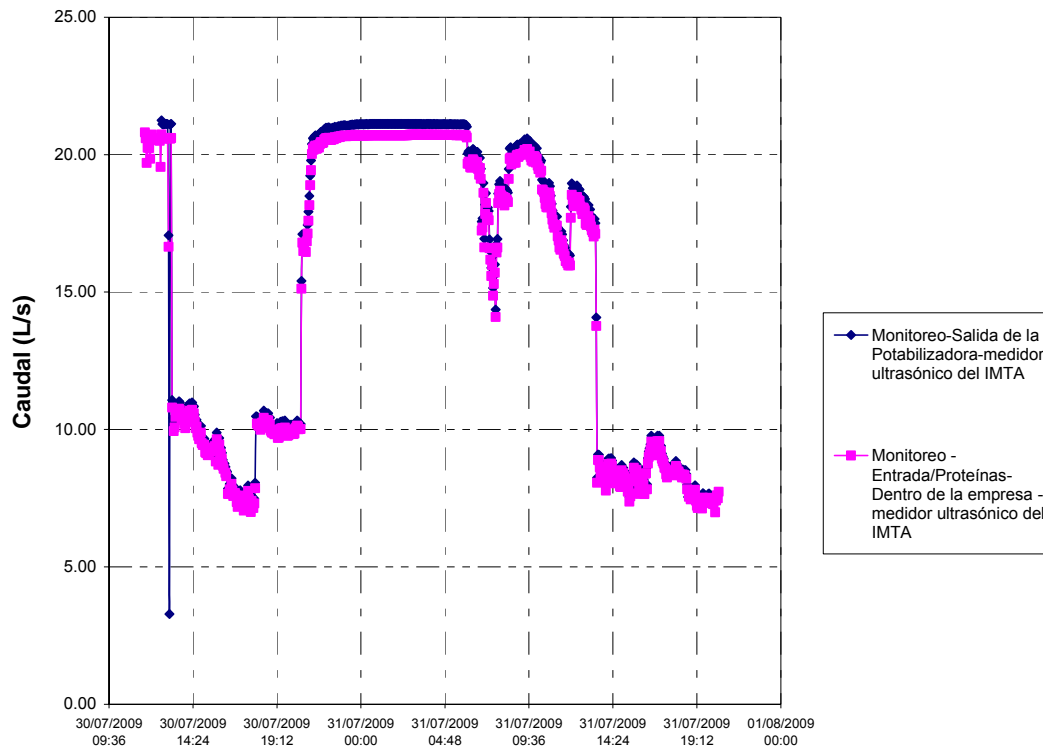


Ilustración 8.1. Evolución del caudal durante la campaña de medición realizada por el personal del IMTA.

- Para efectos de comparación y análisis se extrajo una muestra con 24 horas de duración (de las 32 horas de análisis).
- Los resultados muestran que el volumen acumulado en un día en el medidor ultrasónico instalado por el IMTA a la salida de la planta Potabilizadora, resulta de 1446m³/día (Ilustración 8.2). Por tanto, en caso de realizar una extrapolación al mes, el volumen mensual será de 43380 m³/mes.
- El volumen acumulado en un día en el medidor ultrasónico instalado por el IMTA, a la entrada de la empresa Proteínas Básicas resulta de 1421 m³/día (Ilustración 2). Por tanto, en caso de realizar una extrapolación al mes, el volumen mensual será de 42630 m³/mes.
- El medidor de la JAD por su parte, presentó una lectura inicial de 313116 m³ y una final de 314196 metros cúbicos; lo que conlleva a un volumen acumulado de 1080 metros cúbicos en un día. Por tanto, en caso de realizar una extrapolación al mes, el volumen mensual será de 32,400 m³/mes.

- Finalmente el medidor de la empresa Proteínas Básicas presentó una lectura inicial de 2661910 metros cúbicos y al término de las 24 horas, una lectura final de 2662975 metros cúbicos, lo que conlleva a un volumen acumulado de 1065 metros cúbicos en un día. Por tanto, en caso de realizar una extrapolación al mes, el volumen mensual será de 31950 m³/mes.

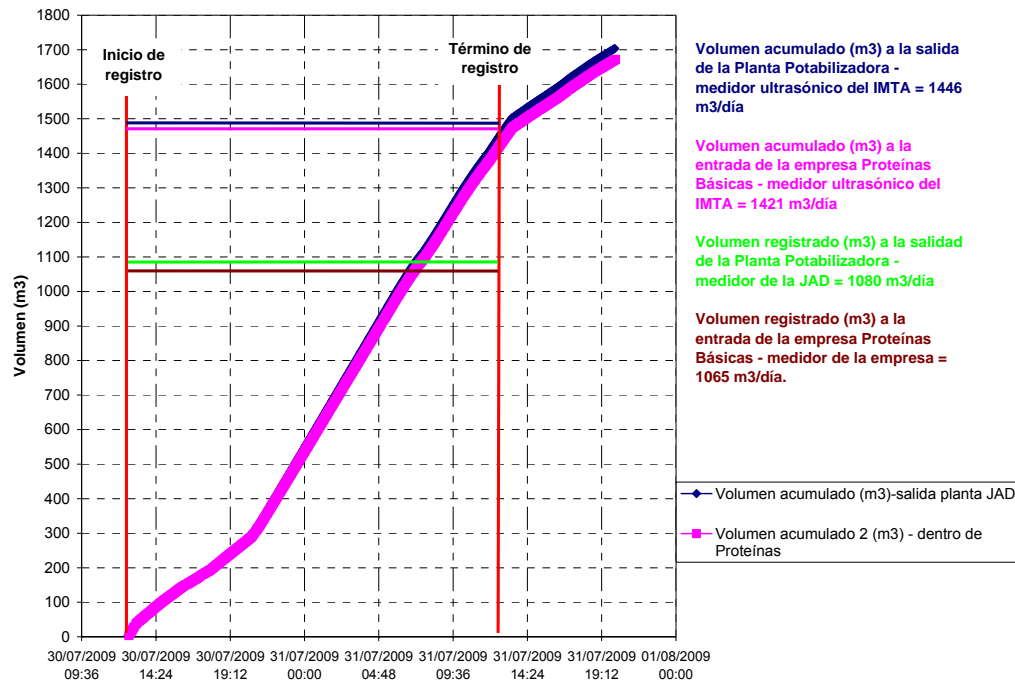


Ilustración 8.2. Comparativa de resultados producto de la medición de caudal registrada por los 4 medidores.

- Considerando la ilustración anterior se tiene que el volumen registrado por los medidores ultrasónicos instalados por el IMTA, presenta una diferencia de 1.72% en un día.
- Asimismo es posible concluir que no se presenta fuga actualmente dentro de la conducción entre la salida de la Planta Potabilizadora y la entrada a la empresa Proteínas Básicas.
- Asimismo en caso de extrapolar estos volúmenes registrados al mes, se tiene que se encuentran un 25% aproximadamente superiores a los registrados por los medidores de la JAD y la empresa Proteínas Básicas.
- La diferencia en términos de volumen acumulado en un día, entre el medidor de la JAD y la empresa Proteínas Básicas resulta de 15 metros cúbicos, esto es 1.38 por ciento.
- Es posible concluir que en todos los casos, la empresa Proteínas Básicas, supera los 30,000 metros cúbicos al mes.

De forma posterior se continuaron los trabajos en las siguientes empresas:

- Best Western
- Stepan
- Premezclados
- Plaza Fiesta
- Holiday Inn

Los resultados en cada uno de ellos se presentan a continuación.

8.2 Empresa - Coca Cola

En la empresa Coca cola se colocaron dos medidores ultrasónicos, sin embargo, la medición del medidor 1 resultó interrumpida por un lapso de 6 horas 51 minutos, por tal motivo, los resultados de éste se analizan por separado (medidor 1 y medidor 1B).

8.2.1 Medidor 1 – empresa Coca Cola

En el medidor 1 de la Coca Cola se evaluó el gasto durante 7.5 horas. Se almacenaron 150 registros, el detalle de los mismos se localizan dentro del anexo 10; la información general obtenida durante la medición se encuentra en la tabla siguiente.

Tabla 8.1. Datos generales correspondientes a la medición en el medidor 1 de la Coca Cola.

FECHA Y HORA DE INICIO DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	FECHA Y HORA FINAL DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	GASTO MÍNIMO REGISTRADO (l/s)	GASTO MÁXIMO REGISTRADO (l/s)	VOLUMEN TOTAL MEDIDO (l)	TIEMPO DE MEDICIÓN (h)
30/07/2009 17:33	31/072009 01:03	7.00006	17.14315	368485.878	7.5

En la Ilustración siguiente se observa la evolución del caudal que presentó la empresa Coca Cola (medidor 1).

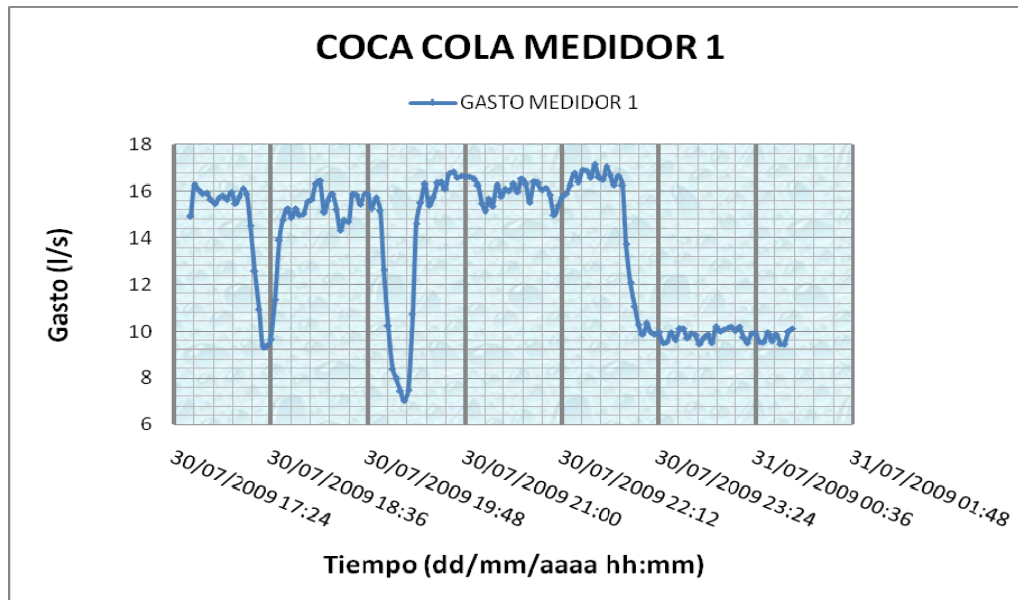


Ilustración 8.3. Comportamiento del gasto registrado en el medidor núm. 1 de la empresa Coca Cola.

Si comparamos los volúmenes medidos por el IMTA y los recopilados por la Junta de Agua y Drenaje de Matamoros, Tamps, a través del Departamento de Facturación, se obtiene lo siguiente:

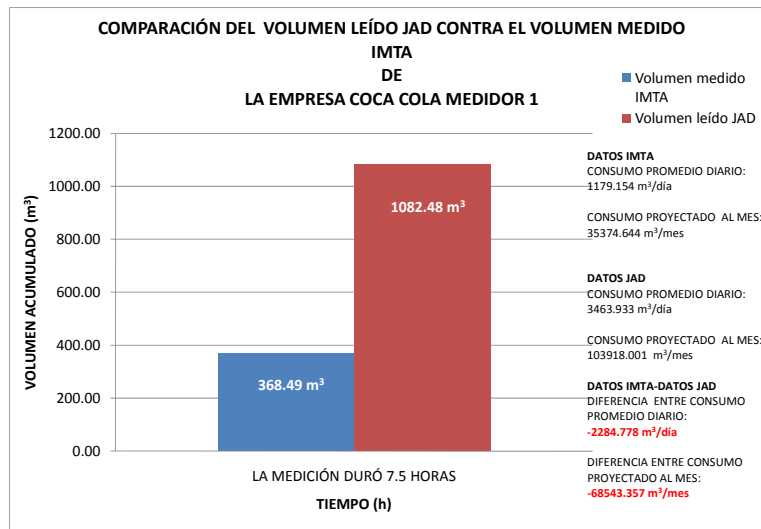


Ilustración 8.4. Comparativa entre volúmenes facturados (leídos) por la JAD y medido por el IMTA.

En la comparativa se refleja que la JAD factura un volumen mayor a lo proyectado a través de las mediciones por el IMTA, con un orden de magnitud de tres veces mayor. Esta situación conlleva a realizar un análisis con mayor detalle y tiempo de duración al efectuar la campaña de medición, debido a la naturaleza de los procesos industriales de la empresa.

8.2.2 Medidor 1B – empresa Coca Cola

En el medidor 1B de empresa Coca Cola, se realizó la medición de caudal con duración de 10.65 horas. Se almacenaron 213 registros, el detalle de los mismos se encuentran en el anexo 10. La información general obtenida durante la medición se encuentra en la tabla siguiente.

Tabla 8.2. Datos generales correspondientes a la medición en el medidor 1B de la Coca Cola

FECHA Y HORA DE INICIO DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	FECHA Y HORA FINAL DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	GASTO MÍNIMO REGISTRADO (l/s)	GASTO MÁXIMO REGISTRADO (l/s)	VOLUMEN TOTAL MEDIDO (l)	TIEMPO DE MEDICIÓN (h)
31/07/2009 07:51	31/07/2009 18:30	7.51651	16.22457	415401.417	10.65

En la ilustración siguiente se observa el comportamiento que presentó el gasto en el medidor 1B de la empresa Coca Cola.

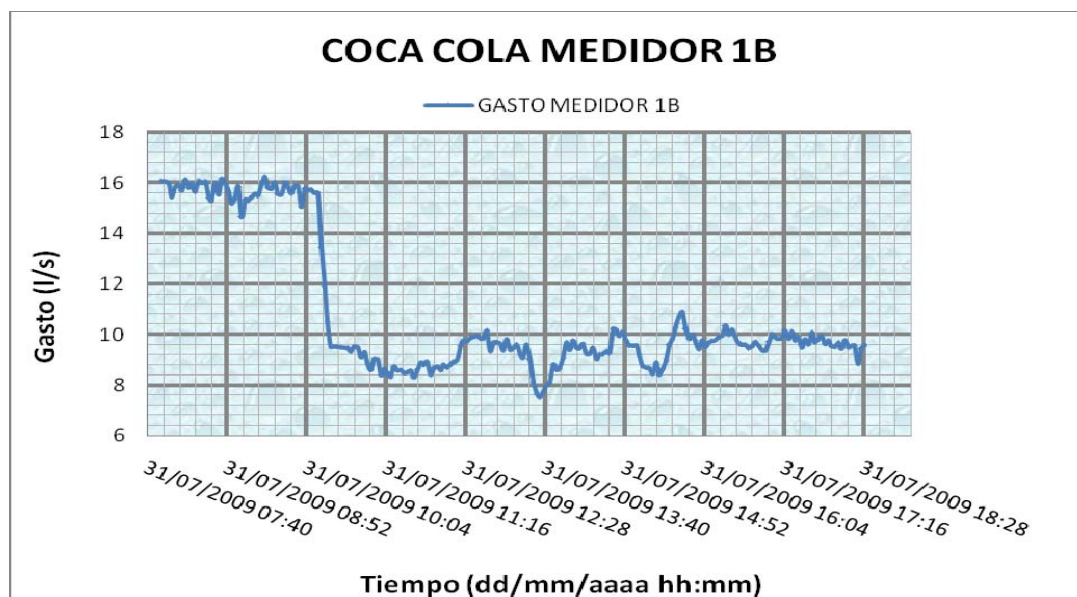


Ilustración 8.5. Comportamiento del gasto registrado por el medidor 1B.

Si comparamos los volúmenes medidos por el IMTA y los recopilados por la Junta de Agua y Drenaje de Matamoros, Tamps, a través del Departamento de Facturación, se obtiene lo siguiente:

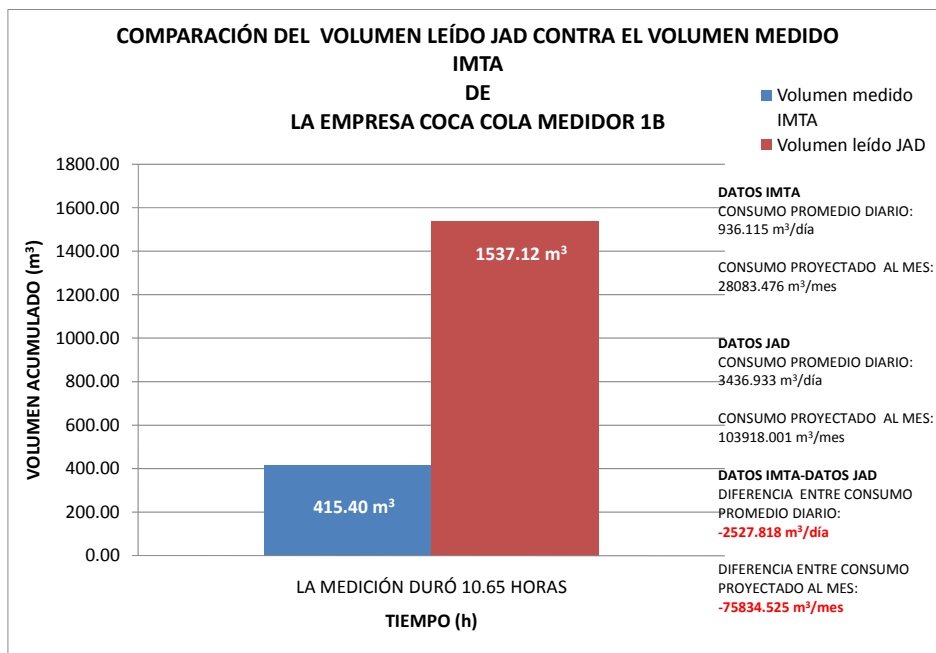


Ilustración 8.6. Comparativa entre volúmenes facturados (leídos) por la JAD y medido por el IMTA.

De igual forma que en el análisis del medidor 1, para este caso, la diferencia se establece de un orden de magnitud entre lo medido por el IMTA y facturado por la JAD, de un orden de magnitud de 370% entre ellos. Esta situación conlleva a reflexionar que la proyección carece de precisión debido a la duración de la medición (10.65 horas).

8.2.3 Medidor 2 – empresa Coca Cola

En el medidor 2 de la Coca Cola se evaluó el gasto durante 24.95 horas. Se almacenaron 499 registros, el detalle de los mismos se localizan dentro del anexo 10 (sección B.3); la información general obtenida durante la medición se encuentra en la tabla siguiente.

Tabla 8.3. Datos generales correspondientes a la medición en el medidor 2 de la Coca Cola.

FECHA Y HORA DE INICIO DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	FECHA Y HORA FINAL DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	GASTO MÍNIMO REGISTRADO (l/s)	GASTO MÁXIMO REGISTRADO (l/s)	VOLUMEN TOTAL MEDIDO (l)	TIEMPO DE MEDICIÓN (h)
30/07/2009 17:33	31/07/2009 18:30	5.498871	13.46485	854354111	24.95

En la ilustración siguiente se observa el comportamiento que presentó el gasto en el medidor 2 de la empresa Coca Cola.

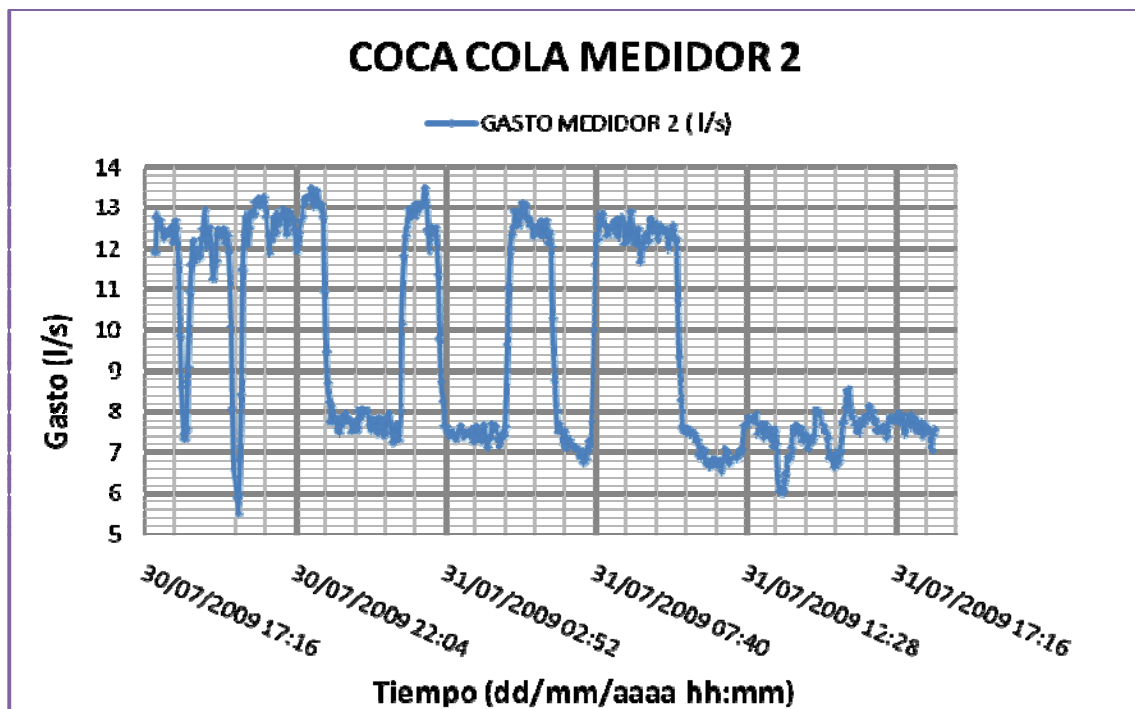


Ilustración 8.7. Comportamiento del gasto registrado por el medidor 2.

Si comparamos los volúmenes medidos por el IMTA y los recopilados por la Junta de Agua y Drenaje de Matamoros, Tamps, a través del Departamento de Facturación, se obtiene lo siguiente:

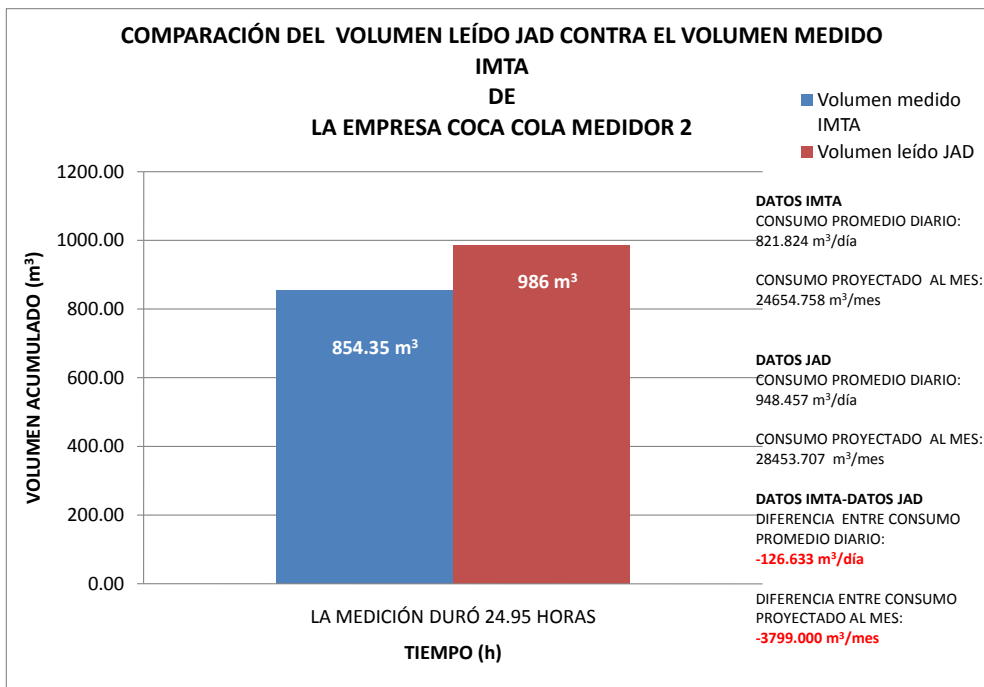


Ilustración 8.8. Comparativa entre volúmenes facturados (leídos) por la JAD y medido por el IMTA.

A través de la comparativa es posible observar, que nuevamente la JAD factura un volumen mayor a lo medido durante la campaña de monitoreo de caudal del IMTA. Asimismo se demuestra que es necesario considerar en el futuro, un tiempo de monitoreo mayor a lo realizado. Esto con el objetivo de establecer con mayor precisión un dictamen técnico. De forma preliminar se determina que la diferencia entre lo facturado por la JAD y lo medido por el IMTA, resulta del 15 por ciento, es decir, la JAD factura un volumen mayor en comparación con las mediciones realizadas por el personal del IMTA.

8.3 Empresa - Hotel Holiday Inn

En el Hotel Holiday Inn se utilizó un medidor que evaluó el gasto durante 43.30 horas. Se almacenaron 866 registros, el detalle de los mismos se localizan dentro del anexo 10 (sección B.4); la información general obtenida durante la medición se encuentra en la tabla siguiente.

Tabla 8.4. Datos generales correspondientes a la medición en el Hotel Holiday Inn.

FECHA Y HORA DE INICIO DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	FECHA Y HORA FINAL DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	GASTO MÍNIMO REGISTRADO (l/s)	GASTO MÁXIMO REGISTRADO (l/s)	VOLUMEN TOTAL MEDIDO (l)	TIEMPO DE MEDICIÓN (h)
20/08/2009 11:36	22/08/2009 06:54	0	8.533	60605.212	43.3

En la ilustración siguiente se muestra el comportamiento del gasto durante 43.30 horas.

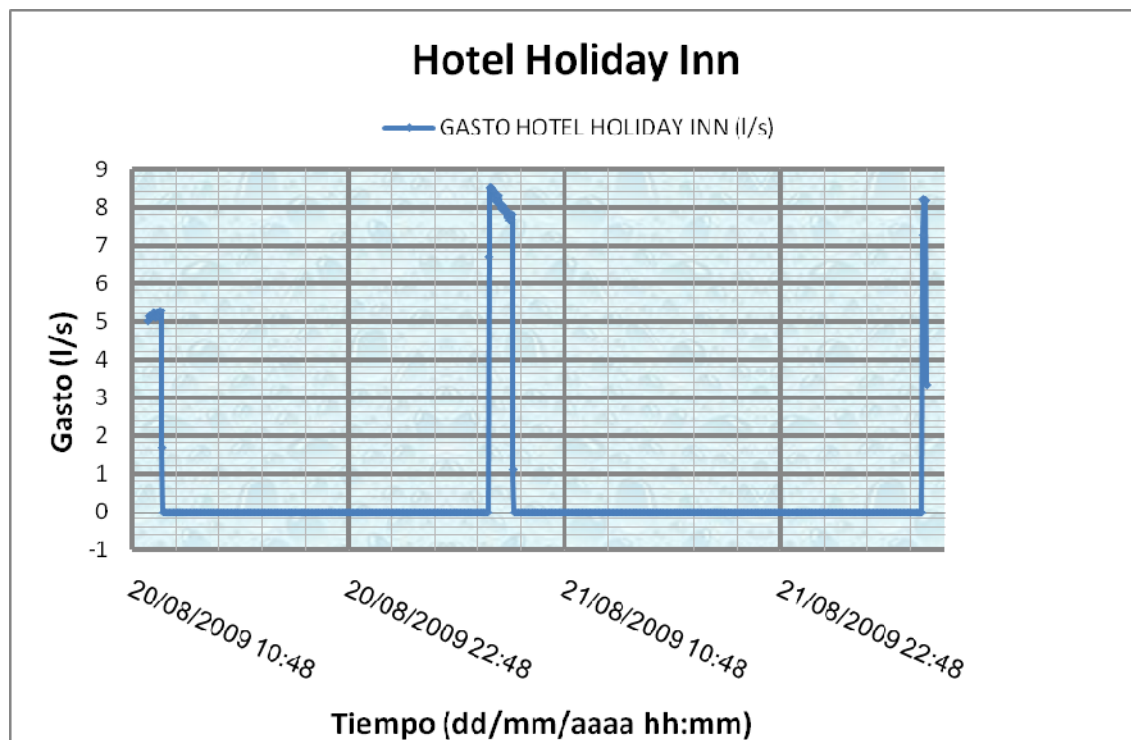


Ilustración 8.9. Comportamiento del gasto registrado en el macromedidor del hotel Hotel Holiday Inn.

Si comparamos los volúmenes medidos por el IMTA y los recopilados por la Junta de Agua y Drenaje de Matamoros, Tamps, a través del Departamento de Facturación, se obtiene lo siguiente:

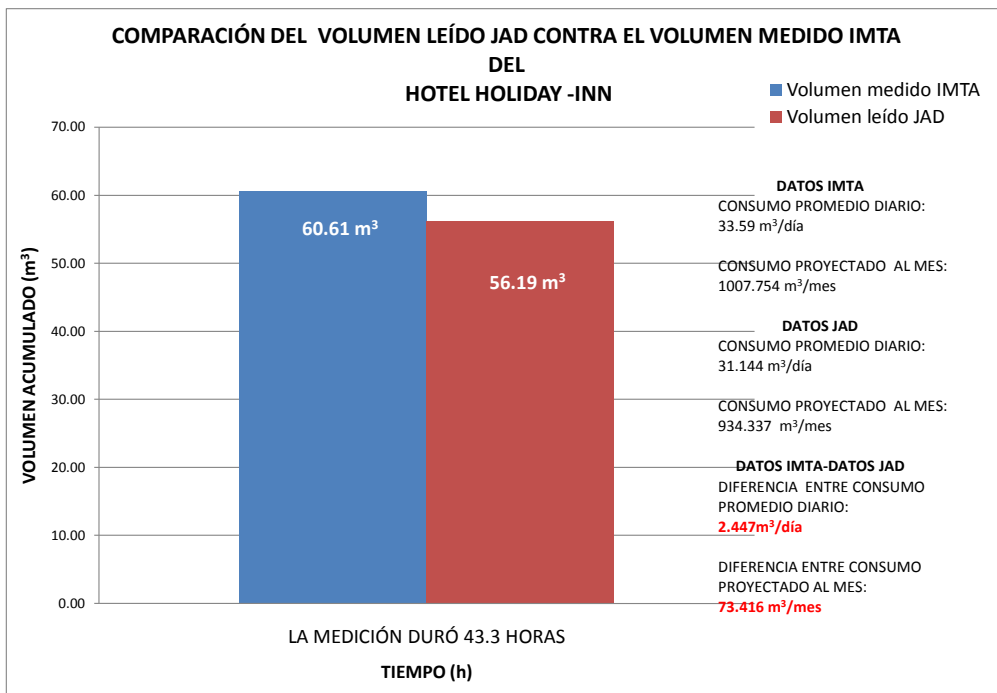


Ilustración 8.10. Comparativa de volúmenes registrados en medidores de la JAD y el IMTA.

Es importante mencionar que el volumen leído corresponde al registro proveniente del macromedidor instalado por la JAD. Por su parte, el volumen leído resulta de la campaña de medición que el personal del IMTA registró durante el monitoreo.

A través de la ilustración anterior es posible determinar que el volumen medido por el IMTA es mayor que el registrado por la JAD. La diferencia en contra para la JAD, resulta de un orden de magnitud de 7.8%; motivo por el cual, se establece que la Gerencia Comercial deberá tomar medidas asumiendo lo encontrado.

Al final de esta sección se mostrará una tabla resumen donde se muestra el resultado producto de la campaña de muestreo realizada por el IMTA. Asimismo, se realiza el análisis correspondiente, con el objetivo de conocer la precisión de los macromedidores instalados en usuarios industriales administrados por la Junta de Aguas y Drenaje de Matamoros.

8.4 Empresa - Hotel Residencial Best Western

En el Hotel Residencial Best Western se utilizó un medidor que evaluó el gasto durante 48.1 horas. Se almacenaron 962 registros, el detalle de éstos se localizan dentro del anexo 10 (sección B.5); la información general obtenida durante la medición se encuentra en la tabla siguiente.

Tabla 8.5. Datos generales correspondientes a la medición en el Hotel Best Western Residencial

FECHA Y HORA DE INICIO DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	FECHA Y HORA FINAL DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	GASTO MÍNIMO REGISTRADO (l/s)	GASTO MÁXIMO REGISTRADO (l/s)	VOLUMEN TOTAL MEDIDO (l)	TIEMPO DE MEDICIÓN (h)
19/08//2009 21:51	21/08/2009 21:57	0	1.73745	130471.722	48.10

El gasto tuvo el comportamiento que se presenta en la ilustración siguiente durante 48.10 horas.

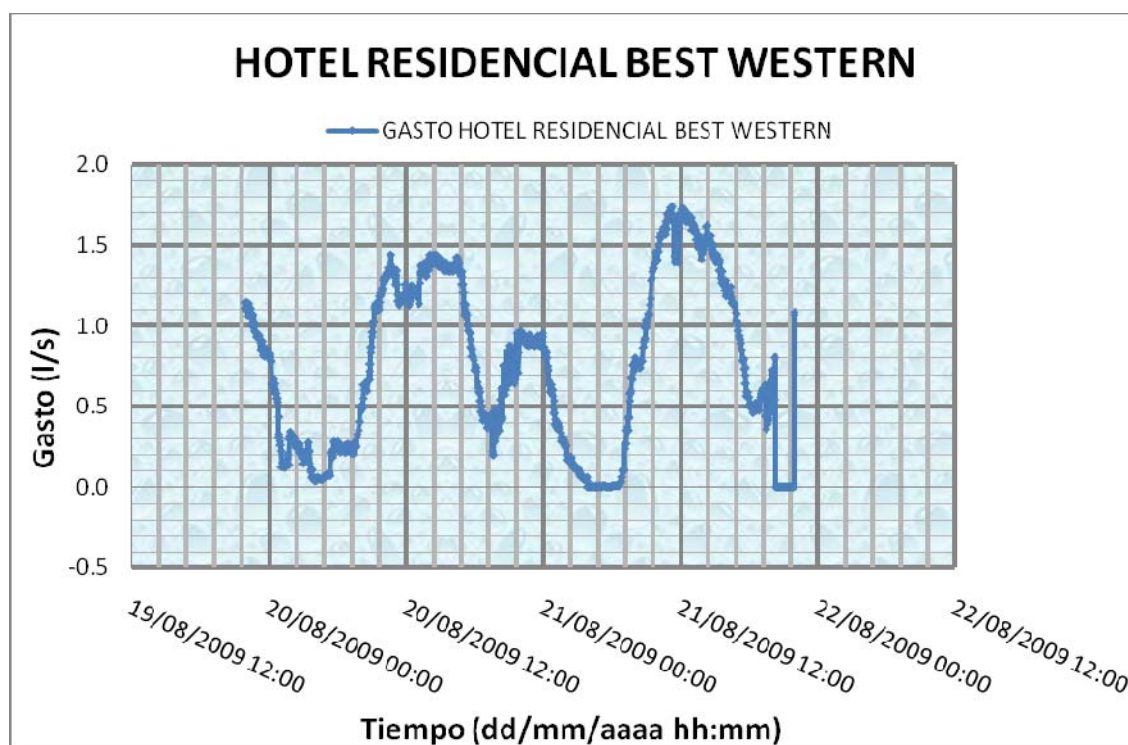


Ilustración 8.11. Comportamiento del gasto registrado en el macromedidor del Hotel Best Western Residencial.

En la ilustración siguiente se compara el gasto medido con las lecturas del medidor instalado en la empresa.

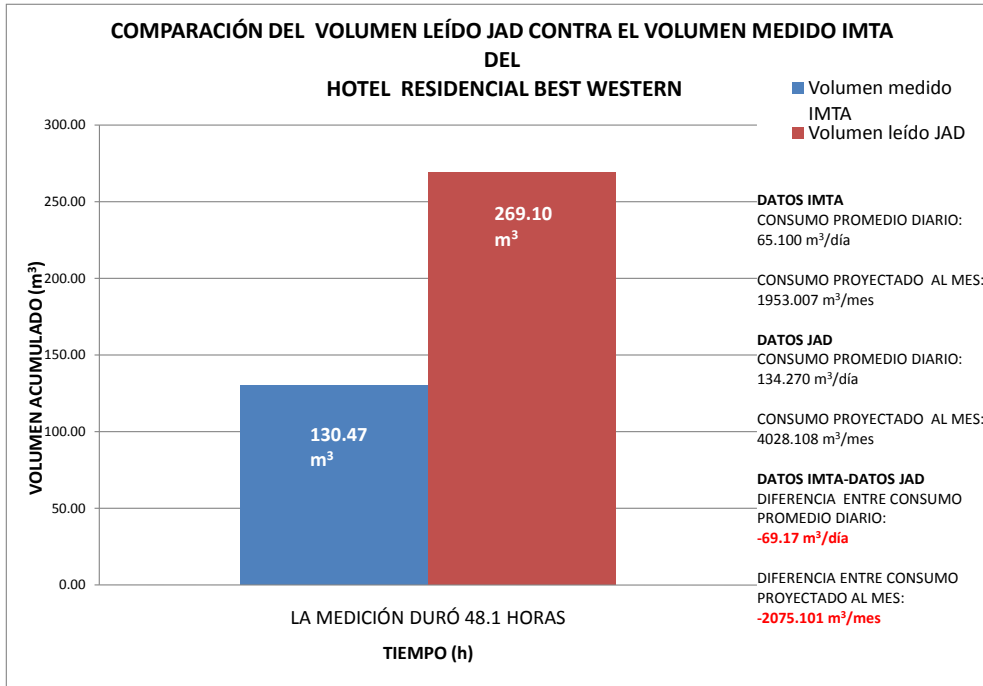


Ilustración 8.12. Comparativa de volúmenes registrados en medidores de la JAD y el IMTA.

Es importante mencionar que el volumen leído corresponde al registro proveniente del macromedidor instalado por la JAD. Por su parte, el volumen leído resulta de la campaña de medición que el personal del IMTA registró durante el monitoreo.

A través de la ilustración anterior, es posible deducir que el volumen facturado por la JAD, resulta de un orden de magnitud mayor con respecto al medido por el IMTA. La diferencia asciende al 200% aproximadamente. Esta situación favorece a la JAD en términos económicos.

8.5 Empresa - Plaza Fiesta

En Plaza Fiesta se utilizó un medidor que evaluó el gasto durante 31.85 horas. Se tomaron 637 mediciones, los datos están en el anexo 10 (sección B.6), la información general obtenida durante la medición se encuentra en la tabla siguiente.

Tabla 8.6. Datos generales correspondientes a la medición Plaza Fiesta

FECHA Y HORA DE INICIO DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	FECHA Y HORA FINAL DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	GASTO MÍNIMO REGISTRADO (l/s)	GASTO MÁXIMO REGISTRADO (l/s)	VOLUMEN TOTAL MEDIDO (l)	TIEMPO DE MEDICIÓN (h)
20/08/2009 15:15	21/08/2009 23:06	0.093873	1.34589	82576.120	31.85

El gasto tuvo el comportamiento que se presenta en la ilustración durante 31.85 horas.

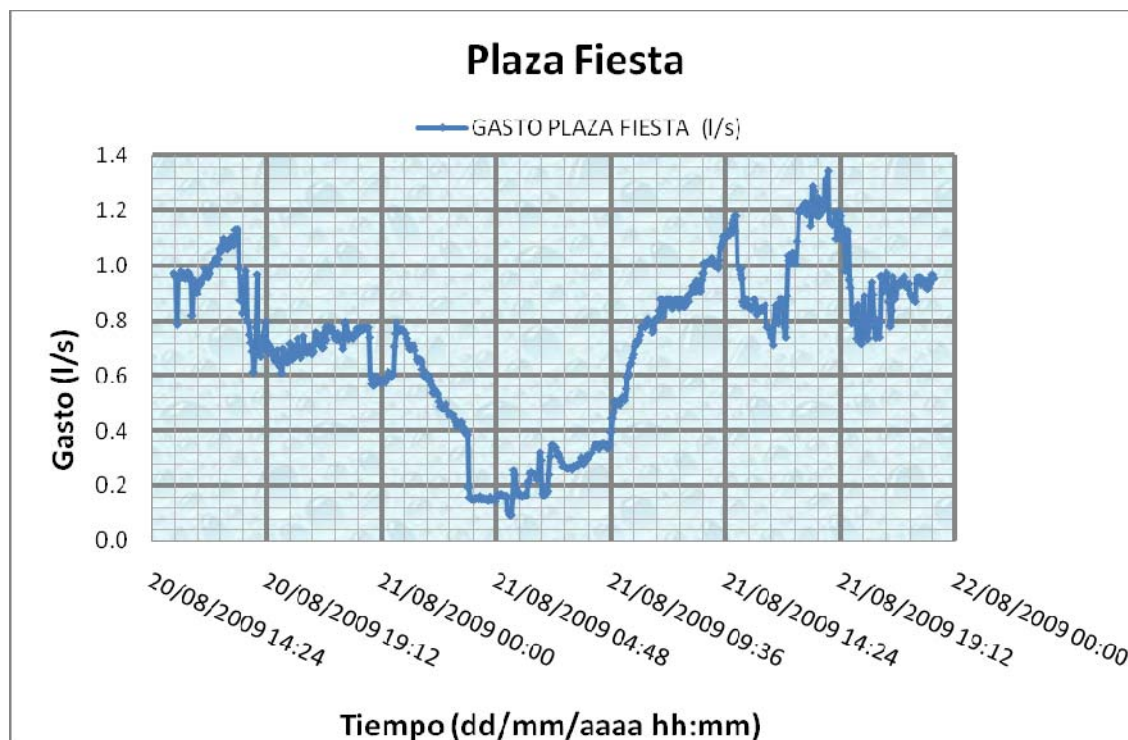


Ilustración 8.13. Comportamiento del gasto registrado en el ducto de Plaza Fiesta.

En la ilustración siguiente se compara el gasto medido con las lecturas del medidor instalado en la empresa.

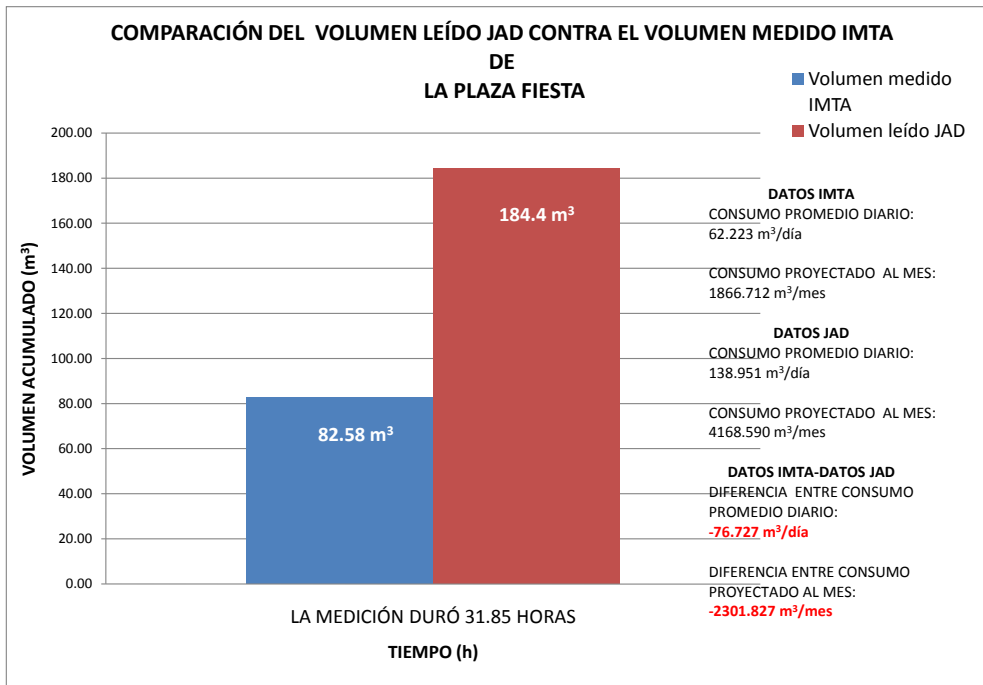


Ilustración 8.14. Comparativa de volúmenes registrados en medidores de la JAD y el IMTA.

Es importante mencionar que el volumen leído corresponde al registro proveniente del macromedidor instalado por la JAD. Por su parte, el volumen leído resulta de la campaña de medición que el personal del IMTA registró durante el monitoreo.

A través de la ilustración anterior, es posible deducir que el volumen facturado por la JAD, resulta de un orden de magnitud mayor con respecto al medido por el IMTA. La diferencia asciende al 223% aproximadamente. Esta situación favorece a la JAD en términos económicos.

8.6 Premezclados

En la empresa Premezclados se utilizó un medidor que evaluó el gasto durante 51.35 horas. Se almacenaron 1027 registros, éstos se incluyen dentro del anexo 10 (B.7). La información general obtenida durante la medición se encuentra en la tabla siguiente.

Tabla 8.7. Datos generales correspondientes a la medición de la empresa Premezclados.

FECHA Y HORA DE INICIO DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	FECHA Y HORA FINAL DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	GASTO MÍNIMO REGISTRADO (l/s)	GASTO MÁXIMO REGISTRADO (l/s)	VOLUMEN TOTAL MEDIDO (l)	TIEMPO DE MEDICIÓN (h)
19/08/2009 19:27	21/08/2009 22:48	0	2.992275	70048.42	51.35

El gasto tuvo el comportamiento que se presenta en la gráfica 13 durante 51.35 horas.

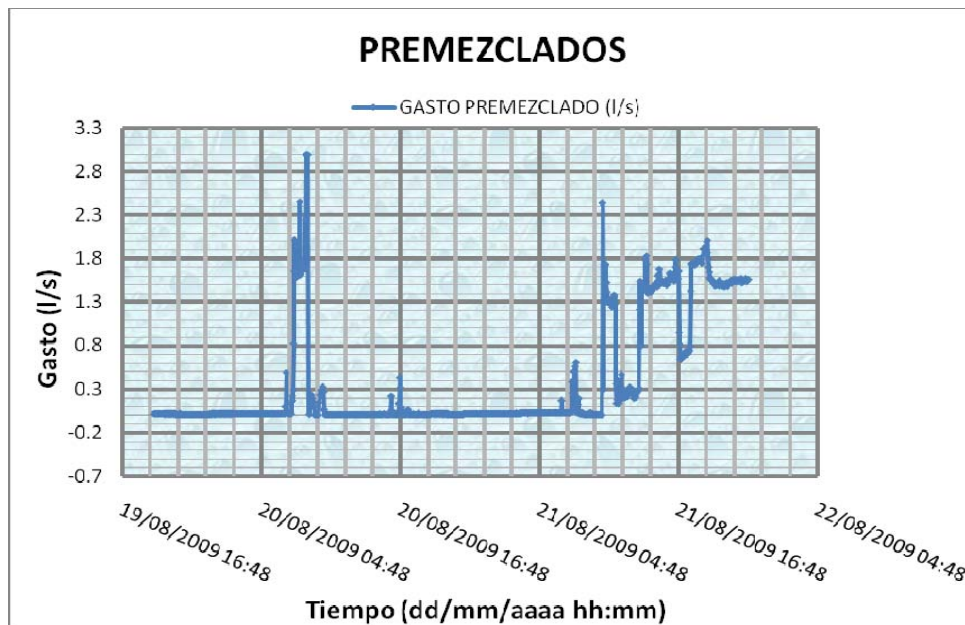


Ilustración 8.15. Comportamiento del gasto registrado en el ducto de Premezclados.

En la ilustración siguiente se compara el gasto medido con las lecturas del medidor instalado en la empresa.

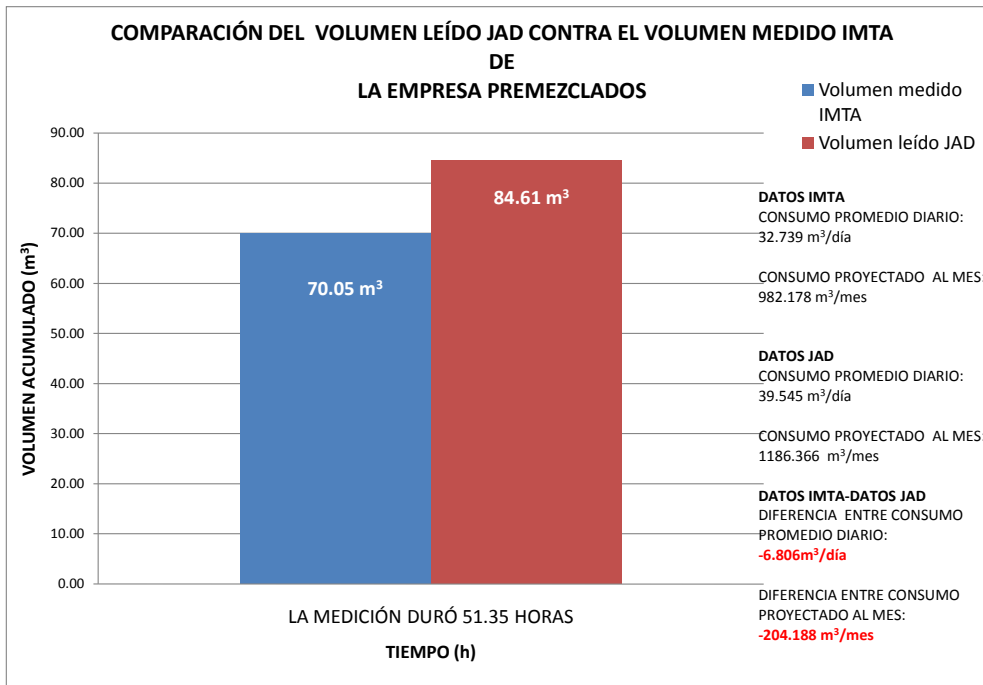


Ilustración 8.16. Volumen total de lectura comparada con el volumen total medido.

Es importante mencionar que el volumen leído corresponde al registro proveniente del macromedidor instalado por la JAD. Por su parte, el volumen leído resulta de la campaña de medición que el personal del IMTA registró durante el monitoreo.

Derivado de la ilustración anterior, es posible inferir que el volumen facturado por la JAD, resulta de un orden de magnitud mayor con respecto al medido por el IMTA. La diferencia asciende al 20% aproximadamente. Esta situación favorece a la JAD en términos económicos.

8.7 Stepan

En la empresa Stepan se utilizó un medidor que evaluó el gasto durante 50 horas. Se almacenaron 1000 registros, éstos se incluyen dentro del anexo 10. La información general obtenida durante la medición se encuentra en la tabla siguiente.

Tabla 8.8. Datos generales correspondientes a la medición de la empresa Stepan.

FECHA Y HORA DE INICIO DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	FECHA Y HORA FINAL DE LA MEDICIÓN (dd / mm / aaaa hh : mm)	GASTO MÍNIMO REGISTRADO (l/s)	GASTO MÁXIMO REGISTRADO (l/s)	VOLUMEN TOTAL MEDIDO (l)	TIEMPO DE MEDICIÓN (h)
19/08/2009 19:24	21/08/2009 21:24	0	34.846690	649391.45	50.00

El gasto tuvo el comportamiento que se presenta en la Ilustración 4.37 durante 50 horas.

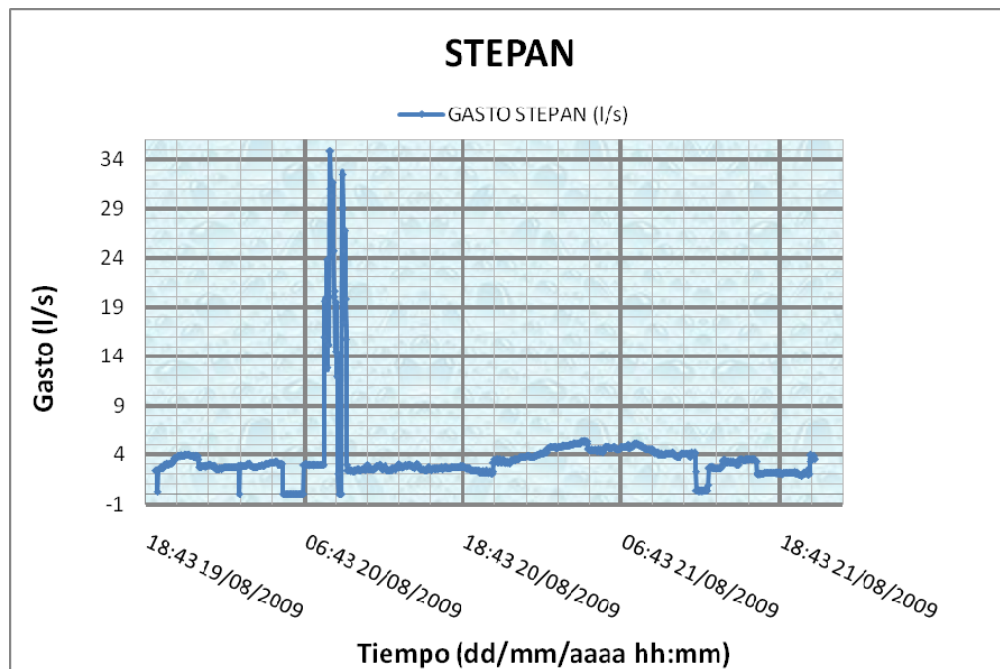


Ilustración 8.17. Comportamiento del gasto registrado en el ducto de la empresa Stepan.

En la ilustración siguiente se compara el gasto medido con las lecturas del medidor instalado en la empresa.

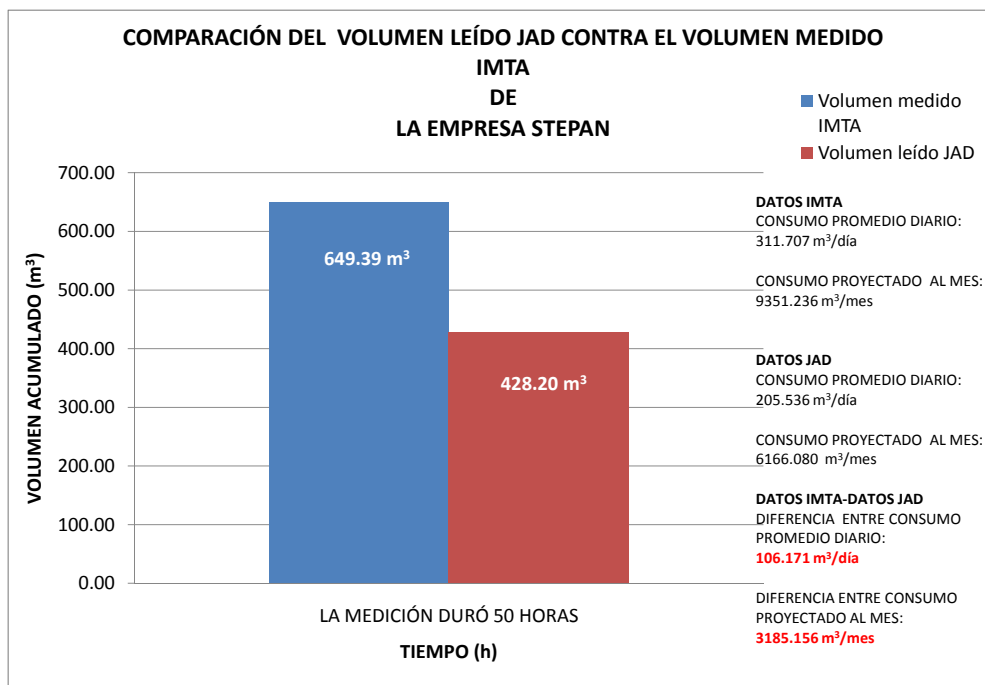


Ilustración 8.18. Volumen total de lectura comparada con el volumen total medido de la empresa Stepan.

Es importante mencionar que el volumen leído corresponde al registro proveniente del macromedidor instalado por la JAD. Por su parte, el volumen leído resulta de la campaña de medición que el personal del IMTA registró durante el monitoreo.

Derivado de la ilustración anterior, es posible inferir que el volumen facturado por la JAD, resulta de un orden de magnitud mayor con respecto al medido por el IMTA. La diferencia asciende al 35% aproximadamente. Esta situación desfavorece a la JAD en términos económicos.

8.8 Resumen general

De la información anterior se ve que el comportamiento de consumo varía de una empresa a otra, esto depende del giro de la empresa y de la forma de consumo. Además el consumo de las empresas no sigue un patrón de consumo común, incluso cuando las mediciones son de la misma empresa y se evalúan por más de un día. Esto nos lleva a concluir que el consumo de una empresa varía día a día, por tal motivo el consumo de un día no debe tomarse como referencia para extrapolar el consumo semanal, mensual o anual. Sin embargo, es evidente que dos empresas registran un volumen menor al facturado por la JAD: Holiday Inn y Stepan. Por esta razón, requieren de una medición con mayor duración



CONVENIO NO. HC-0947.3



con el objetivo de precisar el volumen que la JAD deja de facturar y por tal motivo representa una pérdida económica.

En la Tabla 8.9 se presentan los datos de mayor importancia en las mediciones.



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3



Tabla 8.9. Resumen de los datos medidos en cada una de la empresas

Industria	Fecha y hora de inicio (dd/mm/aaaa) hh:mm	Fecha y hora final (dd/mm/aaaa) hh:mm	Volumen total medido (m ³)	Gasto promedio (l/s)	Tiempo total (h)	Volumen día 1 (l)	Volumen día 2 (l)	Lectura del medidor inicial (m ³)	Lectura del medidor final (m ³)	Volumen total de Lectura (m ³)	Diferencia de volumen medio-volumen leído (m ³)	Variación de volumen respecto a medidor ultrasónico (%)	Condición para la JAD
Coca Cola Medidor 1	30/07/2009 17:33	31/07/2009 01:03	368.49	13.648	7.50	0.00	0.00						
Coca Cola Medidor 1b	31/07/2009 07:51	31/07/2009 18:30	415.40	10.835	10.65	0.00	0.00						
Coca Cola Medidor 2	30/07/2009 17:33	31/07/2009 18:30	854.35	9.512	24.95	828361.39	0.00						
Hotel-Holiday-Inn	20/08/2009 11:36	22/08/2009 06:54	60.61	0.389	43.30	54284.62	0.00	43089.47	43145.66	56.19	-4.42	-7.29%	CONTRA
Hotel-Residencial-Best-Western	19/08/2009 21:51	21/08/2009 21:57	130.47	0.753	48.10	64932.68	65151.94	40991.9	41261.00	269.10	138.63	106.25%	FAVOR
Plaza Fiesta-Inn	20/08/2009 15:15	21/08/2009 23:06	82.58	0.720	31.85	55460.08	0.00	109887	110071.40	184.40	101.82	123.31%	FAVOR
Premezclados	19/08/2009 19:27	21/08/2009 22:48	70.05	0.379	51.35	10716.59	40898.18	23066.39	23151.00	84.61	14.56	20.79%	FAVOR
Proteínas Básicas 1										0.00	0.00		
Proteínas Básicas 2										0.00	0.00		
Stepan	19/08/2009 19:24	21/08/2009 21:24	649.39	3.608	50.00	320219.37	311890.87	64277.60	64705.80	428.20	-221.19	-34.06%	CONTRA

9. EVALUACIÓN DE UN DISTRITO HIDROMÉTRICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN (CIUDAD INDUSTRIAL).

En forma conjunta con la Gerencia Técnica de la Junta de Aguas y Drenaje de Matamoros (JAD), se seleccionó a la zona conocida como Ciudad Industrial, para llevar a cabo los trabajos de evaluación de un distrito hidrométrico de la red de distribución.

Los aspectos que definieron esta selección se deben a lo siguiente:

- Aislamiento natural de la Ciudad Industrial debido a la ubicación espacial que presenta.
- Diferencias notables entre el volumen facturado y el volumen suministrado (producido), obteniendo valores de eficiencia física y comercial de un orden de magnitud bajo.
- La Ciudad Industrial aloja como su nombre lo indica, únicamente grandes usuarios y por ende consumidores de agua.
- Facilidad en los trabajos de campo como: Detección de fugas, incorporación de sonda con cámara dentro de las tuberías debido a la ubicación de hidrantes, identificación de padrón de usuarios, medición de caudal y presión, entre otros.

9.1 Ubicación y número de usuarios

La Ciudad Industrial se ubica al oriente de la ciudad de Matamoros, en dirección hacia la playa Bagdad. El número de usuarios que integra este distrito asciende a 90 usuarios, clasificados de tipo industrial de acuerdo con el departamento de Facturación de la JAD. En el anexo 7 se muestra la relación detallada de los usuarios que se encuentran dentro de la ciudad Industrial, asimismo se expone un histórico de los consumos de cada uno de los usuarios.



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3



Ilustración 9.1. Usuarios que componen el distrito hidrométrico conocido como Ciudad Industrial, Matamoros, Tamps.

9.2 Trabajos de campo

9.2.1 Detección de fugas

Durante el mes Junio se iniciaron los trabajos de detección de fugas en la ciudad Industrial. En los recorridos se determinaron solamente tres casos de usuarios clandestinos. Actualmente en forma conjunta con el departamento comercial se verifica su estado en la base de datos. Es importante mencionar que se detectaron

9.2.2 Medición de caudal

La ciudad industrial actualmente se abastece del sitio conocido como Planta Paquete número dos. Durante el mes de julio se iniciaron los trabajos de medición de caudal, seleccionando dos puntos con el personal de la JAD; los sitios se ubican a la salida de la Planta Paquete número dos sobre la línea de 12 pulgadas del lado Oriente y a la llegada de la estación de bombeo que distribuye hacia la Playa Bagdad y las colonias Fuentes Industriales, Fuentes del Valle, Fraccionamiento Los Cedros, entre otras.



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3



Instituto Mexicano de
Tecnología del Agua

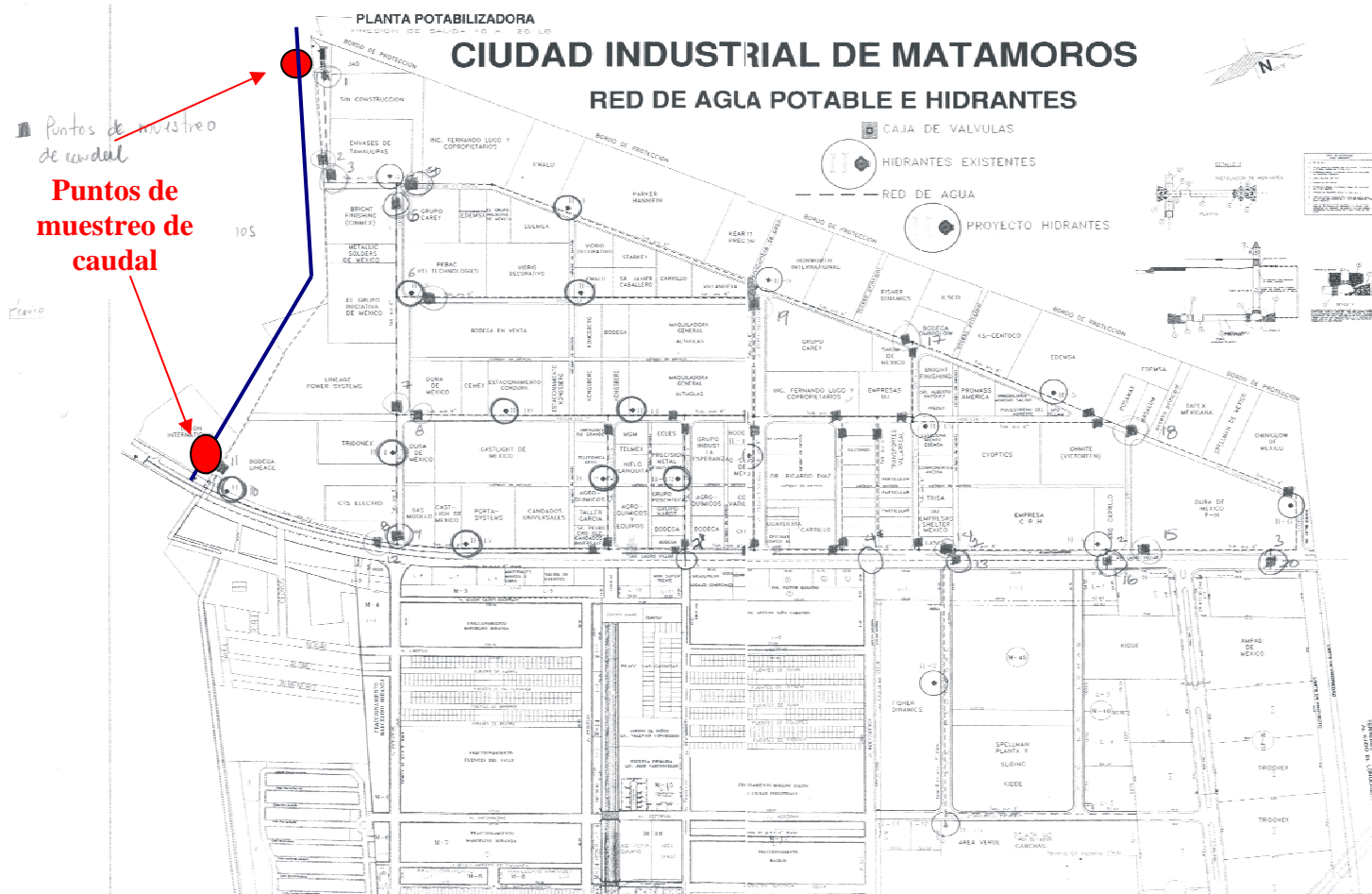


Ilustración 9.2. Ubicación espacial de los puntos de medición de caudal

Los resultados producto de la medición en campo, se muestran a la ilustración siguiente.

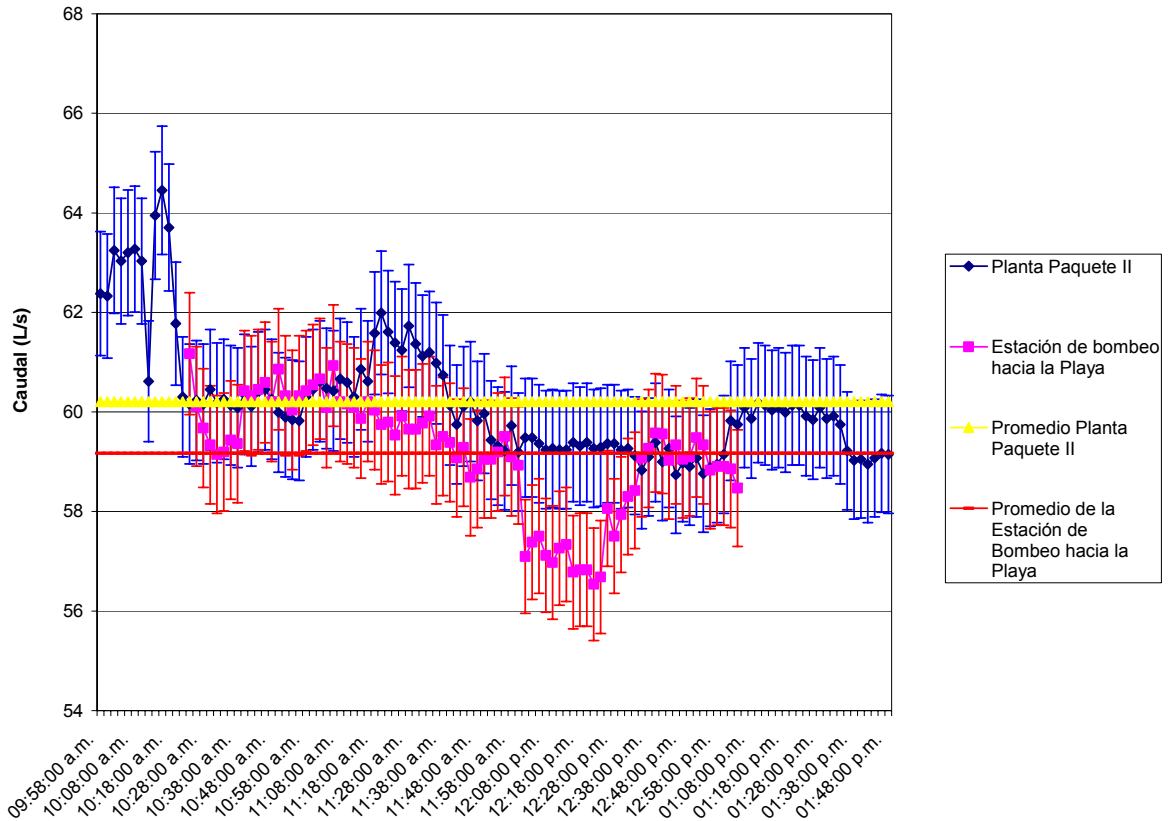


Ilustración 9.3. Evolución de caudal sobre los puntos monitoreados (Planta Paquete dos – Estación de Bombeo)

El caudal promedio medido a la salida de la Planta Paquete número dos, sobre la línea de 12 pulgadas del lado oriente, es 60.20 litros por segundo. Por su parte, sobre la misma línea pero a la llegada de la estación de Bombeo, se reporta un gasto promedio de 59.16 litros por segundo. La diferencia promedio resulta de 1 litro por segundo aproximadamente.

Es notorio observar en la ilustración anterior, que se presentan algunas diferencias máximas de caudal entre las dos series medidas, de un orden de magnitud cercano a 2.7 litros por segundo; esta situación obliga la realización de un análisis con mayor detalle el cual promueve las siguientes situaciones:

- En la ilustración se introducen barras verticales, éstas indican el error de la medición reportada por el medidor ultrasónico marca THERMO Polysonics; para este caso el error máximo en este equipo calibrado es, 2 por ciento.

- Derivado de lo anterior, el orden de magnitud del error en la medición de caudal asciende 1.2 litros por segundo.
- Si consideramos en forma conjunta las dos situaciones descritas anteriormente, el único intervalo en el cual se presenta evidencia de algún consumo, se reporta entre 12:16 p.m. y 12:24 p.m.; esta situación es posible aseverarla debido a la diferencia de caudal que presentan las dos series medidas, incluso al trasponer el error máximo de medición de 2%, en cada una de ellas.

Con base en el análisis anterior, se expresan los registros en forma volumétrica a través del tiempo, ver ilustración siguiente.

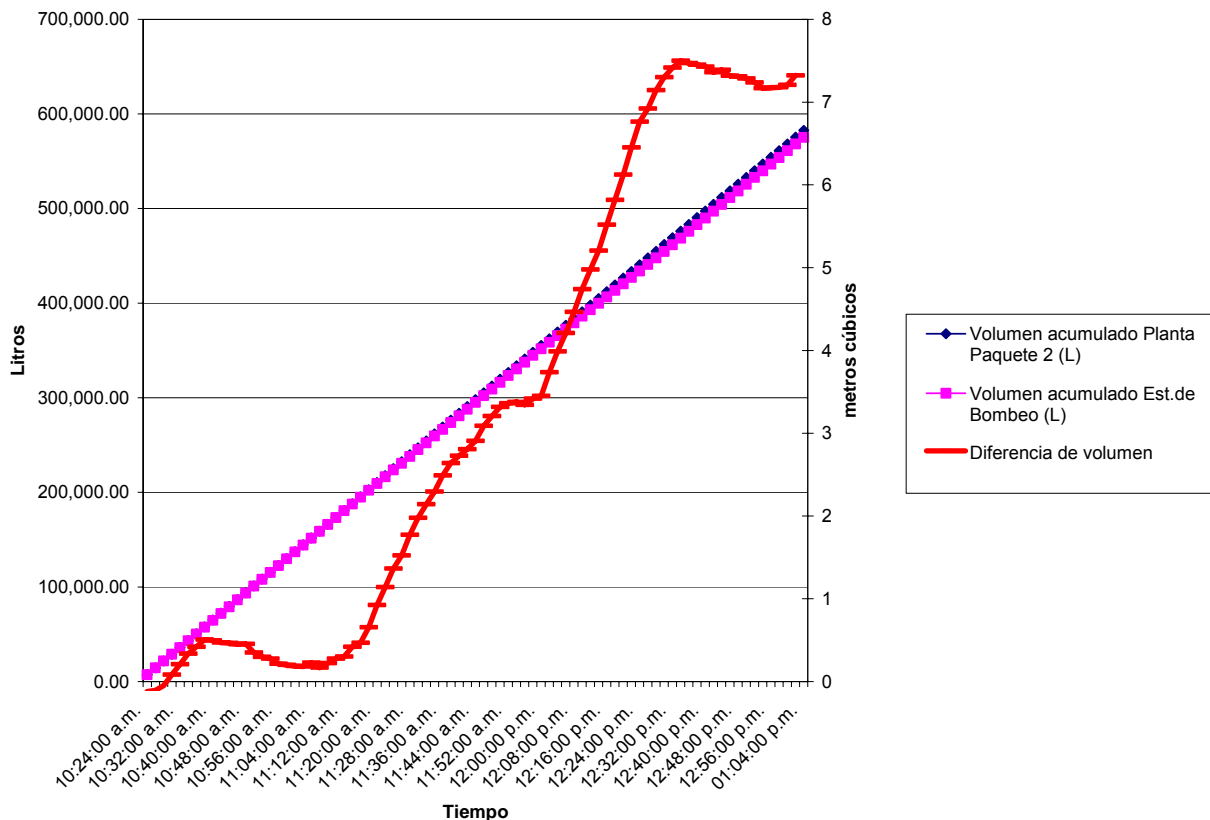


Ilustración 9.4. Relación de volumen acumulado a través del tiempo.

En la ilustración anterior podemos identificar lo siguiente:

- El volumen acumulado a través del tiempo en el sitio ubicado a la salida de la Planta Paquete número dos, resulta de 582.57 metros cúbicos durante 2 horas 40 minutos.
- Por su parte el volumen registrado y acumulado a la llegada de la Estación de Bombeo hacia La Playa fue de 575.09 metros cúbicos en el mismo periodo.

- Considerando ambos registros y efectuando la diferencia obtenemos un volumen de 7.47 metros cúbicos, equivalentes a 0.77 litros por segundo si lo dividimos en el periodo mencionado (2 horas con 40 minutos).
- Con base en el caudal promedio (60.20 L/s) y el diámetro de 10 pulgadas, se tiene una velocidad en el tubo analizado de 1.18 m/s.
- Por lo tanto si tomamos en cuenta la velocidad anterior, obtendremos que la diferencia en volumen y caudal corresponde a una toma domiciliaria de una pulgada aproximadamente.
- De forma concluyente será necesaria la consulta al departamento de Facturación para conocer si existen registros de tomas domiciliarias en el lugar.

9.2.3 Balance de Agua – Parque Industrial

Asimismo se continuaron los trabajos de medición de caudal simultánea, en la línea de 10” de PVC, que suministra agua al Parque Industrial proveniente de la Planta Paquete número dos. Es importante mencionar que de común acuerdo, la Junta de Aguas y Drenaje de Matamoros y el IMTA, coincidieron en ubicar nueve puntos de muestreo de caudal, dentro de la zona Industrial.

Durante el mes de octubre se realizaron las mediciones de caudal en los nueve puntos acordados previamente. En los puntos de muestreo #4 y #7, fue necesario el apoyo de un trascabo para efectuar trabajos de excavación y limpieza de la zona, con el objetivo de adecuar el sitio para llevar a cabo la medición de caudal con equipos ultrasónicos.



Ilustración 9.5. Medición de caudal en campo empleando equipos ultrasónicos (Punto de muestreo #7)

Cabe recordar que la sumatoria de los consumos industriales obtenidos a partir de la Facturación que registra la Gerencia Comercial de la JAD se encuentra entre 9 y 14 litros por segundo (ver Ilustración 9.6). Por tal motivo, se le solicitó al IMTA esclarecer esta situación e identificar con detalle, la distribución del caudal dentro del Parque Industrial.

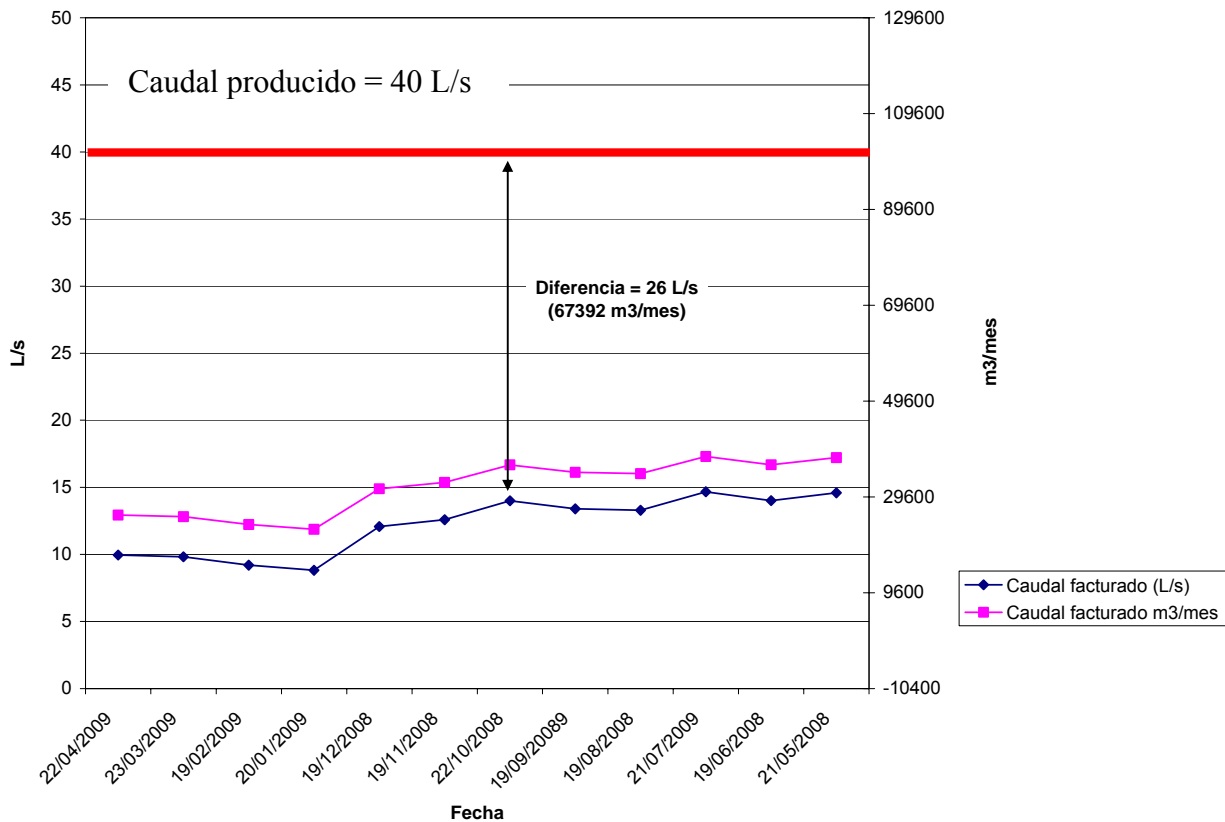


Ilustración 9.6. Caudal suministrado vs Caudal Facturado, Gerencias Comercial y Técnica de la JAD, 2009.

Los resultados producto de las mediciones de caudal simultáneas, establecen lo siguiente:

- En los puntos de muestreo #1 y #2 ubicados en el inicio del suministro de agua al sector Industrial, se obtuvieron caudales promedio de 20 y 23 Litros por segundo (ver Ilustración 9.7 e Ilustración 9.8) . Por tal motivo, consideremos para fines del balance hidráulico del distrito, el caudal de suministro de 43 Litros por segundo.
- Posteriormente se continuaron los trabajos de instalación de equipos ultrasónicos. El punto de muestreo #8 fue el tercero. El caudal promedio obtenido asciende a 8.8 litros por segundo. Este punto se ubica sobre la Avenida Pedro Hinojosa y la empresa Bosworth International.
- Sobre la avenida Pedro Hinojosa se ubicó el punto de muestreo #10. El caudal promedio registrado resulta de 9.2 litros por segundo.

El punto de muestreo #5 ubicado sobre la Avenida Lauro Villar (rumbo a la playa), fue el cuarto en cuanto a la instalación de equipos ultrasónicos. Este punto es de relevancia dado que es el punto más alejado al suministro de caudal al distrito. Este punto localizado enfrente de los terrenos de la empresa DURA de México P-III, presentó un caudal



CONVENIO NO. HC-0947.3



promedio de 3.8 litros por segundo. Con ello se observa que los 23 L/s iniciales medidos en el punto de muestreo # 1, se reducen a 3.8L/s, es decir, las empresas conectadas en el trayecto (Diagonal Lorenzo de la Garza) consumen aproximadamente, 19.2 L/s.



JUNTA DE AGUAS Y DRENAJE
de la Ciudad de Matamoros

CONVENIO NO. HC-0947.3

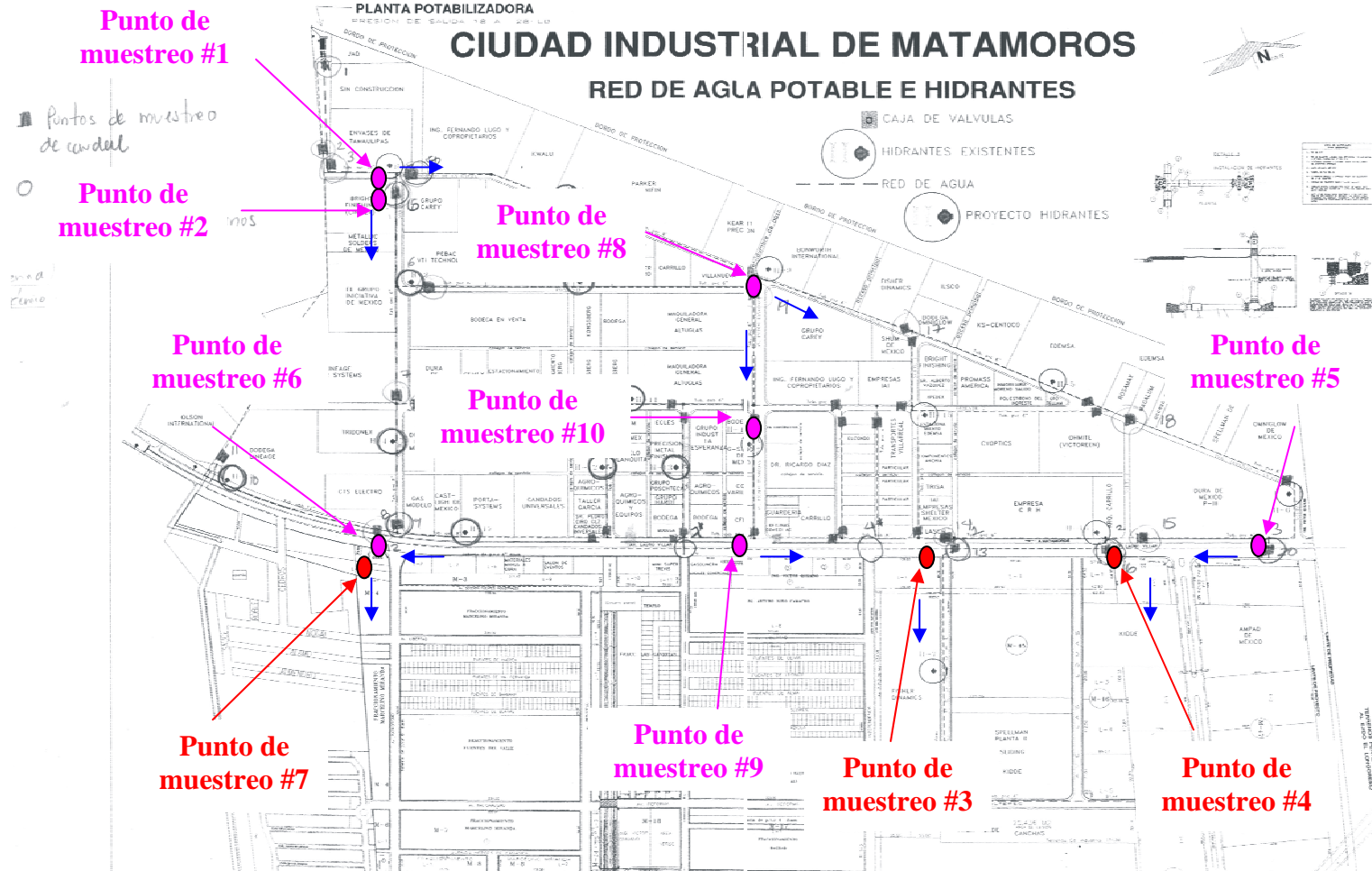


Ilustración 9.7. Ubicación espacial de los puntos de medición donde sale el caudal de la red

- El punto #9 fue seleccionado debido a la hipótesis de ser un punto de equilibrio. Esta situación fue comprobada al obtener un caudal promedio de únicamente, 0.90 L/s. Es de relevancia mencionar que en este punto, el sentido del flujo cambia continuamente debido al orden de magnitud del caudal.
- Finalmente el punto de muestreo # 6 ubicado sobre la Avenida Lauro Villar, fue trascendental su medición dado que el caudal promedio resultante asciende a 20 Litros por segundo. Esta situación obliga a medir en los tres puntos que cruzan transversalmente la Avenida Lauro Villar.

Los tres puntos de muestreo que se localizan sobre la acera de la Avenida Lauro Villar, en dirección hacia la Playa, son: Puntos de muestreo #7, 3 y 4.

Por tal motivo, en caso de obtener un caudal en los puntos de muestreo mencionados con anterioridad (#7, #3., #4), se esclarece y diluye la hipótesis que el distrito conocido como Parque Industrial, consume los 43 litros por segundo producto de la suma de los caudales medidos sobre los puntos de muestreo # 1 y #2.

Los resultados de la medición de caudal en los puntos de muestreo #7, #3 y #4 son:

- El caudal promedio registrado en el punto de muestreo #7 asciende a 18 litros por segundo. Esto afianza la teoría del robo inexistente y la ubicación de un gran número de tomas clandestinas de origen industrial.
- Lo anterior establece que la tubería de 6 pulgadas que se ubica en el punto de muestreo # 7, abastece a los Fraccionamientos Fuentes del Valle, Marcelino Miranda, entre otros ubicados en la zona. Tales fraccionamientos son tomas de tipo doméstico.
- En el punto de muestreo # 3, se presenta una situación análoga al punto #7. Se tiene un caudal medido de 2.50 L/s. Ello representa un caudal que suministra a los almacenes de empresas como Fisher Dynamics, Spellman Planta II y Áreas Verdes ubicadas sobre la Avenida Chapultepec (al fondo del Parque).
- Finalmente sobre el punto #4 (a un costado del OXXO), se obtuvo un caudal promedio de 2.50 L/s; ello se traduce en caudal que se traslada hacia las empresas Ampad de México y Tridonex.

9.3 Conclusiones

Considerando el desglose anterior en la evaluación y medición sobre el Parque Industrial, podemos concluir lo siguiente:

1. La sumatoria del caudal en los puntos de muestreo #7, #3 y #4 (fuera del Parque Industrial) asciende a 23 litros por segundo. Recordar que la producción o suministro medido en el distrito Industrial, resulta de 43 litros por segundo.

2. Al comparar el caudal suministrado y la sumatoria de gasto en los puntos de muestreo #7, #3 y #4, resulta una diferencia de 20 Litros por segundo.
3. Ello significa que el caudal consumido por el Parque Industrial incluido fugas son 20 litros por segundo. Ello difiere únicamente en 5 litros por segundo aproximadamente al compararse con el caudal facturado por el Departamento de Facturación de la JAD.
4. Por lo que es evidente, que el 41% del caudal suministrado al Parque Industrial es enviado a los Fraccionamientos Las Gaviotas, Fuentes del Valle, Moreno, Marcelino Miranda, Bagdad, entre otros.

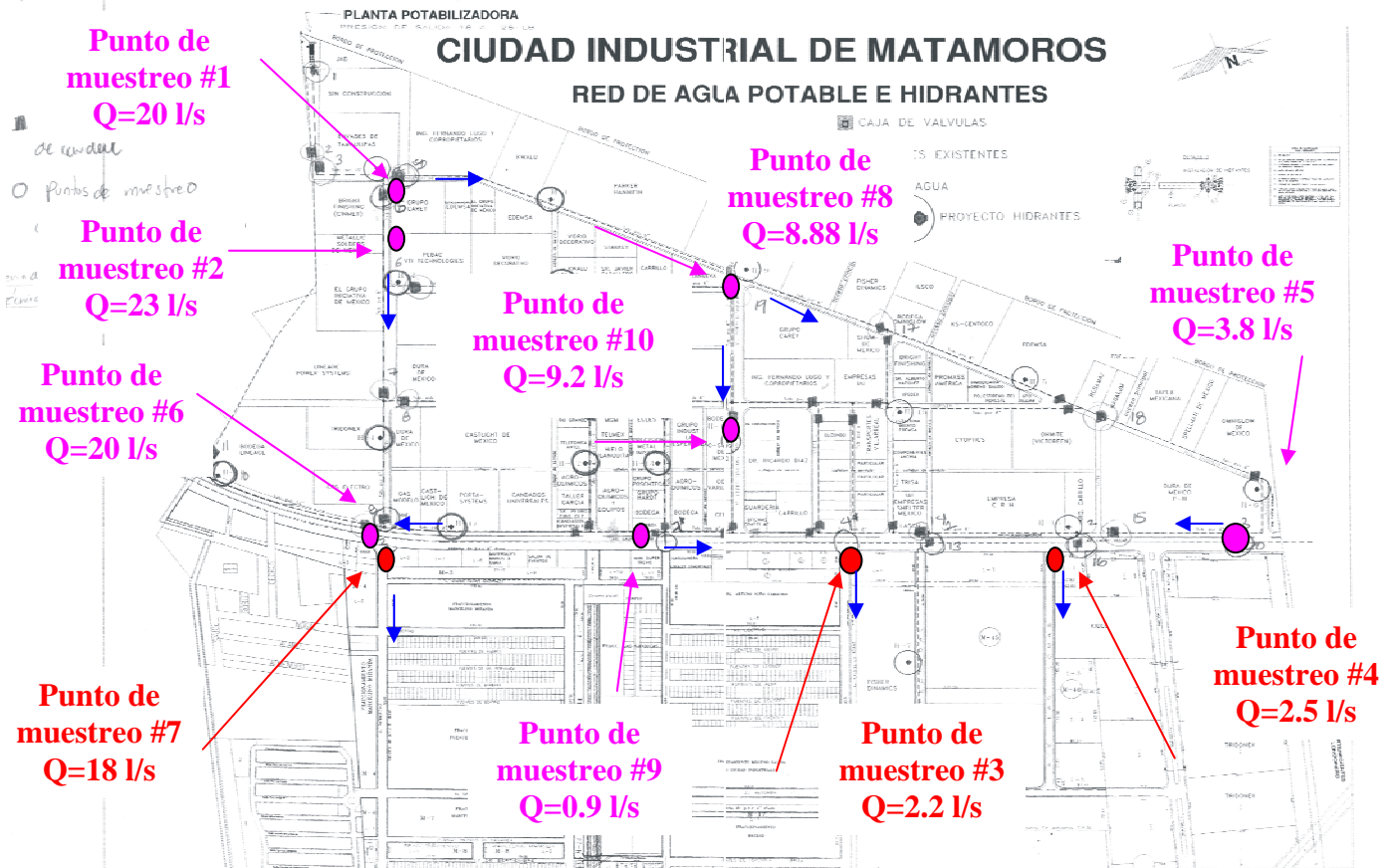


Ilustración 9.8. Puntos de muestreo y caudales promedios obtenidos a partir de las mediciones en campo.

10. CONCLUSIONES

Derivado del estudio realizado entre la Junta de Aguas y Drenaje de Matamoros y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, se concluye lo siguiente:

- El IMTA entregó a la JAD, un Sistema de Información Geográfica, que incluye la información del Departamento de Facturación relacionada con las rutas de lectura, clasificación de consumos, tipos de consumo, entre otros, todo ello dentro de un (SIG). El personal de la JAD corresponderá dar mantenimiento y continua actualización de la información.
- De acuerdo con la NOM-012-SCFI-1994 se establece que los micromedidores ubicados dentro de la red de distribución de la ciudad de Matamoros, presentan generalmente errores por encima de los límites máximos permisibles en el caudal mínimo.
- Con base en el resumen de errores es posible determinar que los micromedidores de las marcas CICASA, RECORDALL y SCANCODER resultaron mayores deficientes en el rango de caudal.
- Asimismo el promedio global de la muestra de 402 micromedidores presenta un error global en $Q_{mín}$ de -7.40% y -1.52%, lo que se traduce en tres situaciones que inciden directamente en el Organismo Operador: 1) Los micromedidores están sometidos a una operación hidráulica deficiente proveniente de la red de distribución, 2) Mala selección del tipo de micromedidor, 3) Pérdidas en términos de facturación y con ello de cobranza en el departamento comercial, producto de la submedición que presentan los micromedidores.
- Es necesario en el futuro establecer un programa de instalación de micromedidores en lugares donde el Organismo Operador obtenga mayores consumos en términos de facturación. Lo anterior es posible a través del Sistema de Información Geográfica que el personal del IMTA realiza para la Junta de Aguas y Drenaje de Matamoros, Tamaulipas.
- Además de coordinar los esfuerzos de las Gerencias Técnica y Comercial de la JAD en la instalación futura de los micromedidores, y conociendo las deficiencias en el gasto mínimo, es posible subsanar esta situación considerando instalar en el futuro micromedidores con Clase Metrológica C.
- El caudal mínimo ($q_{mín}$) para medidor Clase C ($n \geq 1,5$) será igual a 9 L/hora (0.006×1500). Este valor resulta de un orden de magnitud menor comparado con 45 L/hora (0.03×1500) de aquellos medidores Clase B ($n \geq 1,5$). Por tanto, en caso de seguir con la política de operación actual en la red de distribución de la ciudad de Matamoros (baja presión) y la promoción de instalación de medidores, se recomienda instalar aquellos con mayor rango en el caudal mínimo, esto es, medidores con clase metrológica "C". Lo anterior disminuirá la submedición reportada en este estudio por el IMTA.

- Asimismo es necesario incrementar y/o mejorar las condiciones hidráulicas de la red de distribución de agua de la ciudad, a través del mantenimiento preventivo o correctivo en los equipos de bombeo de las plantas de bombeo, con el objetivo de incrementar la presión en el sistema.
- Los tanques 2, 3 y 4 deberán operar de forma eficiente, garantizando una presión constante a la red de distribución, aunado a un programa de definición de sus respectivas áreas de influencia. Esto contribuirá el incremento de los caudales mínimos que se presentan actualmente en los micromedidores de los usuarios.
- Finalmente existen dentro del sistema de la red de distribución, circuitos hidráulicos de tubería principal que no han sido cerrados, razón por la cual es necesaria la inversión y diseño de tuberías de reforzamiento. En el capítulo siguiente se detallará este diseño con base en el modelo de simulación hidráulica abordado previamente en el capítulo uno, del presente documento.
- Es necesario considerar la incorporación de válvulas eliminadoras de aire instalada sobre la válvula de admisión y expulsión. Lo anterior obligará la salida del aire atrapado durante la operación normal del acueducto, permitiendo obtener una mayor eficiencia en la conducción. De lo contrario se reducirá la capacidad de transporte del conducto.
- De acuerdo con la normatividad local emitida por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), específicamente en su Norma Técnica NT-012-CNA-2001, se establece la instalación de válvula mixta en tramos largos con pendiente uniforme (sea paralela, ascendiendo o descendiendo respecto al gradiente hidráulico) en intervalos de entre 500 a 1000 metros.
- Asimismo la American Water Works Association (AWWA) establece instalar una válvula combinada (admisión, expulsión y eliminadora) en el inicio y final de la sección horizontal, asimismo para aquellos que la tubería presenta la longitud elevada, es recomendable considerar estas válvulas en intervalos de 400 a 800 metros. Lo anterior se debe a la complicada evacuación del aire a través de una tubería horizontal o de pendiente muy suave, dado que se presentan velocidades muy bajas.
- La tubería de cuatro pulgadas ubicada al final de la conducción repercute de forma significativa en la presión de llegada y operación del tanque “Las Higuierillas”.
- Considerando un caudal de salida de 16 L/s (máximo horario) producto de dos bombas operando en el cárcamo y 105 metros de columna de agua en el mismo sitio, se asegura el suministro de agua hasta la última localidad que suministra el acueducto, sin embargo se tiene la restricción de la clase de la tubería, en el tramo ubicado entre San Lorenzo y el kilómetro 60+000.
- Se realizaron diferentes escenarios considerando las condiciones hidráulicas del punto anterior, destacan aquellos que involucran la incorporación de tomas adicionales (registradas y clandestinas). Para el caso de extraer un caudal mayor a 8 L/s adicional, los tanques “Higuierillas” y “El Mezquital” sufrirían las consecuencias. Esto resulta de relevancia si consideramos que la población ubicada

en la localidad de “Higuerillas”, representa el 55% del total de la población beneficiada por el proyecto.

- La infraestructura instalada actualmente (tubería, tanques, etc) producto del proyecto, permite un suministro mayor a los 80 litros por segundo.
- De la información anterior se ve que el comportamiento de consumo varía de una empresa a otra, esto depende del giro de la empresa y de la forma de consumo. Además el consumo de las empresas no sigue un patrón de consumo común, incluso cuando las mediciones son de la misma empresa y se evalúan por más de un día. Esto nos lleva a concluir que el consumo de una empresa varía día a día, por tal motivo el consumo de un día no debe tomarse como referencia para extrapolar el consumo semanal, mensual o anual. Sin embargo, es evidente que dos empresas registran un volumen menor al facturado por la JAD: Holiday Inn y Stepan. Por esta razón, requieren de una medición con mayor duración con el objetivo de precisar el volumen que la JAD deja de facturar y por tal motivo representa una pérdida económica.
- De forma resumida los reforzamientos diseñados por el IMTA, con el objetivo de aumentar la recaudación considerando el modelo de simulación y el SIG, son 19 con una longitud total de 4881 metros, localizados en los puntos con zonas bajas de presiones menores a los 5 metros columna de agua.
- A través de estos reforzamientos se cumplen con dos objetivos fundamentales: 1) Aumento de infraestructura hidráulica en sitios óptimos que combinen el aumento de presión y con ello ofrecer un mejor servicio a la población, 2) Garantizar que los micromedidores instalados o afectados por los reforzamientos, tengan la capacidad de registrar con el aumento de presión y con ello establecer con mayor detalle, la facturación de los usuarios involucrados.
- En cuanto a la Sectorización, con la finalidad de aprovechar al máximo la ubicación de las Plantas Potabilizadoras se decidió dividir la ciudad en 61 sectores, la planta potabilizadora 1 se dividió en 6 sectores, La Planta Paquete 2 también en 6 sectores, la Planta Paquete 1 en un solo sector y la Planta Potabilizadora 2 en los restantes sectores.
- Como actividad a corto Plazo es necesario comenzar con la sectorización de las zonas de influencia de cada uno de los cuatro Tanques Elevados.
- En cuanto a la Planta Potabilizadora 1 se recomienda instalar un rebombeo nuevo en la Lauro Villar para suministrar agua a los Sectores PP1 Sectores 2,3 y 4, que son los que presentan presiones más bajas en esta zona de influencia e incluso en horas pico de consumo la presión cae a cero.
- La Planta Paquete 2 (PPQ2) debe incrementar su caudal producido a 340 l/s para satisfacer su nueva zona de influencia que es la sur oriente de la ciudad hasta Playa Bagdad, con el incremento de la capacidad de bombeo de la PPQ2 es posible eliminar el rebombeo actual hacia la Playa de 33 l/s.
- La Planta Paquete 1, su caudal debe enviarse directo al Tanque uno y de ahí suministrar agua a su zona de influencia previamente definida en la sectorización.

- La Planta Potabilizadora 2, en su bombeo hacia el Cefereso, existen zonas de la ciudad en esta conducción que deben desincorporarse, ya que esta tubería no tiene capacidad para suministrarles agua, además es necesaria la instalación de un nuevo rebombeo poco antes de la colonia Fidel Velásquez mismo que suministraría el agua con una presión adecuada hasta el Cefereso y el Ejido, Con este rebombeo es posible quitar el Búster y el Rebombeo hacia el ejido y eliminar el tanque que suministrar agua hacia el sur de la colonia Fidel Velásquez.
- También se requiere un rebombeo Nuevo en el PP2 Sector 19 que suministrará agua a esa zona de la ciudad y que es donde se presenten las presiones menores a los 3 metros columna de agua.

11. 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.

AWWA, Manual M-23, "PVC Pipe-Design and Installation", American Water Works Association, 1990, 89 pp. ISBN- 0-89867-241-4.

AWWA, Manual M-51, "Air-Release, Air/Vacuum & Combination Air Valves", American Water Works Association, 2001, First Edition. 37, pp. ISBN 1-58321-152-7.

CONAGUA, 1994. "Sistemas Rurales", Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, MAPAS, Libro II, 1ª Sección, Tema 6, 226 pp.

CONAGUA, 2001, "Localización de válvulas de admisión y expulsión de aire en conductos a presión", NT-012-CNA-2001, Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, 20 pp.

CONAGUA, 2007. "Fenómenos transitorios en líneas de conducción", Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, Manual de Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento, MAPAS, CONAGUA 219 pp.

Haestad Press, (1999), Calibration Accuracy, Current methods, vol. 1, núm. 1, pp. 21.

García V. (2003), Modelación de la demanda urbana de agua, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica.

NOM-012-SCFI-1994, Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos-Medidores para agua potable fría-Especificaciones

Rodríguez Varela J. M., Alcocer Yamanaka V. H., Bourguett Ortiz V., (2006), Estudio de sectorización de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Matamoros, Tamaulipas, IMTA, PIAS-JAD, 2006.