



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
HIDRÁULICA**

**INCREMENTO DE LA EFICIENCIA FÍSICA POR MEDIO
DEL CONTROL ACTIVO DE PRESIONES EN LA RED DE
AGUA POTABLE, ZONA SUR, DE LA CIUDAD DE
GUANAJUATO, GUANAJUATO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
(HIDRÁULICA)**

PRESENTA:

JOSÉ ARTURO SÁNCHEZ HUERTA

TUTOR:

**DR. RAFAEL B. CARMONA PAREDES
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MÉXICO, D.F. ABRIL 2013**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS

A mis hijas, Natalia y Renata, que son mi vida.

A Maris, por su apoyo, confianza y amor incondicional.

A mis padres, por siempre creer en mí.

A mis hermanos, Guillermo, Alejandro, María Teresa, Gustavo y Alma Rosa, por el ejemplo que siempre me han dado.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)** y al **Instituto de Ingeniería de la UNAM**, por la oportunidad que me dieron de formarme ahí.

Al **Dr. Rafael B. Carmona Paredes**, por su apoyo para la realización de la tesis, y la oportunidad de colaborar con él.

Al **M.I. Daniel Feliciano García**, por sus valiosas asesorías, apoyo durante la realización de la tesis y palabras de aliento en momentos adversos; por su sinceridad y confianza. Al **M.I. Sergio Ramos Tapia** por compartir tantos años de amistad y vida profesional.

A mi hermano, **M.I. Alejandro Sánchez Huerta** por ser un motor para terminar esta maestría

Al **Dr. Carlos Escalante** por su comprensión y apoyo para la conclusión de mis estudios de maestría.

A mis profesores durante la maestría por brindarme sus conocimientos, con mucha estimación al **M.I. Víctor Franco**, al **Dr. Oscar Fuentes Mariles** y **Dr. Gabriel Echávez Aldape**.

*“Los humanos y las redes (de agua potable) tenemos algo en común:
... a partir de cierta edad, sufrimos de hipertensión”*

Antonio Capella Vizcaíno

ÍNDICE

RESUMEN.....	13
I INTRODUCCIÓN	14
1 ANTECEDENTES.....	18
1.1 Introducción	18
1.2 Ciudad de Guanajuato	19
1.3 Entorno físico e hidrológico de la región de estudio.....	22
1.3.1 Localización	22
1.3.2 Características físicas.....	22
1.3.3 La región hidrológica Lerma - Chapala -Santiago.	27
1.4 Situación del Sistema de Agua Potable	28
1.4.1 Captación	28
1.4.2 Fuentes de abastecimiento superficial	28
1.4.3 Fuentes de abastecimiento subterráneas.....	31
1.4.4 Abastecimiento y disponibilidad del agua superficial y subterránea	33
1.4.5 Red de distribución	35
1.4.6 Regulación	35
1.4.7 Tomas domiciliarias	35
1.4.8 Agua no contabilizada en el sistema (balance hidráulico preliminar).....	35
2 SITIO DE ESTUDIO: ZONA SUR.....	37
2.1 Recopilación de información	37
2.2 Topología de la red	39
2.3 Topografía	40
2.3.1 Altimetría levantamiento de puntos con GPS de alta precisión.....	40
2.3.2 Tanques	41
2.4 Recorridos preliminares.....	42
2.4.1 Presiones en la red	42
2.4.1.1 Control de presiones bajas	43
2.4.1.2 Control de presiones altas	44
2.4.2 Zonas de baja y alta presión en la red de Guanajuato	44
3 ESTADO DEL ARTE	45
3.1 Sectorización.....	45
3.1.1 Factibilidad técnica y económica	45
3.1.2 Etapas de la sectorización	46
3.1.3 Definición de sectores y puntos de alimentación.....	47
3.1.4 Reducción de pérdidas	48
3.1.5 Control de presiones.....	48
3.1.6 Búsqueda de fugas	49
3.1.6.1 Por balance de agua.....	50
3.1.6.2 Por medición de distritos hidrométricos	50
3.1.6.3 Por sonido	52
3.1.6.4 Por presión diferencial.....	52
3.2 Modelación Hidráulica	53
3.2.1 Antecedentes	53
3.2.2 Tipos de modelos.....	54
3.2.3 Variación en el tiempo	55
3.3 Modelación Estática o de flujo permanente	55
3.4 Modelación Dinámica o no permanente.....	56
3.4.1 Inerciales.....	56
3.4.2 No inerciales	57
3.5 Metodología para el éxito en el control activo de presiones	57

3.5.1	Evaluación técnica del sistema.....	57
3.5.2	Determinación del balance hídrico.....	58
3.5.3	Programa de medición.....	58
3.5.3.1	Medición de presiones en la red.....	59
3.5.3.2	Medición de caudales.....	60
3.5.3.3	Medición de variación de la demanda de agua en la red.....	61
3.5.4	Volumen de pérdidas en el sistema.....	61
3.6	Controlador Inteligente.....	62
4	CONDICIONES ACTUALES.....	65
4.1	Monitoreo de las fuentes.....	65
4.2	Zonas de influencia zona Sur.....	71
4.2.1	Tanque Cervera.....	71
4.2.2	Tanque Tres Estrellas.....	73
4.2.3	Tanque Yerbabuena.....	74
4.2.4	Tanque Caminera.....	75
4.2.5	Tanque Biznagas.....	77
4.2.6	Tanque Marfil.....	78
4.2.7	Tanque Las Teresas.....	80
4.3	Construcción del modelo hidráulico preliminar.....	83
4.3.1	Problemática y veracidad de la información de la red.....	83
4.3.2	Introducción de la red de distribución al modelo.....	85
4.3.3	Asignación de elevación topográfica.....	86
4.3.4	Asignación de la demanda.....	88
4.4	Simulación inicial.....	90
4.5	Ajuste del Modelo o Calibración del modelo.....	90
4.6	Recomendaciones iniciales.....	97
4.7	Propuestas de sectorización.....	99
4.7.1	Macro sector Tres Estrellas.....	103
4.7.1.1	Descripción General.....	103
4.7.1.2	Mediciones realizadas en campo.....	104
4.7.1.3	Sector Burócratas.....	107
4.7.1.4	Sector La Quinta.....	109
4.7.1.5	Sector Servidor Agrario.....	115
4.7.1.6	Sector Los Alcaldes.....	118
4.7.1.7	Sector Euquerio Guerrero.....	120
4.7.1.8	Sector La Alhóndiga.....	122
4.7.1.9	Sector Pulque.....	126
4.7.1.10	Situación actual y resultados esperados.....	128
4.7.2	Macro sector Cervera.....	129
4.7.2.1	Descripción General.....	129
4.7.2.2	Mediciones realizadas en campo.....	130
4.7.2.3	Sector Santa Fe.....	132
4.7.2.4	Sector Lomas de Cervera.....	133
4.7.2.5	Sector Villas de Guanajuato.....	134
4.7.2.6	Situación actual y resultados esperados.....	137
4.7.3	Macro sector Biznagas.....	137
4.7.3.1	Descripción General.....	137
4.7.3.2	Mediciones realizadas en campo.....	138
4.7.3.3	Sector Biznagas.....	139
4.7.3.4	Sector Mezquite.....	140
4.7.3.5	Sector Rocinante.....	142
4.7.3.6	Sector Arte.....	143
4.7.3.7	Sector Lomas I.....	144
4.7.3.8	Situación actual y resultados esperados.....	145

4.7.4	Macro sector Marfil	147
4.7.4.1	Descripción General	147
4.7.4.2	Mediciones realizadas en campo	148
4.7.4.3	Sector Marfil 1	149
4.7.4.4	Sector Marfil 2	150
4.7.4.5	Situación actual y resultados esperados	151
4.7.5	Macro sector Las Teresas	153
4.7.5.1	Descripción General	153
4.7.5.2	Mediciones realizadas en campo	153
4.7.5.3	Sector Las Teresas 1	154
4.7.5.4	Sector Las Teresas 2	156
4.7.5.5	Sector Las Teresas 3	159
4.7.5.6	Situación actual y resultados esperados	161
4.7.6	Macro sector Ex Hacienda Santa Teresa	162
4.7.6.1	Descripción General	162
4.7.6.2	Mediciones realizadas en campo	163
4.7.6.3	Sector Santa Teresa 1	164
4.7.6.4	Sector Santa Teresa 2	165
5	SECTOR PILOTO	168
5.1	Trabajos preliminares	168
5.2	Mediciones primera etapa	171
5.3	Instalación y configuración del controlador	174
5.4	Mediciones segunda etapa	176
5.5	Recuperación de caudal	178
6	TRABAJOS FUTUROS	181
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	184
	REFERENCIAS	186
	BIBLIOGRAFIA	186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1 Estimación de Agua No Rentable.....	14
Tabla I.2 Estimación de Agua No Rentable.....	15
Tabla 1.1 Sistema de agua potable de la ciudad de Guanajuato en 1955	19
Tabla 1.2 Sistema de agua potable de la Ciudad de Guanajuato en 1955	31
Tabla 2.1 Tanques de abastecimiento, Zona Norte.....	41
Tabla 2.2 Tanques de abastecimiento, Zona Sur.....	41
Tabla 3.1 Diagnóstico para una red	57
Tabla 4.1 Características de los tanques	66
Tabla 4.2 Datos de Caudal.....	67
Tabla 4.3 Indicadores de gestión	68
Tabla 4.4 Indicadores de gestión del tanque Tres Estrellas.....	69
Tabla 4.5 Indicadores de gestión del tanque Yerba Buena.....	69
Tabla 4.6 Indicadores de gestión del tanque superficial Santa Teresa	69
Tabla 4.7 Indicadores de gestión del tanque elevado Santa Teresa.....	70
Tabla 4.8 Indicadores de gestión del tanque Biznagas	70
Tabla 4.9 Indicadores de gestión del tanque Cervera	70
Tabla.4.10 Características del tanque Cervera	71
Tabla.4.11 Registradores en zona de influencia tanque Cervera.....	71
Tabla.4.12 Indicadores de gestión del tanque Tres estrellas	73
Tabla.4.13 Registradores en zona de influencia tanque Tres estrellas	73
Tabla.4.14 Indicadores de gestión del tanque Yerba buena	74
Tabla.4.15 Registradores en zona de influencia tanque Yerba buena	74
Tabla.4.16 Indicadores de gestión del tanque Caminera	76
Tabla.4.17 Registradores en zona de influencia tanque Caminera	76
Tabla.4.18 Indicadores de gestión del tanque Biznagas	77
Tabla.4.19 Registradores en zona de influencia tanque Biznagas.....	77
Tabla.4.20 Indicadores de gestión del tanque Marfil	79
Tabla.4.21 Registradores en zona de influencia tanque Marfil.....	79
Tabla.4.22 Características tanque Las Teresas	80
Tabla.4.23 Registradores en zona de influencia tanque Las Teresas.....	80
Tabla 4.24 Valores de caudal en los puntos de medición	88
Tabla 4.25 Presiones actuales y propuestas en el sector La Quinta.....	111
Tabla 4.26 Presiones actuales y propuestas en el sector La Quinta.....	113
Tabla 4.27 Presiones actuales y propuestas en el sector La Quinta.....	115
Tabla 4.28 Presiones actuales y propuestas en el sector Servidor Agrario	118
Tabla 4.29 Presiones actuales y propuestas en el sector Los Alcaldes	120
Tabla 4.30 Presiones actuales y propuestas en el sector La Alhóndiga	124
Tabla 4.31 Presiones actuales y propuestas en el sector Pulque	127
Tabla 4.32 Presiones actuales en el sector Villas de Guanajuato.....	136
Tabla 4.33 Presiones actuales y propuestas en el sector Mezquite	141
Tabla 4.34 Presiones actuales y propuestas en el sector Rocinante	143
Tabla 4.35 Presiones actuales y propuestas en el sector Arte.....	144
Tabla 4.36 Presiones actuales y propuestas en el sector Lomas I.....	145

Tabla 4.37 Presiones actuales y propuestas en el sector Marfil 2.....	150
Tabla 4.38 Presiones actuales y propuestas en el sector Las Teresas 2.....	158
Tabla 4.39 Presiones actuales y propuestas en el sector Las Teresas 3.....	160
Tabla 4.40 Presiones actuales y propuestas en el sector Santa Teresa 2.....	166
Tabla 5.1 Resumen de resultados de la medición.....	171
Tabla 5.2 Resumen de resultados de la medición.....	173
Tabla 5.3 Resumen de resultados de la medición.....	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vista actual del Tanque “El Venado”	18
Figura 1.2 Fuentes de abastecimiento sistema de agua potable	20
Figura 1.3 Tanques de regulación.....	21
Figura 1.4. Zona de estudio.....	23
Figura 1.5 Características físicas	23
Figura 1.6 Precipitación promedio.....	25
Figura 1.7 Afluentes más importantes.....	25
Figura 1.8 Distribución de cuencas	28
Figura 1.9 Presa La Esperanza y Presa La Soledad.....	29
Figura 1.10 Presa de Mata.....	30
Figura 1.11 Acuífero Silao-Romita, fuente principal de abastecimiento de Gto.	32
Figura 1.12 interconexión Sistema Puenteillas.....	34
Figura 1.13 Agua no contabilizada	36
Figura 2.1 Catastro de la red de agua potable de Guanajuato.....	37
Figura 2.2 Llegada a tanque Filtros.....	38
Figura 2.3 Elementos de la red	39
Figura 2.4 Estación GPS en casa James.....	40
Figura 2.5 Tanque Cervera	42
Figura 3.1. Medición de distritos hidrométricos	51
Figura 3.2 Registrador de datos o Data logger.....	53
Figura 3.3 Desarrollo histórico de los modelos de simulación matemática	53
Figura 3.4 Diagrama de un modelo hidráulico de flujo permanente	56
Figura 3.5 Medición de presión con Data logger en toma domiciliaria	60
Figura 3.6 Medición de caudal con medidor electromagnético de inserción	61
Figura 3.7 Pérdidas de agua en líneas de distribución.....	62
Figura 3.8 Controlador inteligente	64
Figura 4.1 Catastro de la red de agua potable de Guanajuato.....	65
Figura 4.2 Curva de demanda de la salida de 8” del Tanque Tres estrellas	68
Figura 4.3 Tanque Cervera	71
Figura 4.4 Medición de caudal a la salida del tanque Cervera en tubo de 4”	72
Figura 4.5 Medición de presión en calle Hormiguero, Colonia Campanario.....	72
Figura 4.6 Tanque Tres Estrellas	73
Figura 4.7 Medición de caudal y presión a la salida del tanque Tres Estrellas	73
Figura 4.8 Medición de presión en calle La Quinta, Fracc. M de la Hacienda.....	74
Figura 4.9 Tanque Yerba buena.....	74
Figura 4.10 Medición de presión en calle La Quinta, Fracc.M de la Hacienda.....	75
Figura 4.11 Medición de presión en calle La Quinta, Fracc.M de la Hacienda.....	75
Figura 4.12 Tanque Caminera.....	76
Figura 4.13 Medición de presión en Miguel Domínguez, Col. Independencia.....	76
Figura 4.14 Medición de presión en Ignacio Allende, Col. Independencia	77
Figura 4.15 Tanque Biznagas	77
Figura 4.16 Medición de presión y caudal salida tanque Biznagas	78
Figura 4.17 Medición de presión en Vincent Van Gogh, Col. Fracc. Del Arte	78
Figura 4.18 Tanque Marfil	79

Figura 4.19 Medición de caudal y presión en la salida Tanque Marfil	79
Figura 4.20 Medición de presión en la calle Los Pinos	80
Figura 4.21 Tanque Las Teresas	80
Figura 4.22 Presión y caudal en salida tanque superficial Las Teresas	81
Figura 4.23 Presión en la calle Alonso Quijano, Las Teresas	81
Figura 4.24 Tubería de diámetro incorrecto	84
Figura 4.25 Tubería de diámetro incorrecto	84
Figura 4.26 Inexistencia de Tubería en el catastro.....	85
Figura 4.27 Inicio de la modelación en InfoWorks WS.....	86
Figura 4.28 Curvas de nivel.....	87
Figura 4.29 Modelo Digital de Elevaciones	87
Figura 4.30 Gráficos de demanda	89
Figura 4.31 Polígonos de Thiessen.....	89
Figura 4.32 Simulación inicial.....	90
Figura 4.33 Herramienta “calibration” en software InfoWorks WS.....	91
Figura 4.34 Tanque elevado de Santa Teresa, tubería de 8”	91
Figura 4.35 Tanque superficial de Santa Teresa, tubería de 8”	92
Figura 4.36 Tanque de Biznagas, tubería de 6”	92
Figura 4.37 Tanque del Marfil, tubería de 6”	93
Figura 4.38 Tanque Caminera, tubería de 10”	93
Figura 4.39 Tanque Tres estrellas, tubería de 4”	94
Figura 4.40 Tanque Tres estrellas, tubería de 8”	94
Figura 4.41 Tanque Cervera, tubería de 8”	95
Figura 4.42 Tanque Cervera, tubería de 4”	95
Figura 4.43 Tanque Yerba Buena, tubería de 6”	96
Figura 4.44 Contorno de presiones	96
Figura 4.45 Contorno de presiones mayores a 5 Kg/cm ²	97
Figura 4.46 Contorno de presiones mayores a 5 Kg/cm ²	98
Figura 4.47 Contorno de presiones mayores a 5 Kg/cm ²	98
Figura 4.48 Macro sectores zona sur	99
Figura 4.49 Macro sector Marfil, Biznagas, Santa Teresa y Ex hacienda Teresa ...	100
Figura 4.50 Macro sector Caminera, Cervera, Yerba Buena	100
Figura 4.51 Macro sector Tres Estrellas.....	101
Figura 4.52. Diez Macro sectores.....	101
Figura 4.53 Contorno de presiones propuesto para la zona sur	102
Figura 4.54 Ubicación de puntos de control	103
Figura 4.55 Área de influencia tanque Tres Estrellas.....	104
Figura 4.56 Zona de influencia sector Burócratas	107
Figura 4.57 Ubicación punto TE-C-1	108
Figura 4.58 Ubicación punto TE-C-2	108
Figura 4.59 Ubicación punto TE-C-2	109
Figura 4.60 Ubicación punto TE-C-2	110
Figura 4.61 Ubicación punto TE-C-3.....	110
Figura 4.62 Ubicación punto TE-C-3.....	112
Figura 4.63 Ubicación punto TE-C-3.....	112
Figura 4.64 Ubicación propuesta TE-C-5	114

Figura 4.65 Detalle ubicación propuesta TE-C-5.....	114
Figura 4.66 Ubicación propuesta TE-LE-1	115
Figura 4.67 Zona de influencia sector Agrario.....	116
Figura 4.68 Ubicación propuesta TE-C-6	117
Figura 4.69 Detalle ubicación propuesta TE-C-6.....	117
Figura 4.70 Zona de influencia sector Alcaldes.....	118
Figura 4.71 Ubicación propuesta TE-C-7	119
Figura 4.72 Ubicación propuesta TE-C-7	120
Figura 4.73 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero.....	121
Figura 4.74 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero.....	122
Figura 4.75 Zona de influencia sector Alhóndiga	123
Figura 4.76 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero.....	124
Figura 4.77 Detalle ubicación propuesta TE-LE-2.....	125
Figura 4.78 Ubicación TE-LE-2	125
Figura 4.79 Zona de influencia sector Pulque	126
Figura 4.80 Ubicación propuesta TE-C-11	127
Figura 4.81 Estado actual de presiones macro sector Tres Estrellas.....	128
Figura 4.82 Estado sugerido de presiones macro sector Tres Estrellas	129
Figura 4.83 Área de influencia macro sector Cervera	129
Figura 4.84 Zona de influencia sector Santa Fe.....	132
Figura 4.85 Ubicación actual TC-C-1	132
Figura 4.86 Zona de influencia sector Lomas de Cervera.....	133
Figura 4.87 Ubicación actual TC-C-2	134
Figura 4.88 Zona de influencia sector Villas de Guanajuato	134
Figura 4.89 Ubicación propuesta TC-C-3.....	135
Figura 4.90 Detalle propuesta TC-C-3	135
Figura 4.91 Ubicación actual TC-LE-1	136
Figura 4.92 Área de influencia macro sector Biznagas	137
Figura 4.93 Tanque Biznagas	138
Figura 4.94 Zona de influencia sector Biznagas.....	139
Figura 4.95 Punto de medición existente en el tanque Biznagas	140
Figura 4.96. Zona de influencia sector Mezquite.....	140
Figura 4.97. Detalle ubicación TBI-C-5	141
Figura 4.98 Zona de influencia sector Rocinante	142
Figura 4.99 Zona de influencia sector Erizo	143
Figura 4.100 Zona de influencia sector Lomas I.....	145
Figura 4.101 Estado actual de presiones en macro sector Biznagas.....	146
Figura 4.102 Estado recomendado de presiones en macro sector Biznagas.....	147
Figura 4.103 Área de influencia macrosector Marfil	148
Figura 4.104 Zona de influencia sector Marfil 1	149
Figura 4.105 Ubicación TM-C-1	149
Figura 4.106 Zona de influencia sector Marfil 2.....	150
Figura 4.107 Estado actual de presiones en macro sector Marfil.....	152
Figura 4.108 Estado sugerido de presiones en macro sector Marfil.....	152
Figura 4.109 Área de influencia Las Teresas.....	153
Figura 4.110 Zona de influencia sector Las Teresas 1.....	154

Figura 4.111 Ubicación actual LT-C-1	155
Figura 4.112 Detalle ubicación LT-C-1	155
Figura 4.113 Ubicación propuesta LT-LI-1	156
Figura 4.114 Zona de influencia sector Las Teresas 2.....	157
Figura 4.115 Ubicación propuesta LT-C-2	157
Figura 4.116 Detalle ubicación LT-C-2.....	158
Figura 4.117 Detalle tubería LT-C-2.....	158
Figura 4.118 Zona de influencia sector Las Teresas 3.....	159
Figura 4.119 Ubicación propuesta LT-C-3	159
Figura 4.120 Detalle propuesta LT-C-3	160
Figura 4.121 Estado actual de presiones macrosector Las Teresas.....	161
Figura 4.122 Estado sugerido de presiones macro sector Las Teresas.....	162
Figura 4.123 Área de influencia Ex Hacienda Santa Teresa.....	163
Figura 4.124 Zona de influencia sector Santa Teresa 1	164
Figura 4.125 Tanque Ex Hda. Sta. Teresa.....	165
Figura 4.126 Punto medición EHST-C-1	165
Figura 4.127 Zona de influencia sector Santa Teresa 2.....	165
Figura 4.128 Ubicación propuesta EHST-C-2	166
Figura 5.1 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero.....	169
Figura 5.2 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero.....	169
Figura 5.3 Mediciones en la tubería de 6" (Euquerio Guerrero)	170
Figura 5.4 Punto propuesto para instalar el controlador inteligente	171
Figura 5.5 Gráfico en la primera Etapa de Medición	172
Figura 5.6 Gráfica de demanda.....	172
Figura 5.7 Instalación del controlador inteligente	174
Figura 5.8 Curva de demanda típica	175
Figura 5.9 Parámetros del controlador	175
Figura 5.10 Cambios que realiza el controlador inteligente.....	176
Figura 5.11 Gráfica de la demanda durante el periodo de medición	177
Figura 5.12 Gráfica antes y después de la instalación del controlador	178
Figura 5.13 Gráfica después de la instalación del controlador	179
Figura 6.1 Propuesta de macro sectores zona sur.....	181
Figura 6.2 Contorno de presiones propuesto para la zona sur.....	182
Figura 6.3 Propuesta de puntos de control para zona sur.....	182
Figura 6.4 Propuesta a futuro para zona sur, presiones entre 15 y 35 mca.....	183

RESUMEN

Se presenta el control activo de presiones en la red de distribución de agua potable de Guanajuato. Con la modelación matemática se proponen macro sectores para la zona sur de la ciudad, recomendando puntos de control y Válvulas Reductoras de Presión (VRP) en sitios clave a lo largo de la red. Con apoyo de controladores inteligentes instalados en la VRP y basado en una metodología que utiliza indicadores de gestión, como el concepto de Índice de Consumo Mínimo Nocturno (ICMN), se muestran resultados claros del incremento en la eficiencia física en el sector Euquerio Guerrero, incrementando el factor de 42.7 a 51.7%., sin afectar la calidad de servicio a los usuarios y disminuyendo 2 kg/cm^2 la presión en la tubería.

El control activo de presiones resulta fundamental en la implementación de una campaña de recuperación de caudales, contribuyendo a aumentar la vida útil de las tuberías y evitando el estrés en las líneas. En este trabajo se recomienda implementar esta campaña en otros sectores de la red de agua, tanto de la zona sur como en la zona centro de la ciudad. La aplicación de los trabajos de recuperación de pérdidas de agua debe realizarse de manera sistemática, programada y consistente con beneficios y costos

ABSTRACT

The active control of pressure in the distribution network of drinking water Guanajuato is the main goal of this thesis. Based on numerical simulation of the water distribution network, macro sectors are proposed for the south of the city and checkpoints and Pressure Reducing Valves (PRV) are selected to reduce the operational pressure. With the support of intelligent controllers installed in the VRP and based on a methodology that uses indicators, as the concept of Night Minimum Consumption Index (ICMN), the results of increased physical efficiency at the are shown Guerrero Euquerio sector, increasing the factor of 42.7 to 51.7%. without affecting the quality of service to users 2 kg/cm^2 and reducing the pressure in the pipe end.

Active control of pressure is essential in implementing a flow recovery campaign, helping to increase the lifetime of pipes and avoiding stress on the lines. In this paper we recommend implementing this campaign to other sectors of the water network, both in the south and in the center of the city. The implementation of the recovery work water loss must be systematically planned and consistent with costs and benefits

I INTRODUCCIÓN

Los sistemas municipales de agua en países en desarrollo promedian pérdidas entre el 30 y 60%; el caso de México no es la excepción, el promedio se ha calculado entre el 30 y el 50%, las causas son diversas y entre ellas destacan las fugas en las tomas domiciliarias, las fallas de equipo y la administración deficiente de los sistemas de distribución que generan sobre presiones mayores a 5 kg/cm^2 en zonas que excedan el máximo recomendado en las zonas bajas en los horarios de bajo consumo (Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable, CONAGUA, 2009)

El tema del agua no rentable sigue siendo un asunto pendiente, a pesar de que en los últimos años se ha presentado un importante avance; el tema de la eficiencia física, en especial, ha sido atendido con mayor cuidado y se han logrado importantes mejoras. En la última década se ha presentado una tendencia positiva en el desempeño de las empresas de agua. Si bien esta tendencia no ha sido homogénea en la geografía nacional, hoy se cuenta con organismos operadores de agua donde el desempeño es comparable al de países desarrollados, asimismo, un gran número de organismos de las grandes ciudades ya se encuentran inmersos en procesos de transformación y adaptación de procedimientos para elevar sus índices de desempeño, entre ellos el de la eficiencia física de las redes de agua potable

En este contexto, una medición confiable del rendimiento de las redes es muy importante. En todo el mundo se realizan las estimaciones correspondientes al agua no rentable (ANR), sin duda un referente que debe ser valorado con todo cuidado.

La Tabla A muestra la estimación del tamaño del problema para algunas regiones del mundo (IWA 2006). Se puede observar que el volumen total de agua no rentable por año es de $82,759 \text{ hm}^3$, que en términos generales representan alrededor de 18,009 millones de dólares estadounidenses al año (véase Tabla B). Es importante observar que la relación de pérdidas debidas a agua consumida pero no cuantificada tiene diferencias regionales, de forma tal que en organismos de países desarrollados es de 80 y 20%, en tanto en países en desarrollo es de 60 y 40%.

Tabla I.1 Estimación de Agua No Rentable

	Población atendida 2002	Dotación (l/h/d)	Nivel de ANR (% de dotación)	Estimación de ANR				
				Relación de Pérdidas		Volumen, $\text{hm}^3/\text{año}$		
				Físicas	Comerciales	Físicas	Comerciales	Total ANR
Países desarrollados	745	300	15	80	20	9,789	2,447	12236
Eurasia	178	500	30	70	30	6,822	2,924	9,746
Países de desarrollo	1,903	250	35	60	40	36,466	24,311	60,777
					Total	53,077	29,682	82,759

Tabla I.2 Estimación de Agua No Rentable

	Costo marginal de agua (US\$/m ³)	Tarifa media (US\$/m ³)	Costo de pérdidas	Pérdida de ingresos debida a pérdidas comerciales	Costo total de ANR
			Valores estimados, M (US\$/año)		
Países desarrollados	0.3	1	2,937	2,447	5,384
Eurasia	0.3	0.5	2,047	1,462	3,509
Países de desarrollo	0.15	0.15	5,470	3,647	9,117
Total			10,453	7,556	18,009

Actualmente, las tendencias internacionales han mostrado una unificación en el manejo de términos y metodologías de análisis, de forma tal que hoy se trabaja con ANR en lugar del término agua no contabilizada y las pérdidas aparentes constituyen uno de los grandes pendientes en las empresas mexicanas; se ha presentado poca atención a este rubro, donde se ubican, entre otros, los errores de medición en los domicilios, errores de lectura, usuarios no registrados en el padrón o mal registrados, usuarios fraudulentos y clandestinos, errores de facturación; estas son las pérdidas más fáciles de atender y a menor costo, y deberían ser una prioridad, ya que las estimaciones muestran que pueden alcanzar el 40% del total de pérdidas, que, por ejemplo, en la ciudad de México podrían alcanzar el 16% del total del agua producida.

En cuanto a las pérdidas de agua físicas, éstas están compuestas por las fugas debidas a deficiencias en la infraestructura, fugas en las líneas de conducción y distribución en tomas domiciliarias y a derrames por defectos de tanques o mala operación.

Cada sistema debe tener diferentes tipos y grados de pérdidas con una solución potencial y costo asociado diferente, y es muy conveniente realizar la evaluación costo vs beneficio de las acciones identificadas; por ejemplo, ciudades como Tijuana o Mexicali, que tienen una eficiencia mayor al 83%, deberán tener soluciones diferentes a una ciudad como Ecatepec, con una eficiencia bastante menor.

Las soluciones para pérdidas físicas incluyen, por supuesto, detección y localización de fugas no visibles, mapeo de zonas con mayores pérdidas para revisión periódica, incrementar la capacidad de respuesta para corregir las fugas visibles y hacer más eficiente este proceso; administración de presiones para reducir volúmenes de pérdida y frecuencia de ocurrencia de nuevas fugas; control de niveles para evitar derrames, reemplazo de tuberías y tomas en zonas identificadas con alta ocurrencia de fugas.

Algunas de las soluciones para pérdidas aparentes son: realizar pruebas de macro medidores, verificaciones de lecturas, mejor dimensionamiento y selección de

micromedidores, localización de tomas ilegales o no registradas, recuperación de cartera vencida o sistema de prepagado en zonas con baja tasa de pago.

Ahora bien, para afrontar las pérdidas reales y reducirlas hasta el nivel de lo que se ha considerado “pérdidas reales irrecuperables” (UARL, por sus siglas en inglés), la diferencia son las pérdidas potencialmente recuperables que se recomienda reducir mediante cuatro diferentes acciones:

- **Regulación y control de presiones**,
- Rapidez y calidad de reparación de fugas,
- Mantenimiento de infraestructura, y
- Control continuo de fugas.

El propósito de esta tesis *Incremento de la eficiencia física por medio del control activo de presiones en la red de agua potable, zona sur, de la ciudad de Guanajuato, Guanajuato*, se enfoca a la red de distribución de agua de la zona Sur de la ciudad de Guanajuato, donde se podrá aplicar un control de la presión interna de las tuberías por medio de un controlador inteligente instalado en la VRP. Al contar con una reducción de la presión de las tuberías se tiene un mejor control y reducción del volumen de agua provocado por las fugas de las tuberías, lo que se traduce en una distribución más adecuada del agua en la red, sobre todo en los puntos más alejados y en un ahorro de agua.

En términos generales, el contenido de la presente tesis es:

En el capítulo uno se explican los aspectos generales de la ciudad de Guanajuato, los aspectos físicos más importantes que prevalecen y la situación actual que existe en el sistema de agua potable, denominado Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SIMAPAG), como organismo operador.

En el capítulo dos se hace la recopilación de información, se describen las condiciones topográficas actuales, de altimetría y tanques pertenecientes a toda la red y de la zona Sur. Se realiza la descripción de zonas de baja y alta presión y las zonas de mayor incidencia de fugas, también se mencionan las presiones máximas y mínimas a las que está sometida la red.

En el capítulo tres se realiza una investigación del estado del arte respecto a la sectorización y control activo de presiones y las etapas que la llevan a su estudio por medio de la modelación de redes, con el objetivo de llegar a reducir las pérdidas. Se analizan los conceptos de modelación hidráulica, estática y dinámica y la metodología para el éxito en el control activo de presiones.

En el Capítulo Cuatro se puntualizan las condiciones actuales de la red donde se exponen las propuestas para el control de presiones. Se presenta de manera preliminar la modelación hidráulica de los distritos, con una determinación preliminar

de la zona de influencia, se revisan las demandas y las cargas disponibles y se generan propuestas iniciales de mejoramiento a la red.

En el Capítulo Cinco se propone un sector piloto para la instalación de un controlador inteligente en una válvula reductora de presión. En este capítulo se explicarán de forma clara los resultados y beneficios obtenidos de la campaña de control activo de presiones.

En el Capítulo Seis se proponen trabajos futuros a desarrollar con el objeto de llevar a cabo la recuperación de caudales en otros sectores de la red.

El Capítulo Siete se presentan las conclusiones y recomendaciones generadas a partir de los resultados obtenidos, se mencionan las ventajas de aplicar las propuestas generadas en la modelación hidráulica, también se presentan las ventajas de aplicar un programa de recuperación de caudales para ese periodo de análisis y los ahorros obtenidos.

1 ANTECEDENTES

1.1 Introducción

La ciudad de Guanajuato, fundada en 1554, no sufrió de la escasez del agua gracias a la existencia de corrientes superficiales que dotaron a la población de agua. Hacia la mitad del siglo XVIII, Guanajuato surgió como importante centro de población gracias a la riqueza obtenida de las minas de San Juan de Rayas y La Valenciana. El agua se tomaba de los manantiales de Calderones y Chichíndaro, de norias y aljibes domésticos, se complementó con la almacenada en las presas de La Olla (construida en 1749) y de Los Pozuelos.

Durante los años 1849 a 1852 se sobre elevó la presa de La Olla, se construyó la presa de San Renovado y se tendió una red de tuberías que dio servicio domiciliario y surtió a ocho hidrantes públicos. Para 1887 la población había alcanzado 52,000 habitantes y se hacía imperioso el correspondiente abasto de agua. El Gobierno del Estado construyó el sistema llamado de “*La Esperanza*”, inaugurándose en 1894. Esta presa, con capacidad de 1.6 millones de m³ y 34 m de altura, formaba parte de un sistema a gravedad. Al poniente de la ciudad se construyó un segundo tanque de regulación de 1,020 m³ cúbicos denominado “*El Venado*”.



Figura 1.1 Vista actual del Tanque “El Venado”

Para aumentar el volumen de agua se construyó la Presa de La Soledad sobre el Arroyo de Santa Ana a unos dos kilómetros aguas abajo del poblado del mismo nombre. La cortina era de tierra y roca con una altura máxima de 42 metros y una capacidad de almacenamiento de 2.4 hm³.

Tabla 1.1 Sistema de agua potable de la ciudad de Guanajuato en 1955

Descripción	Capacidad de Diseño en 1955
Capacidad de la Presa de La Esperanza	1,600,000 m ³
Altura máxima de la cortina	34 m
Área de la cuenca	17.6 km ²
Longitud de la conducción	2180 m
Capacidad del tanque de La Valenciana	3984 m ³
Capacidad del tanque de San Antonio	360 m ³
Capacidad del tanque Venado	1,020 m ³
Longitud de tuberías	13,500 m
Fuentes Públicas	16
Hidrantes públicos	170

En 1955 entra en funcionamiento la Presa La Soledad con proyección a 1985 sin modernizarse la Planta Potabilizadora. Para 1985 la ciudad de Guanajuato se queda sin agua y de emergencia se crea el *Sistema Puentecillas* detectándose muy incierto para las necesidades futuras, para el tipo de ciudad y sus necesidades. Finalmente se construye la Presa Mata y se concesiona a una compañía minera.

1.2 Ciudad de Guanajuato

La ciudad de Guanajuato se abastece de agua superficial y agua subterránea, siendo aproximadamente 44% (370,000 m³) y 56% (468,000 m³), respectivamente.

Respecto a las fuentes subterráneas existen 17 pozos profundos, los cuales tienen una producción de 178 l/s, con profundidades, niveles estáticos y dinámicos promedio de 370, 99 y 176 m, respectivamente; además se cuenta con 3 fuentes de abastecimiento superficiales con un gasto promedio de 140 l/s¹

Existe el Sistema Puentecillas el cual interconecta a los pozos profundos de manera que se asegura que el líquido se extraiga de manera continua en caso de alguna contingencia en alguno de los pozos. Una vez que el agua sale del Sistema Puentecillas llega a la zona urbana de la Ciudad de Guanajuato por medio del cárcamo de rebombeo conocido como Yerbabuena con un gasto de entrada de 107 l/s

Los requerimientos de agua potable de la ciudad de Guanajuato, se satisfacen, en parte, por la planta potabilizadora Filtros, que aprovecha el agua de las presas La Soledad y La Esperanza para abastecerse. La planta potabilizadora, que se construyó para un suministro de 150 l/s, actualmente demanda hasta 180 l/s, destinados a cubrir cerca del 40% de la población de la ciudad, mientras que el restante 60% proviene de la batería de Pozos del Sistema PuenteCillas.

El tanque principal de suministro es el que recibe el agua de la Planta Potabilizadora denominado Tanque Filtros. Existen más depósitos de regulación como son Marfil, Venado 1 y Venado 2 (este recibe también agua del cárcamo Yerbabuena, proveniente del sistema PuenteCillas). Por último hay otros tanques como son, San Antonio, Tanque-Venada, Biznagas, Caminera, Yerbabuena, Mellado, Las Teresas y Tres Estrellas que suministran agua a diversas colonias.

En las Figuras 1.2, y 1.3 se muestran las fuentes de abastecimiento y tanques de regulación.

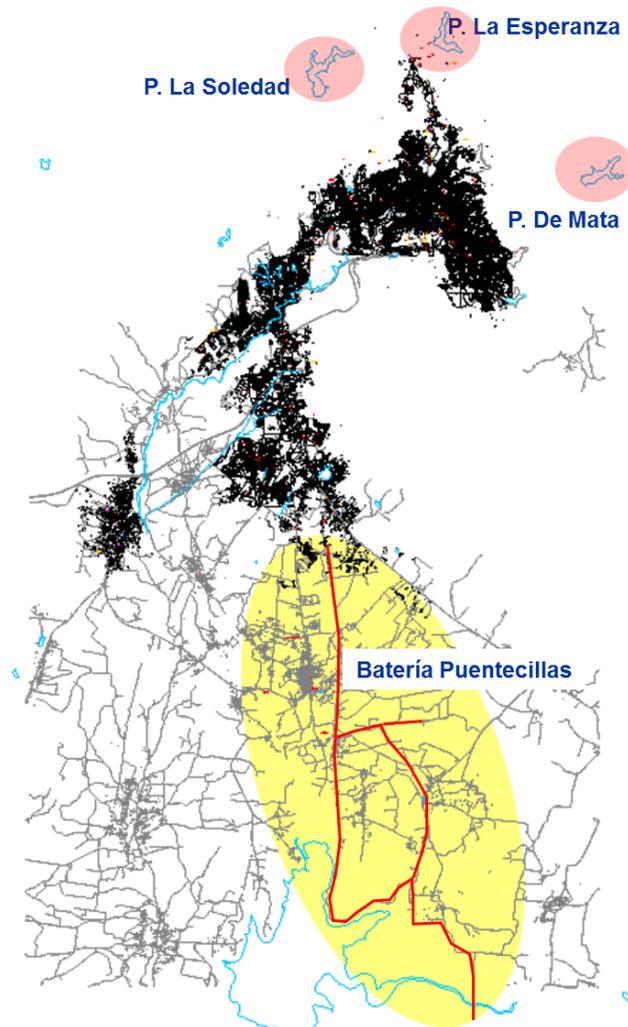


Figura 1.2 Fuentes de abastecimiento sistema de agua potable

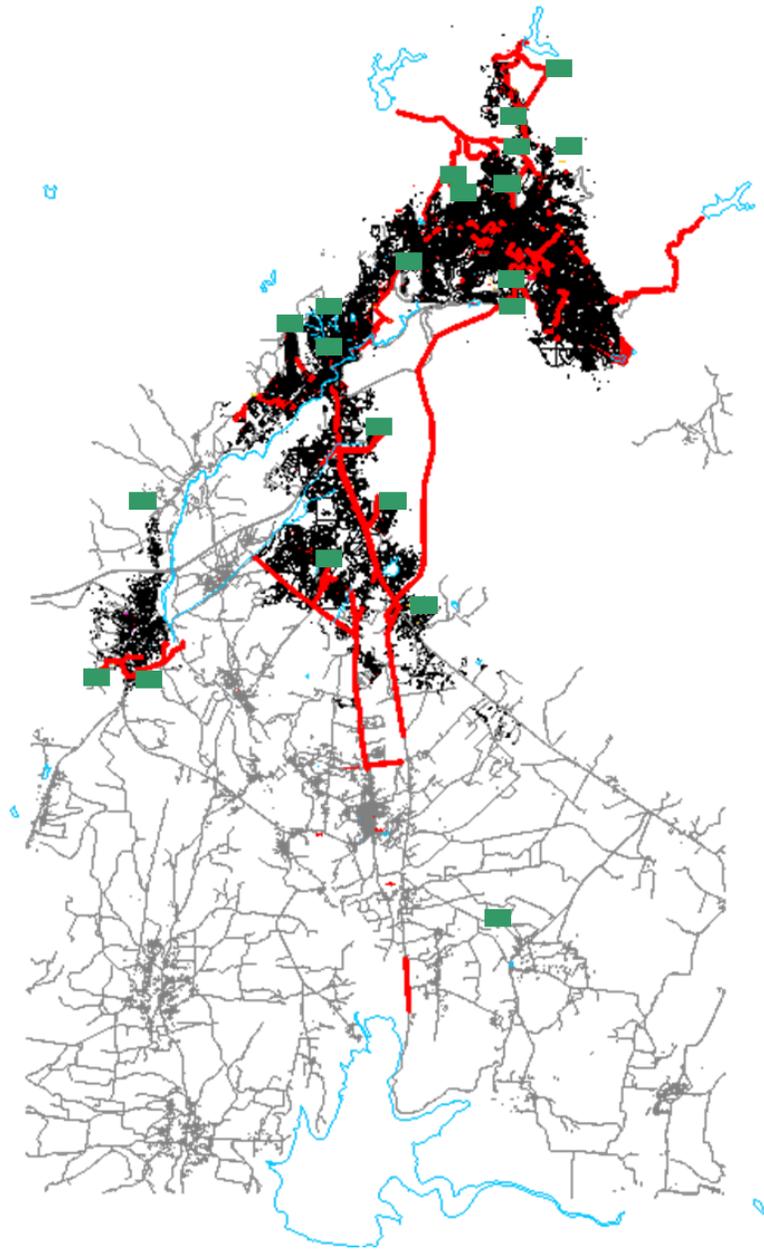


Figura 1.3 Tanques de regulación

Planta potabilizadora (Filtros)

El agua cruda se potabiliza a través de la Planta Clarificadora de Filtración Rápida y Desinfección con gas Cloro, cuyo propósito es dar tratamiento de clarificación y desinfección del agua cruda proveniente de las presas La Esperanza y La Soledad, para que el efluente cumpla con la Norma Oficial Mexicana

1.3 Entorno físico e hidrológico de la región de estudio

1.3.1 Localización

La región de estudio comprende 28 municipios en los que la porcicultura es de gran importancia desde el punto de vista socioeconómico. Éstos se sitúan dentro de la región hidrológica Lerma - Chapala - Santiago y comprenden los estados de Guanajuato, Jalisco y Michoacán. La Figura 1.4 muestra la localización precisa de la región dentro de la República Mexicana, el área que cubre esta región es de aproximadamente 13,800 km².

Los municipios pertenecientes al estado de Guanajuato son: Abasolo, Cuerámaro, Huanímaro, Irapuato, Manuel Doblado, Pénjamo, y Romita. Los pertenecientes al estado de Jalisco son: Acatic, Arandas, Atotonilco, Ayotlán, Degollado, Jesús María, Juanacatlán, La Barca, Ocotlán, Poncitlán, Tepatitlán, Tototlán, Jamay, Zapotlán y Zapotlanejo. Los pertenecientes al estado de Michoacán son: Briseñas, La Piedad, Numarán, Tanhuato, Vista Hermosa y Zináparo.

1.3.2 Características físicas

La región de estudio se encuentra situada en la parte central de país, y forma parte de la región hidrológica conocida como Lerma - Santiago. La región está delimitada por el parteaguas natural del sistema hidrológico conformado por el río Lerma -Lago Chapala- y río Santiago, desde sus orígenes en la Laguna de Almoloya hasta su desembocadura al Océano Pacífico, incluyendo las cuencas cerradas de Pátzcuaro, Cuitzeo y Sayula - San Marcos. Así su extensión superficial es de 134,581 km², que representan el 7 % del territorio nacional.

De acuerdo a la regionalización para el manejo del agua de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la región colinda con otras cinco subregiones: al oriente con Valle de México, al nor-oriente con Golfo Norte, al norte con Nazas Aguanaval, al nor-poniente con Pacífico Norte, al sur con Pacífico Centro y al poniente con el Océano Pacífico (Figura 1.5).

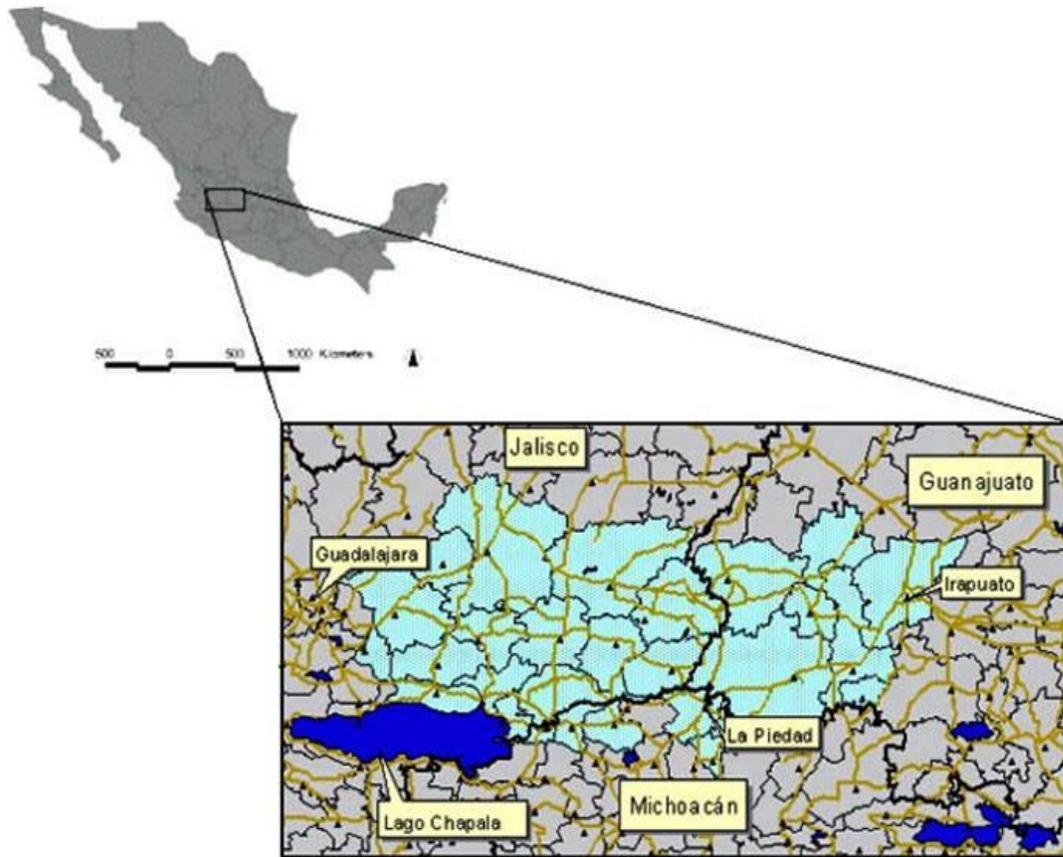


Figura 1.4. Zona de estudio

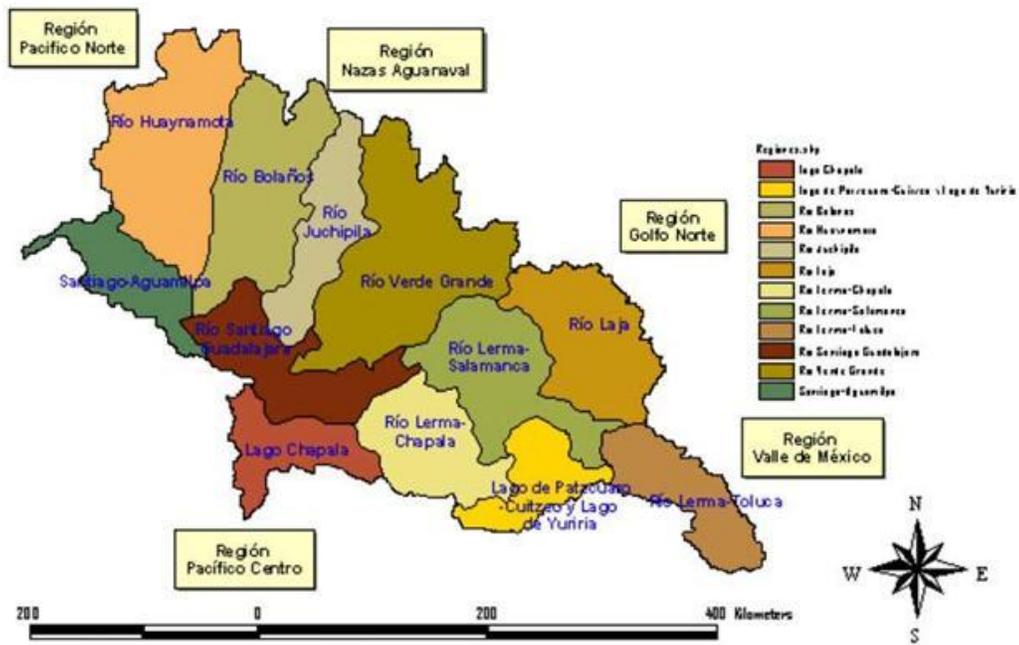


Figura 1.5 Características físicas

Fisiográficamente la región está conformada por tres grandes provincias: Eje Neovolcánico que cubre el 49% de la superficie de la Región, Sierra Madre Occidental el 38%, y la Meseta Central el 13%.

Del uso del suelo del área de estudio, destaca por la superficie que ocupa el manejo agrícola, pecuario y forestal con el 70.54%, matorral espinoso con el 11.83%, bosque de encino con el 5.83% y el pastizal natural con un 5.40%, entre otros.

Se identifican tres climas dominantes, semicálido templado, templado subhúmedo y semiárido templado con lluvias en verano. Con temperatura media anual de 18.3 °C.

El área está expuesta a la ocurrencia de eventos extremos como son: las sequías, granizadas, heladas, inundaciones y, con baja ocurrencia y efectos secundarios, los ciclones. Las unidades de suelo dominantes que se ubican en el área son en un 42% vertisoles, 28 % feozem, 16 % luvisoles, y 14 % otros.

La precipitación promedio anual es de 769 mm, mostrando una concentración del 87 % en los meses de Junio a Octubre. La distribución espacial de la precipitación en el área de estudio, muestra un gradiente longitudinal en la dirección este - oeste. El rango de valores va desde 390 mm, en la parte este, a más de 1100 mm en el oeste, con una desviación estándar de 117.97 mm (Figura 1.6). Los municipios que reciben mayor cantidad de precipitación se encuentran en su totalidad en el estado de Jalisco

La evaporación media anual varía desde 600 mm para los municipios del estado de Guanajuato hasta 1800 mm para los de Jalisco, concentrándose 44 % en los meses de Marzo a Junio. El máximo y mínimo mensual se registra entre mayo y diciembre.

La temperatura media anual es de 18.3 °C, con variaciones mensuales de +- 3 °C, registrándose la máxima en los meses de mayo y junio, y la mínima en el mes de Enero.

La hidrografía de la región se distingue por tener un cauce principal que es dividido en dos tramos, río Lerma y río Santiago, por un parteaguas natural, el Lago de Chapala.

Sus principales afluentes, por la margen izquierda son: La Gavia, Jaltepec, Angulo y Duero. Por margen derecha: Laja, Guanajuato-Silao, Turbio, Zula, Calderón, Verde, Juchipila, Bolaños y Huaynamota.

El cauce principal en sus 1,194 km de longitud, 29% lo realiza a elevaciones superiores a 2,200 msnm, 50 % entre 2,000 y 1,500 y una tercera parte abajo de los 500 msnm. Describe dos comportamientos diferentes: uno, en el tramo Lerma - Chapala en escalera pasando por grandes valles (Toluca, Bajío y Ciénega); el de Santiago con pendientes mayores y continuas.

Los afluentes con más superficie drenada son: Verde, Huaynamota, Bolaños, Laja, y Juchipila; los tres primeros cubren el 40 % de la superficie de la región (Figura 1.7).

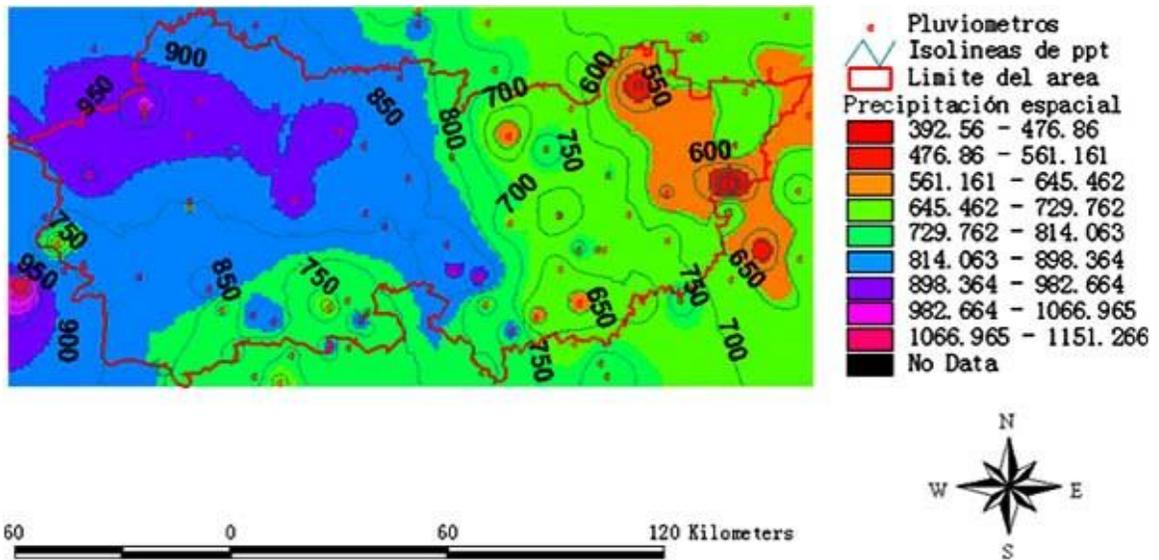


Figura 1.6 Precipitación promedio

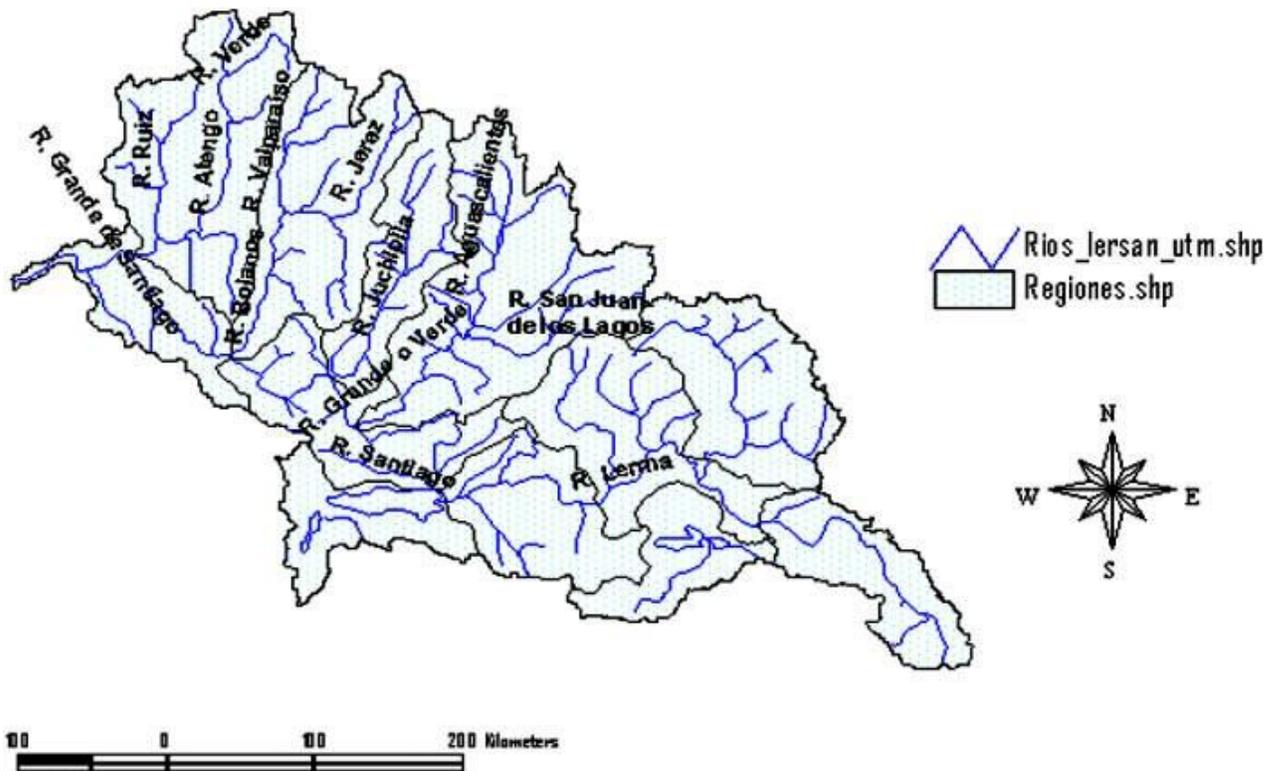


Figura 1.7 Afluentes más importantes

El escurrimiento virgen medio anual de la región es de 14,019 hm³, 3 % del volumen nacional; de este escurrimiento, 44% se genera en la cuenca del río Lerma y el resto en la de Santiago, concentrándose en un 68% en la época de lluvias (junio a octubre). Cabe señalar que una tercera parte se genera en la subregión Bajo Santiago antes de su desembocadura al Océano Pacífico.

El régimen natural del escurrimiento se ha modificado principalmente en la cuenca del río Lerma, debido a su alto aprovechamiento, a la regulación de sus grandes obras hidráulicas y la desaparición de manantiales provocada por la sobre explotación de las aguas subterráneas en donde los afluentes, originalmente perennes, ahora presentan tramos sin escurrimiento en algunas épocas del año.

El Lago de Chapala es el vaso natural más grande del país y tercero en Latinoamérica.

La superficie agrícola con riego muestra un crecimiento del 70% durante los últimos 30 años, determinándose para 1995 del orden de 1'045,244 ha, que representan el 17.4% del total nacional.

La extracción promedio de los ciclos del período 1990-1995 fue de 7,002 hm³, lo que representa el 14% del total nacional. El 80% de este volumen se aprovecha en la cuenca del río Lerma, sobresaliendo la subregión Medio Lerma por ocupar el 53% de las extracciones regionales.

La fuente de abastecimiento principal es la superficial con el 57%, y la subregión Medio Lerma, dispone del 51 y 60% de las aguas superficiales y subterráneas, respectivamente.

La superficie regable regional demanda un volumen anual de 7,832 hm³, lo que significa que actualmente solo se satisface el 89%. Los principales cultivos sembrados son el maíz que cubre el 58% de la superficie cultivable, frijol con el 15%, sorgo 14%, trigo 8% y 5% otros cultivos. Se dispone de 17,319 obras hidroagrícolas, 90% para el aprovechamiento de las aguas subterráneas.

El balance hidráulico de las aguas superficiales plantea en sus grandes números que la región se clasifica como deficitaria, sin embargo, a nivel de cuenca, la del río Lerma coincide como deficitaria y la del río Santiago va de disponibilidad escasa a abundante en su parte baja. A nivel de sus 27 subcuencas, el 59% muestran déficit, el 7% en equilibrio, y el 34% muestran de disponibilidad a abundancia.

Con respecto al agua subterránea, la recarga de los 85 acuíferos ubicados en la región resultó en 5,293 hm³, de donde se extrae por el sistema de usuarios 5,773 hm³, en tales condiciones el balance de aguas superficiales en sus grandes números muestra que la región Lerma-Santiago está sobre explotada. A nivel de las subregiones el déficit más importante se presenta en las subregiones Medio Lerma y Alto Santiago.

1.3.3 La región hidrológica Lerma - Chapala -Santiago.

Cuencas hidrológicas del Estado de Guanajuato.

La región hidrológica Lerma - Chapala - Santiago es de gran importancia para el estado de Guanajuato, ya que representa un 83% de la superficie estatal e incluye a un 98% de la población y prácticamente a la totalidad de la industria existente.

La principal corriente dentro de esta entidad es conocida como Río Lerma, el cual fluye de Oriente a Poniente en la Región Sur del Estado, y además en su tercio final constituye el límite austral de esta entidad con el estado de Michoacán.

La región está dividida en cuencas de las cuales seis incluyen porciones del Estado y dos específicamente forman parte del área de estudio, siendo estas: Cuenca Lerma - Salamanca y Cuenca Lerma - Chapala.

Cuenca Lerma - Salamanca. Drena una superficie correspondiente a la Zona Centro y Sur del Estado. Tiene su origen en la presa Solís en donde recibe las aguas de las subcuencas Presa Solís - Salamanca y forma la conocida bifurcación del Lerma; comprende además los afluentes del centro de la entidad, Salamanca - Río Angulo, arroyo Temazcatío y Río Guanajuato - Silao. En esta área el río Lerma recibe la corriente Arroyo Feo, que conduce aguas residuales de la zona urbana de la ciudad de Salamanca y aguas residuales industriales, que provienen del corredor industrial de esta localidad, así como de la refinería de PEMEX que se encuentra en la Cuenca Río Lerma y Chapala. Comprende la porción Suroeste del Estado; se inicia en la población de Villa Jiménez hasta los límites con el estado de Jalisco recibe las aguas de su único afluente en el estado de Guanajuato, el Río Angulo - Briseñas. En este tramo se estima que actualmente la calidad del agua se puede ver alterada, debido a que, existe un aporte de consideración de fuentes contaminantes. Pénjamo y Manuel Doblado son municipios que se encuentran en esta cuenca.

La distribución de las diferentes cuencas, así como el polígono que delimita el área de estudio se presentan en la Figura 1.8

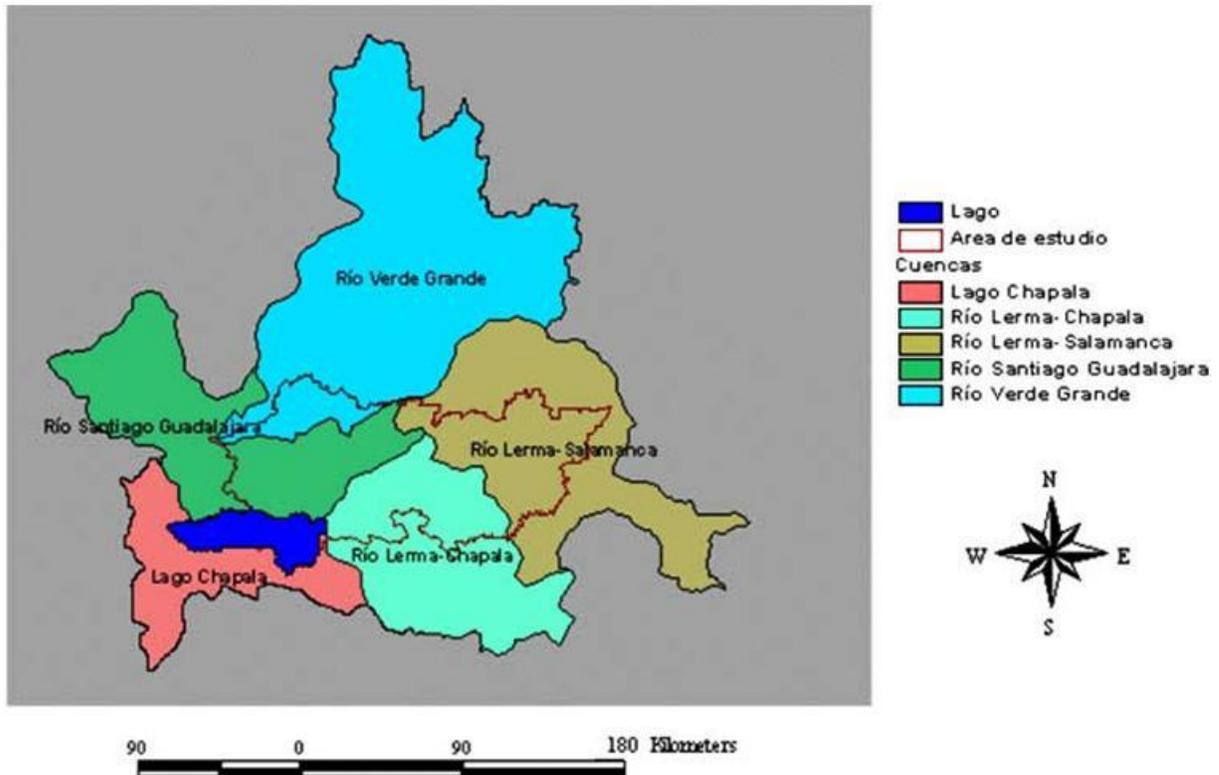


Figura 1.8 Distribución de cuencas

1.4 Situación del Sistema de Agua Potable

1.4.1 Captación

Como ya se mencionó, el sistema de agua potable de la ciudad de Guanajuato cuenta en la actualidad con tres fuentes de abastecimiento superficiales, las cuales sumadas abastecen a la población, representando el 44%. A continuación se describirán cada una de las fuentes por separado:

1.4.2 Fuentes de abastecimiento superficial

El territorio del estado de Guanajuato se encuentra ocupado por dos regiones hidrológicas: la RH12 Lerma-Santiago, que ocupa aproximadamente el 87% de la superficie y fluye hacia la vertiente del océano Pacífico; y la región Pánuco, que abarca el resto de la superficie. Los principales ríos y afluentes que definen las seis cuencas hidrológicas son: río Lerma-Toluca, río Lerma-Salamanca, río Lerma-Chapala, lago de Pátzcuaro- Cuitzeo-Yuriria, río Laja, río Tamuín y río Moctezuma.

En la cuenca del Lerma, se encuentran los distritos de riego del estado de Guanajuato como son: el distrito no. 11 “Alto río Lerma”, el distrito no. 85 “La Begoña” y la parte correspondiente a la entidad del distrito no. 87 “Rosario-Mezquite”, así como 90% de las unidades de riego para el desarrollo rural. El distrito

de riego no. 11 es el más grande de la zona centro del país, abarcando una superficie de 112,670 hectáreas, de las cuales son regadas 76,000 con aguas superficiales del sistema de presas Tepuxtepec-Solis, laguna de Yuriria y presa la Purísima. Las 36,670 hectáreas restantes son regadas con agua de 1,700 pozos..

La infraestructura hidráulica está constituida por 1,500 almacenamientos, los cuales tienen 3 principales usos: agua potable, control de avenidas y riego.

Presa de La Esperanza

La cuenca de La Esperanza es un Área Natural Protegida (ANP) del Estado de Guanajuato, cuenta con 1832 hectáreas. Es una microcuenca hidrológica que se conforma de 4 arroyos de carácter temporal que desembocan en la Presa La Esperanza, la cual abastece de agua a la ciudad de Guanajuato. Cuenta con vegetación dominante de bosque de encino ocupando un 66% del área total.

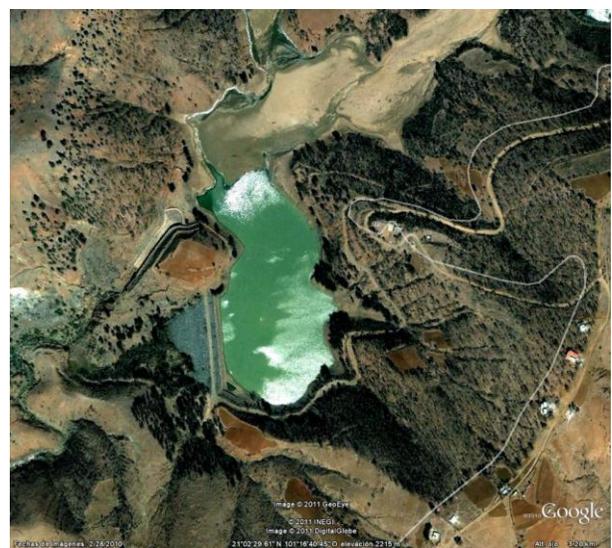


Figura 1.9 Presa La Esperanza y Presa La Soledad

Presa La Soledad

La Cuenca de La Soledad se localiza en el Municipio de Guanajuato y ocupa una superficie de 2,782 hectáreas, siendo decretada como ANP el 18 de Agosto del 2006 por contar con un ecosistema de bosque de encino para el hábitat de aves migratorias y detectado de existencia en este lugar de mamíferos pequeños. La Presa Soledad se sitúa en el Mineral de Santa Ana a $21^{\circ} 02' 24.88''$ N y $101^{\circ} 16' 45.86''$ W dentro de la Cuenca Hidrológica de La Soledad. Cabe mencionar que de la Presa de la Soledad sale el Arroyo Santa Ana, al cual en el Tajo de Adjuntas, se le unen los arroyos La Hacienda, Conejas y Las Raíces, que provienen de la Presa Peregrina.

La operación en la Presa La Soledad para el abastecimiento del agua hasta la Planta Potabilizadora se lleva a cabo por gravedad a través de la obra de toma equipada con cinco válvulas y tubería de 14" de fierro fundido hasta la Planta Potabilizadora. La capacidad de operación actual es de aproximadamente 1,426,947 m³, pero su capacidad de operación de diseño fue de 2'400,000 m³.

Presa Mata

La cuenca de la presa Mata se origina por la carretera a Dolores Hidalgo, en el poblado de Santa Rosa, en la sierra de Guanajuato, donde se origina el arroyo San Antonio, y a lo largo de unos 6.5 kilómetros se encuentra la cortina de la presa, a la cual desemboca por su margen derecha siendo su principal afluente. El área total de la cuenca de la presa de Mata es de 2,652.87 hectáreas.

La Presa Mata se ubica hacia el oriente de la ciudad, tiene una capacidad de almacenamiento de 1'950,0000 m³; eventualmente se ha utilizado con fines de abastecimiento para la ciudad de Guanajuato. A esta presa la alimentan, por la margen derecha el Arroyo San Antonio, formado principalmente por el Arroyo la Hacienda y el Arroyo Canelas, los cuales se unen cerca del poblado Monte de San Nicolás.



Figura 1.10 Presa de Mata

A continuación se presenta un resumen de estas fuentes de abastecimiento con los datos e información más relevantes:

De acuerdo a la Tabla 1.2 nos da una capacidad total de 5'160,000 de metros cúbicos por año, si actualmente se está extrayendo un promedio de 131 l/s, lo que

me da un consumo de 4'131,216, se tendría un excedente de 1'028,784 si las presas se llenaran a su capacidad de operación; lo que muchas veces no sucede. Sin embargo, de acuerdo a los volúmenes reportados y la capacidad de la Potabilizadora, se puede abastecer a 51,000 habitantes.

Captación	Cap. (hm ³)	Azolve Estimado (hm ³)	Volumen disponible total estimado (hm ³)	Vol. Disp.(hm ³)	Líneas de conducción	Situación de la Concesión
La Soledad	4.2	1.7	2.5	1.42	PP: 2,305 m de longitud, tubo FoFo de 14". Cap. Máx de Oper. : 200 l/s	En trámite de renovación
La Esperanza	1.6	0.7	0.9	0.8	PP: 2,180 m de longitud, tubo AC de 14". Cap. máx de oper: 200 l/s	En trámite de renovación
De Mata	1.95	0.2	1.75	0.7	Sector Oriente, aprox. 2,050 m de tubo de acero, diámetro más frecuente 10". Cap. Máx de Oper: 80 l/s	Vigente a Cía Minera las Torres.

Tabla 1.2 Sistema de agua potable de la Ciudad de Guanajuato en 1955

1.4.3 Fuentes de abastecimiento subterráneas

Los 17 acuíferos que han sido delimitados en todo el estado son: Xichú, Ocampo, Jaral de Berrios, río Laja-San Felipe, Valle de Laguna Seca, Valle de León, Valle del Río Turbio, Silao-Romita, Huanímaro, Valle de Celaya, Pénjamo-Abasolo, Ciénega Prieta-Moroleón, Valle de Salvatierra, Valle de la Cueva, Valle de Acámbaro, Valle de Cuitzeo y Valle de los Apaseos. En el año 2000 se publicó el resultado de los balances de agua subterránea de los acuíferos del estado, en base a la delimitación de 15 áreas de estudio, de lo cual se obtuvo el resultado del déficit de 1,246 hm³/año, con un abatimiento promedio anual de 2.1 m.

En el año 2001 se obtuvieron los resultados de los balances de 15 áreas de estudio, dando el resultado del déficit de 1,272 hm³/año y un abatimiento promedio anual de 2.3 m. Asimismo el 5 de diciembre de 2001 la Comisión Nacional del Agua publicó en el Diario Oficial la denominación única para los acuíferos de la República Mexicana, considerando en el estado 17 acuíferos y 2 de la zona norte, que se comparten con el estado de San Luis Potosí. A partir del año 2002 se trabajó con los resultados de la integración de información geológica - geohidrológica en el estado y se delimitaron 20 sistemas de acuíferos, incluyendo los 2 de la zona norte que forman parte del estado de San Luis Potosí. El resultado del déficit de 18 acuíferos fue de 1,114 hm³/año, con un abatimiento promedio anual de 1.9 m.

El 56% de la ciudad de Guanajuato se abastece a través de fuentes subterráneas que se encuentran ubicados dentro del Valle Silao-Romita. Este valle se localiza en la parte centro del Estado de Guanajuato entre los paralelos 20°42' y 21°09' de latitud norte y los meridianos 101°10' y 101°44" de longitud oeste. Incluye principalmente a los municipios de Silao y Romita y abarca en total 1950 kilómetros cuadrados. En la porción oriental del área de estudio se encuentra la ciudad de Guanajuato y en el límite sur, parte de la ciudad de Irapuato.



Figura 1.11 Acuífero Silao-Romita, fuente principal de abastecimiento de Gto.

El valle en estudio presenta una forma plana entre Silao y Romita, y está limitado por la sierra de Guanajuato al noreste y este, por las sierras de Pénjamo y El Veinte al suroeste y sur, así como por lomeríos hacia el noroeste. El drenaje superficial escurre de norte a sur a través de dos corrientes principales, el río Silao y el río Guanajuato, los cuales confluyen en la parte sur de la zona de trabajo.

La zona de Puenteillas se localiza a 12 kilómetros al sur de la ciudad de Guanajuato, sobre la margen izquierda del río Guanajuato. Reviste especial

importancia debido a que en ella se localiza un sistema de pozos que auxilia al abastecimiento de la capital del Estado.

El volumen del sistema Puenteillas es captado en un cárcamo ubicado en Yerbabuena. Su interconexión se muestra en la Figura 1.13 que es una obra que llevó 3 etapas de construcción desde el año 2003 al 2007.

La producción subterránea está constituida por 17 pozos, los cuales producen, en promedio, 468,000 m³ al mes, representando el 56% del total que serían aproximadamente 838 000 m³ con un gasto discretizado de 178 l/s (gasto continuo las 24 horas, promedio).

El volumen total extraído de los pozos no llega directamente al cárcamo, ya que en algunos puntos se conectan las líneas de distribución de ciertas localidades.

El SIMAPAG opera también el sistema de agua potable de la localidad de Santa Teresa que está aledaña a la ciudad de Guanajuato, por lo que en algunas tablas estarán reflejadas las características de los pozos de esa localidad.

1.4.4 Abastecimiento y disponibilidad del agua superficial y subterránea

El estado presenta graves problemas de abastecimiento de agua. Prácticamente toda el agua superficial está siendo utilizada y solamente algunos pequeños volúmenes están disponibles en la parte norte del estado, en la zona que corresponde a la RH 26 Alto Pánuco. Esta sobre-utilización del agua superficial ha propiciado que un gran número de cauces permanezcan secos o conduzcan un caudal mínimo.

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, la extracción es mayor que la recarga, lo que provoca el abatimiento en todos los acuíferos. Anualmente se extraen 5,751 hm³, tanto de aguas superficiales como subterráneas. El principal usuario del agua es el sector agrícola, con un consumo anual del 87.7% del total del agua disponible, equivalente a 5,049.37 hm³. Éste es seguido por el sector público-urbano, con el 11% y por el sector industrial, con el 1.3%.

La creciente pérdida de la cubierta vegetal y la erosión del suelo tienen un impacto negativo directo, muy significativo sobre la capacidad de recarga de los acuíferos. Durante los períodos de alta precipitación, la cantidad de agua que se evapora es mayor y, por lo tanto, ésta no alcanza a infiltrarse y recargar los mantos freáticos.

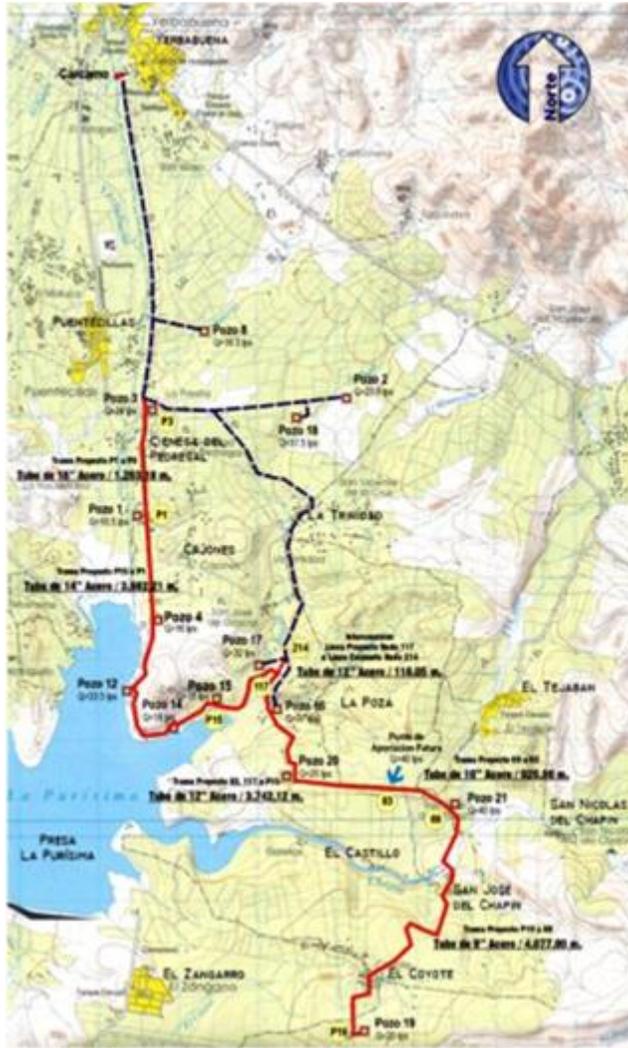


Figura 1.12 interconexión Sistema Puentecillas

Disponibilidad de aguas superficiales

Se ha estimado que el escurrimiento superficial generado en la porción de la RH 12 Lerma-Santiago es de 1,364 hm³ al año.

A partir de esta información y de la demanda anual reportada, se infiere que el uso del agua superficial disponible es excesivo, lo que reduce la infiltración al subsuelo, la disponibilidad del recurso y la preservación de los cuerpos de agua.

El escurrimiento superficial generado en la porción de la RH 26 es de 150 hm³ al año, es importante mencionar que este volumen prácticamente no se aprovecha en el estado de Guanajuato, debido a que fluye hacia el Golfo de México y es utilizado en otras entidades, principalmente en San Luis Potosí.

Disponibilidad de aguas subterráneas

El incremento de los volúmenes de extracción ha provocado un abatimiento anual de los acuíferos de 2 metros en promedio. El balance de agua subterránea muestra una carencia de 1,245.8 hm³ anuales.

El sector agrícola consume más del 80% del agua extraída y de ésta, más del 40% se pierde durante su conducción. En este sentido, se hace evidente la necesidad de modificar los procesos de extracción, manejo y uso del agua, para transformarlos en procesos eficientes de aprovechamiento, con la consiguiente protección y ahorro de este recurso vital.

1.4.5 Red de distribución

Se cuenta con una red de distribución de más de 365 km, de los cuales aproximadamente 115 km conforman la red primaria y 250 km la red secundaria, con diámetros desde 1 hasta 4" para la red secundaria y mayores de 4 hasta 16" para la primaria.

En términos generales dentro de la red de agua se presentan altas presiones de operación por los desniveles topográficos (entre 1 kg/cm² y 14 kg/cm²). Es importante decir que se han minimizado en gran medida las altas presiones con VRP, sin embargo la configuración del sistema para alimentar las zonas altas cruzando zonas bajas minimiza la eficiencia de estos dispositivos, y manteniendo las presiones altas.

Es importante decir que el agua que se le distribuye al consumidor está bacteriológicamente protegida con un sistema de cloración que cubre el 100% de la cobertura a través de un monitoreo permanente del cloro residual.

1.4.6 Regulación

La regulación del sistema se hace en 21 tanques reguladores con una capacidad acumulada de 11,500 m³, siendo en su mayoría de tipo superficial.

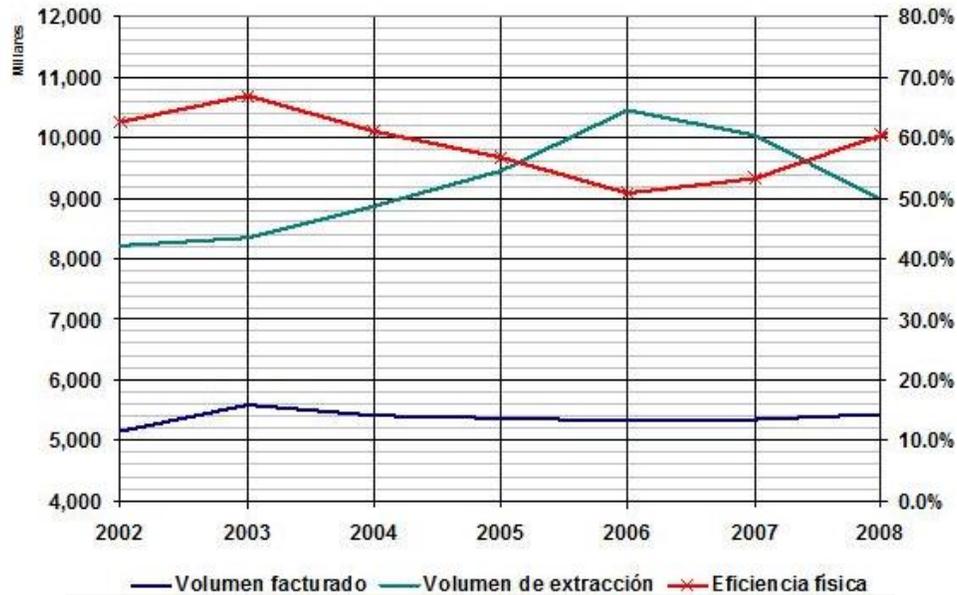
1.4.7 Tomas domiciliarias

El SIMAPAG tiene un porcentaje de cobertura de agua potable del 92%, la distribución se hace a través de 32,440 tomas; de las cuales 30,393 tomas son domésticas, 1,802 comerciales y 245 industriales, con más del 95 % de domésticos.

1.4.8 Agua no contabilizada en el sistema (balance hidráulico preliminar)

Con base en los datos proporcionados en el Plan Maestro del SIMAPAG se tiene un porcentaje de pérdidas físicas del 64% y una eficiencia global del 34%. Algo

importante es que la mayor parte tiene micro medición (97.8%), con 705 usuarios domésticos con cuota fija y 12 comerciales. Según el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores del Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA), Guanajuato cuenta con micro medición del 98%



Año	Volumen facturado (m ³)	Volumen producido (m ³)	Eficiencia de facturación (%)
2002	5,149,577	8,226,570	62.60
2003	5,584,158	8,348,152	66.90
2004	5,404,737	8,859,744	61.00
2005	5,377,187	9,467,280	56.80
2006	5,333,034	10,466,340	51.00
2007	5,349,917	10,035,923	53.30
2008	5,432,652	8,986,618	60.50
2009	2,799,500	4,236,326	66.10

Figura 1.13 Agua no contabilizada

2 SITIO DE ESTUDIO: ZONA SUR

2.1 Recopilación de información

Para conocer el comportamiento de la red hidráulica de agua potable en la ciudad de Guanajuato, caracterizar de forma correcta los elementos que actualmente forman dicha red y posteriormente proponer los elementos que optimizarán su operación hidráulica, se solicitó a la Dirección de Planeación y Programación del SIMAPAG el catastro actualizado de la red de agua potable existente.

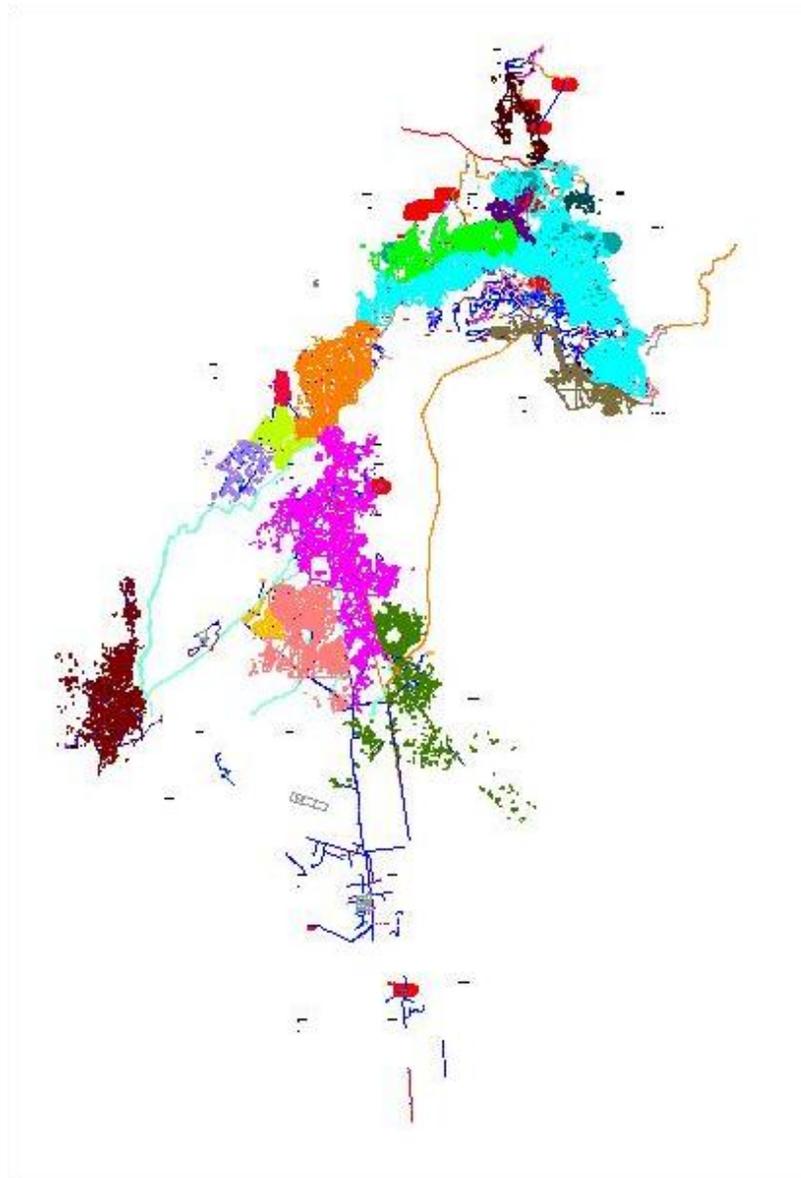


Figura 2.1 Catastro de la red de agua potable de Guanajuato

Es importante recordar que la obtención de información confiable y precisa de los elementos que componen el sistema de distribución es parte fundamental en la construcción del modelo hidráulico y, por ende, de óptimos resultados.

Los elementos que componen un sistema de distribución son:

- Tuberías
- Válvulas
- Bombas
- Depósitos o tanques de almacenamiento y regularización
- Pozos
- Plantas potabilizadoras
- Todos los elementos que sirvan para reproducir el comportamiento hidráulico de la red.

En esta fase de recopilación se revisarán y actualizarán las fuentes de información sobre la red de distribución de la ciudad de Guanajuato. Este trabajo requiere de una importante colaboración del SIMAPAG. Este apoyo se debe a que la gente del organismo operador trabaja diario en la red que se incluirá en el modelo.



Figura 2.2 Llegada a tanque Filtros

2.2 Topología de la red

La topología de la red se expresa por la forma en que están conectados los diferentes elementos que la componen. Esta información se obtiene a partir de los planos de la red otorgados por el organismo operador. Estos podrán representar diferentes elementos como: tanques, bombas, uniones entre tuberías, cambios de dirección, válvulas, pozos, etcétera.

En condiciones de simulación hidráulica en estado permanente, los nodos generalmente requieren de dos datos: cota de terreno y demanda (si es el caso).

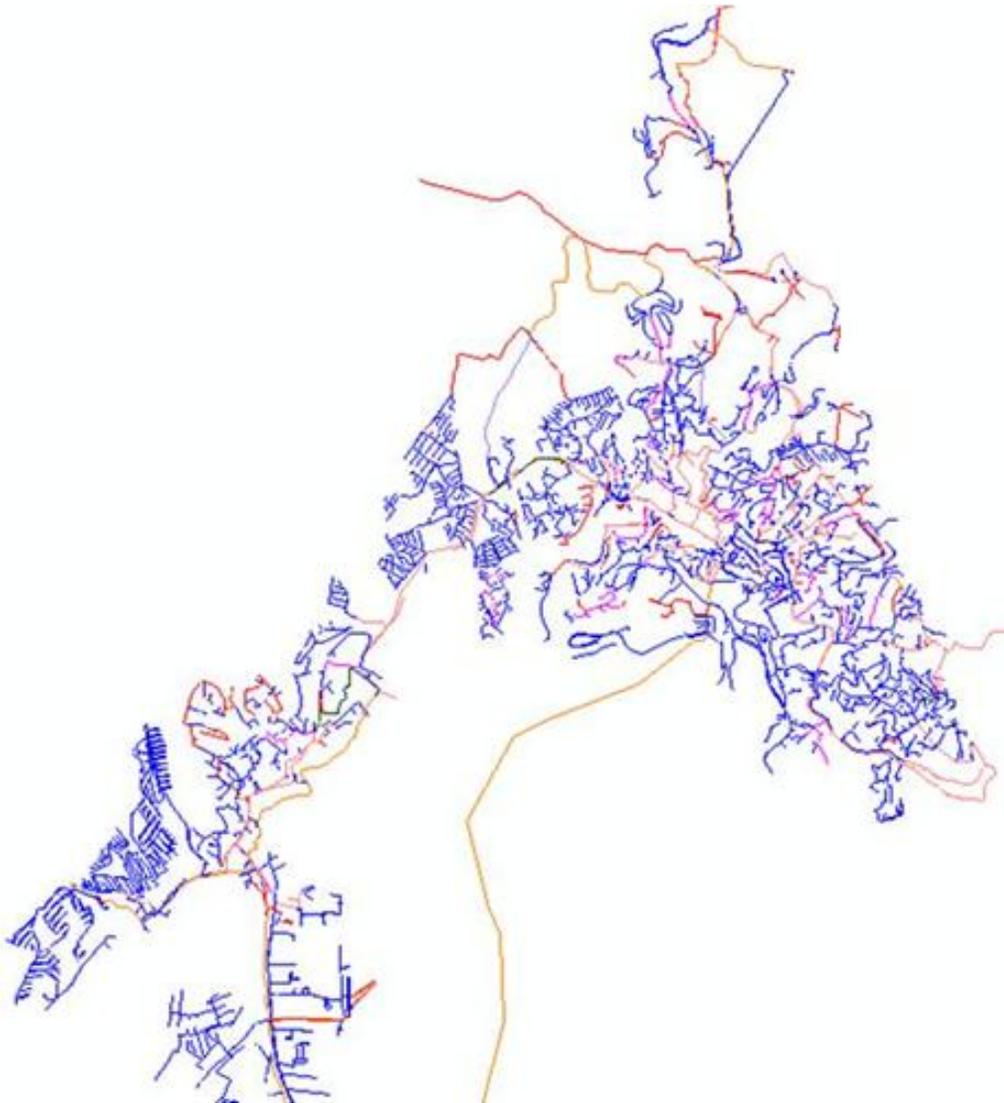


Figura 2.3 Elementos de la red

2.3 Topografía

El SIMAPAG entregó planos topográficos que fueron generados de un levantamiento de 1725 puntos.

2.3.1 Altimetría levantamiento de puntos con GPS de alta precisión

Los trabajos geodésico-topográficos que se desarrollaron tuvieron como propósito inicial la obtención de valores tridimensionales en 1,725 puntos, mismos que fueron establecidos conforme a la topografía accidentada del terreno.

Dichos trabajos se realizaron en apego a los lineamientos técnicos especificados en el acuerdo que reforma y adiciona las normas técnicas para levantamientos geodésicos del 27 de Abril de 1998, conforme a las atribuciones que le confiere la Ley de Información Estadística y Geográfica y su Reglamento y al Sistema Geodésico de Referencia el ITRF 92 época 1988.0, adoptado por el INEGI.

Cabe mencionar que el INEGI cuenta con la Red Geodésica Nacional Pasiva que está constituida por más de 80,000 vértices geodésicos distribuidos en la República Mexicana. Dichos vértices reciben el nombre de "estaciones GPS" y están materializados sobre el terreno con una placa empotrada que identifica al punto. Las coordenadas que definen su posición han sido generadas a partir de levantamientos utilizando el Sistema de Posicionamiento Global, referidas al elipsoide GRS80.



Figura 2.4 Estación GPS en casa James

También se contempla el Sistema Geodésico Vertical definido por el Datum Vertical Norteamericano de 1988 (NAVD88), debiéndose expresar sus valores en metros en el sistema de alturas ortométricas (H).

El INEGI en Guanajuato informó de la existencia de seis estaciones GPS en la zona de trabajo, identificados con las claves 117240, 117239, 208304, 208422 y 208703,

pertenecientes a la red geodésica horizontal y el vértice geodésico 406-5 de la red geodésica vertical.

Como parte de los trabajos se realizó una combinación tanto de los valores de la red geodésica horizontal como del sistema geodésico vertical para contar con las coordenadas geodésicas en un punto de partida (latitud, longitud y altura sobre el nivel medio del mar).

2.3.2 Tanques

Los tanques que se encuentran en la red de distribución de Guanajuato se presentan en las siguientes tablas, divididos en dos zonas, la norte y la Sur:

Zona norte (centro)

Esta zona está compuesta por cinco tanques:

Tabla 2.1 Tanques de abastecimiento, Zona Norte

Tanque	Tipo	Salidas	Diámetro	Material
Filtros	superficial	tres	acero	Dos de 12" y 10"
El Venado 1	superficial	tres	acero	
El Venado 2	superficial	tres	PVC y galvanizado	10, 6 y 4"
La Venada	superficial	dos	Acero y galvanizado	4"
El Borrego	superficial	una	acero	6"

La zona Sur está compuesta por 8 tanques, en la tabla siguiente se mencionan sus características principales.

Tabla 2.2 Tanques de abastecimiento, Zona Sur

Tanque	Tipo	Salidas	Diámetro (")	Material
Yerbabuena	Superficial	1	6	PVC
Cervera	Elevado	2	8	PVC
			4	PVC
Caminera	Elevado	1	10"	PVC
Tres Estrellas	Superficial	2	10	Acero
			4	Acero
El Marfil	Superficial	2	6	A-C
			6	Acero
Terasas	Superficial	1	8	AC
Ex Hacienda Santa Teresa	Elevado	1	8"	Acero
Biznagas	Superficial	1	8"	Acero

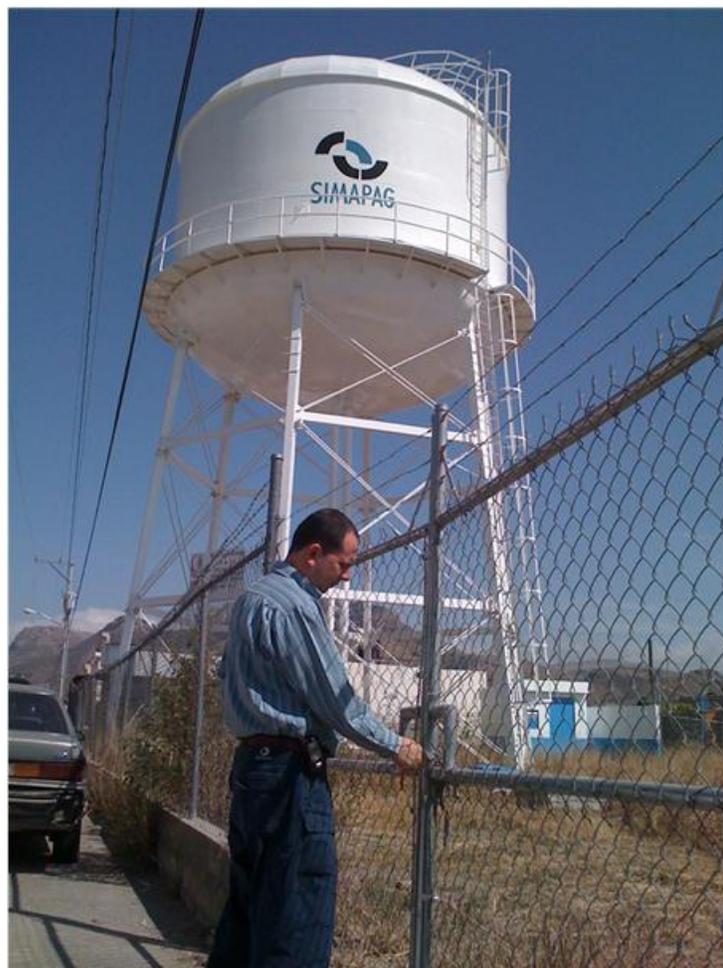


Figura 2.5 Tanque Cervera

2.4 Recorridos preliminares

2.4.1 Presiones en la red

El régimen de presiones en una red depende de dos factores: la necesidad del servicio y las condiciones topográficas de la localidad.

Las necesidades del servicio obligan por una parte a seleccionar una presión mínima capaz de atender las edificaciones y, por otro lado, presiones muy altas en la red requerirán de tuberías y accesorios más resistentes (más costosos) e incrementarán las fugas (en caso de existir).

A partir del punto de suministro de agua al sector, la red de distribución debe ser capaz de entregar el gasto demandado con presiones mayores a 1.0 kg/cm^2 y menores a 5.0 kg/cm^2 , tanto en las condiciones de máxima demanda, como en las condiciones de operación media y mínima. Por lo tanto, en ningún punto de la red la presión debe exceder la presión máxima permisible que es de 5 kg/cm^2 .

La presión mínima debe verificarse en la red de distribución de tal manera que en todos los puntos se tenga una presión por lo menos igual a ésta en la hora de máxima demanda y se garantice un suministro mínimo en toda la red. En cambio, la máxima se presentará cuando exista poca demanda y la red continúe funcionando a presión. El establecimiento de estas condiciones en una localidad se combina con su topografía.

A continuación se dan algunas recomendaciones para controlar presiones mínimas y máximas.

2.4.1.1 Control de presiones bajas

Sistemas por gravedad con cotas menores al tanque de regulación.

Cuando existen zonas con presiones menores a 1 kg/cm^2 el Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable se utilizarán las herramientas del software de modelación para identificar las tuberías que abastecen dicha zona y que tienen una pérdida unitaria elevada debido a altas velocidades. Aquellas tuberías con velocidades mayores a 1.5 m/s tendrán pérdidas unitarias importantes.

Para mejorar las presiones, se apoyará el suministro a la zona con baja presión mediante la instalación de tuberías nuevas, cambio de diámetro en tuberías con velocidades altas, o conexiones de cruceros desconectados. Este tipo de mejoras aplican para éste y todos los tipos de sistemas que se presentan a continuación.

- Sistemas por gravedad con cotas mayores al tanque de regulación.

Cuando existen zonas con cotas mayores al desplante del tanque de regulación, se requerirá de rebombes instalados en el mismo tanque de regulación para zonas cercanas al mismo, y rebombes en línea tipo booster para zonas lejanas a éste.

Las presiones en estas zonas serán reguladas mediante el diseño de una carga apropiada de trabajo del equipo, o mediante el uso de variadores de velocidad para mantener una carga constante.

- Sistemas con bombeo directo

Las presiones en estas zonas serán reguladas mediante el diseño de una carga apropiada de trabajo del equipo, o mediante el uso de variadores de velocidad para mantener una carga constante. Habrá que tener cuidado de no generar zonas de alta presión al aumentar la carga de trabajo de un equipo de bombeo para abastecer otra zona con presiones bajas.

2.4.1.2 Control de presiones altas

En sectores con diferenciales de cotas mayores a 50 metros será necesario el control de presiones en zonas que excedan el máximo recomendado. Para el control de altas presiones se recomienda el uso de VRP automáticas, las cuales se ubicarán en punto de control donde tengan mayor área de influencia y genere la menor obra posible. La ubicación de este punto de control y la operación de la VRP automática se explicará en los capítulos posteriores y será propuesto y validado con el modelo de simulación.

2.4.2 Zonas de baja y alta presión en la red de Guanajuato

Como parte de la recopilación de información, el SIMAPAG mostró registro de mediciones con presiones superiores a los 100 mca, es decir, 10 kg/cm^2 , mientras que las presiones mínimas se registraron alrededor de 10 mca o 1 kg/cm^2 . Esta diferencia de presiones se debe principalmente al desnivel topográfico que presenta la zona sur de la ciudad y en que no existen válvulas reguladoras de presión.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 Sectorización

La sectorización consiste en formar u organizar zonas de suministro de agua independientes unas de otras dentro de la red de distribución, a estas zonas se les llama sectores o distritos hidrométricos (DH) los cuales ofrecen tener un control eficiente del sistema de distribución, facilitando la recuperación de caudales, realizar un diagnóstico de la red, detectar fugas y, facilitar la eliminación y control de pérdidas mediante un balance de agua. Los distritos o sectores pueden aislarse hidráulicamente de la red de distribución con la operación de válvulas o cancelación de tuberías.

De forma coloquial sectorizar una red de agua potable significa proporcionar a los usuarios de la red de agua de un servicio con la presión suficiente, y con la calidad y cantidad adecuadas.

Una característica primordial de un sector es que cuenta, al menos, con una entrada y una salida, puntos indispensables para controlar el caudal que ingresa a la red, las presiones internas de la tubería, la demanda y el consumo, así como las pérdidas de agua, tanto en fugas como en usos no autorizados. Aún más, puede conducirse el agua por la red primaria, sin exceso de conexiones con la secundaria, desde la fuente de alimentación hasta los puntos más lejanos, generalmente sacrificados en la distribución del agua.

Como se observa, la sectorización proporciona a los organismos operadores de agua una serie de ventajas, para un óptimo manejo de su sistema; sin embargo realizarla de manera confiable implica una serie de condiciones entre las más importantes que se debe contar con la información completa de la red de distribución (catastro) y la forma real en que opera la red, a fin de poder utilizar un software o modelo numérico que permita simular el funcionamiento hidráulico del sistema.

El uso de un modelo numérico permite contar con una red virtual idéntica a la real, en cuyos tubos se pueden medir gastos y presiones que indiquen el comportamiento real del sistema. Cualquier cambio que se haga en el modelo permitirá conocer los efectos que produce, tomando entonces las decisiones pertinentes con la seguridad de que el funcionamiento real será el mismo que el obtenido a través de la computadora.

Al contar con un modelo de la red confiable, debidamente calibrado, se podrá “jugar” con varias formas de operación, y sobre todo, la red puede dividirse en varios sectores, con el fin de controlar y mantener presiones adecuadas, y realizar la auditoria del agua por zonas; es decir, conocer lo que sucede con el agua

3.1.1 Factibilidad técnica y económica

La necesidad de llevar a cabo la sectorización de la red de distribución se hace mayor mientras ésta sea más grande, y por consecuencia su operación se vuelve más compleja. De este modo, destacan dos características principales de las grandes redes:

- funcionan con diversos niveles de presión, a lo largo de la red y en el transcurso del día, y
- están formadas por una exagerada y en muchas ocasiones desordenada cantidad de circuitos cerrados, lo que en el medio se conoce como “fuertemente mallada”.

De este modo, se hace necesaria una evaluación de la conveniencia de llevar a cabo la sectorización, pues debe garantizarse, cuando menos, que el servicio se mantenga en el mismo nivel de calidad, es decir, con una presión adecuada. Aunque parezca absurda la aseveración anterior, no es muy remota la idea de provocar cambios bruscos en la operación de la red en perjuicio de los usuarios, pues el proceso es lento y los resultados no son inmediatos. Por ello cobra importancia la confiabilidad de la información y la actualidad del catastro, así como la simulación del funcionamiento del sistema con un modelo calibrado.

Por otra parte, resulta indispensable el análisis de factibilidad económica a corto y mediano plazo, en donde se evalúe la rentabilidad de los diversos esquemas de sectorización planteados.

Los costos asociados a estas acciones, adicionales a los relacionados con la actualización del catastro y la modelación de un simulador hidráulico, incluyen la instalación de válvulas de seccionamiento y de control de la presión; y los cortes requeridos para independizar circuitos, así como la obra civil derivada de la instalación de nuevas líneas de interconexión, rehabilitación de tubería existente, nuevos tanques de almacenamiento, etcétera.

3.1.2 Etapas de la sectorización

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

No está por demás el acercamiento a los organismos que de alguna manera ya han vivido la experiencia de este proceso con éxito, por lo que en el siguiente apartado

se abordarán algunos casos destacados en la materia y cuyos resultados han dejado suficiente evidencia de su progreso.

A continuación se resumen las etapas que deben seguirse durante la sectorización:

1. Catastro del sistema de distribución de agua potable.
2. Anteproyecto del sistema, definiendo puntos de alimentación y posibles interconexiones controladas para protección de eventualidades.
3. Diseño e implementación de un sector piloto, incluyendo las válvulas de seccionamiento necesarias, los mecanismos para el control de las presiones, la medición de gastos de alimentación, así como la variación diaria de la demanda, ya sea que ésta sea supuesta o inferida por algunas mediciones.
4. Calibración de un modelo de simulación hidráulica con base a las mediciones del punto anterior.
5. Ajustar el proyecto piloto a partir de la modelación, controlando las presiones, midiendo los gastos, y evaluando la relación entre presión y fugas.
6. Ampliación de la experiencia piloto a dos o tres sectores más.
7. Con los resultados obtenidos, puede evaluarse el proyecto integral de sectorización, con una muy buena aproximación sobre los costos y los beneficios que pueden esperarse, así como los tiempos necesarios.

3.1.3 Definición de sectores y puntos de alimentación

El sector está definido como una red de distribución más pequeña, perfectamente limitada y homogénea en su operación, de tal forma que facilite el control de su funcionamiento. Los criterios a seguir para llevar a cabo la división en sectores parten de la infraestructura existente y de las diferentes zonas de presión en operación normal antes de iniciado el proceso, lo que significa una primera propuesta de sectorización; las adecuaciones a ésta, pueden realizarse con la ayuda de las siguientes recomendaciones generales:

- Generalmente se puede considerar de 1 a 5 sectores por cada 100 hectáreas (1 km²); en zonas con alta densidad de población, los sectores pueden ser de 10 a 15 hectáreas. Algunos expertos dimensionan los sectores en función del número de usuarios o de tomas.
- Cualquier recomendación seleccionada para definir el tamaño de los sectores, deberá ajustarse a la geometría de la red, sobre todo a la adaptación de las condiciones de operación actuales y la facilidad de contar con un punto de

suministro, aunque siempre será prudente contar con una alimentación de respaldo, aunque ésta se mantenga cerrada y sólo se utilice en contingencias.

- Minimizar las variaciones de presión de servicio al interior del sector; esto es, mantener una cierta uniformidad de presiones entre los 15 y 50 mca (1,32 y 4,40 bar), correspondientes a la dinámica mínima y estática máxima, respectivamente.
- Siempre será conveniente verificar las velocidades del agua, las que podrán estar comprendidas entre 0,6 y 2,0 m/s.

3.1.4 Reducción de pérdidas

Cuando se usa la frase “pérdidas de agua”, generalmente se piensa en las fugas por tubos rotos o válvulas que no sellan, el derrame de tanques, etc. Lo cierto es que la frase incluye el agua que no se contabiliza, que no se conoce su destino final. También es cierto que algunas veces se confunde con el agua que no se cobra, pero el agua perdida no abarca a este volumen, pues puede estar medida y saber el usuario que la consume (el consumidor puede estar exento de pago), y no por ello es agua perdida. De esta forma, puede separarse el agua perdida en fugas, en tomas no autorizadas o clandestinas, y en volumen de agua que no se contabiliza por estimaciones erróneas (cuando no se mide) o por falta de precisión en los medidores de caudal.

3.1.5 Control de presiones

En efecto, las experiencias documentadas de diversos países* relacionan la presión con el gasto de fuga, y después de la experimentación en redes de distribución, reportan sus resultados, los que una vez analizados se ajustan a una función de la forma:

$$Q_{\text{fuga}} = C H^x$$

donde:

H presión en la tubería.

C coeficiente que resulta del ajuste de los datos obtenidos experimentalmente y que depende del tamaño del orificio o rotura de la fuga y del material de la tubería.

x exponente de ajuste.

Los valores de x varían entre 0,5 (descarga libre de un orificio) hasta 2,5. Inglaterra y Japón realizaron pruebas en laboratorio y en sectores aislados de redes en operación, obteniendo un valor medio de $x = 1,15$, valor que ha sido validado en México por ser congruente con los obtenidos en redes de Hermosillo, Sonora, y la ciudad de México.

La literatura técnica especializada recomienda el control de presiones como un mecanismo eficaz y barato de reducción de fugas inicial en los programas de recuperación de caudales. El Instituto de Ingeniería de la UNAM se dio a la tarea de realizar un ejercicio que permitiera probar con una red de distribución y analizar las consecuencias de las acciones que un organismo podría emprender con la intención de disminuir sus fugas. Su principal objetivo es presentar esta simulación de una manera un tanto didáctica.

Académicos e investigadores de la UNAM simularon una red bajo varias condiciones, mostrando con ello los efectos de:

- ✓ las reparaciones,
- ✓ la sectorización,
- ✓ el control de las presiones, a través de la instalación de válvulas reguladoras de presión, y
- ✓ la disminución de consumos derivado de los efectos que produce un incremento en las tarifas, la micro medición o la concientización de los propios usuarios.

Las fugas han sido simuladas y cuantificadas en los nudos como un caudal adicional al consumo. En la ecuación que evalúa el gasto de fuga antes citada, se tomó el valor medio de $x = 1,15$ y se consideró, sólo para este ejercicio, un valor de $C = 0,020$, valor que se obtuvo experimentalmente y que mejor se ajusta a una red de distribución en malas condiciones, las que generalmente existen en México.

Conviene insistir en que el uso de esta expresión tiene mayor significado y valor para la investigación; su uso en redes reales sólo aportará beneficios si previamente se ha estudiado, medido y calibrado sobre la infraestructura existente, y solo entonces se podrá ajustar su comportamiento, obteniendo los valores más propios de C y x .

3.1.6 Búsqueda de fugas

Normalmente cuando se piensa en detección de fugas, se relaciona inmediatamente con equipos electrónicos. Este es el método con más acercamiento a la fuga (escuchada por el operador). Existen otros métodos de detección de fugas, que incluyen a la medición en distritos hidrométricos (DH) y al balance del agua. Más que puntualizar el lugar de la fuga, estos métodos indican si hay existencia de fugas y dan una idea global de dónde pueden estar Otra manera muy eficaz de búsqueda de fugas es a través de observación de presiones en la red de tuberías. Finalmente, hay otra forma adicional, que no es necesariamente un método, puesto que se trata de localización accidental de fugas durante los trabajos diarios en la operación y mantenimiento o por reportes de los usuarios; esta búsqueda de fugas también es conocida como forma pasiva de detección.

3.1.6.1 Por balance de agua

Se trata de una técnica eficiente para determinar el volumen total de agua, que potencialmente se está fugando de la red de distribución. La parte final del balance del agua es la preparación de un plan de localización y reparación, y contiene la elección de equipos localizadores y detectores de fugas, tipos y número de cuadrillas, métodos de inspección de fugas y el costo involucrado. El balance de agua se realiza en periodos anuales y consiste en identificar el volumen suministrado, dentro del sistema de distribución de agua, es decir, el consumo autorizado medido y no-medido, el consumo no autorizado, las pérdidas identificadas y el potencial de pérdidas por fugas y agua no-contabilizada

3.1.6.2 Por medición de distritos hidrométricos

Este método es utilizado como una extensión del método por balance de agua, o como un método de detección de fugas. Su propósito es identificar si un sector del sistema de agua presenta grandes cantidades de fugas. Para aplicarlo se deben disponer de mapas de la red debidamente actualizados tener válvulas ubicadas en los puntos de control y proporcionar una toma para la válvula de inserción del equipo de medición. Esta técnica consiste básicamente en aislar los sectores de la red, y se realizan mediciones de los volúmenes que ingresan (entrada) y salida (consumidos por los usuarios) en cada sector, en un periodo mínimo de 24 horas.

Con los datos obtenidos en una medición global (curva de consumo dentro de un sector) en un día, es posible calcular los consumos e índices siguientes:

CT Consumo total en 24 horas, en $m^3/día$ (área bajos la curva de consumo)

CHP Consumo horario promedio, en m^3/h ,

CHM Consumo horario máximo, en m^3/h (área máxima bajo la curva de consumo para un intervalo de una hora)

CMN Consumo mínimo nocturno, en m^3/h (área mínima bajo la curva de consumo para un intervalo de una hora entre las 00:00 y 5:00 h del día)

ICHM índice de consumo horario máximo,

ICMN Índice de consumo mínimo nocturno,

CEP Consumo específico promedio, en $l/s/km$,

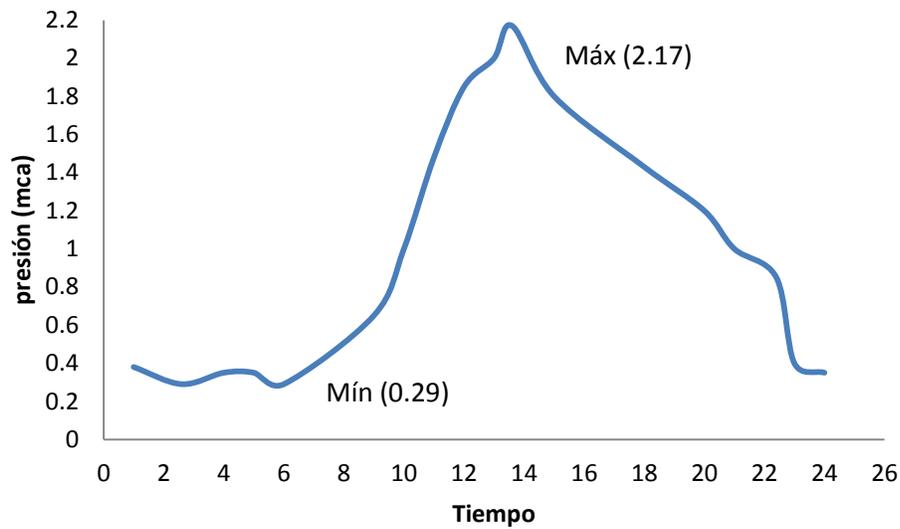


Figura 3.1. Medición de distritos hidrométricos

$$CHP = \frac{CT}{24 \text{ Horas}}$$

$$ICHM = \frac{CHM}{CHP}$$

$$ICMN = \frac{CMN}{CHP}$$

$$CEP = \frac{CHP}{3.6L}$$

Donde L es la longitud de la red o del tramo de red en estudio dentro del DH. En kilómetros.

En sectores donde se realizan labores de mantenimiento y por consecuencia bajo nivel de fugas, el valor de la relación CHM/CMN varía entre 12 y 15. Al analizar la relación entre el CEP y el consumo per cápita promedio diario, es posible observar la densidad de tomas domiciliarias en el DH, así como el patrón socioeconómico de los usuarios.

Existen otros índices como el Iconod (influencia de grandes consumidores), el CEL (consumo específico límite nocturno), E (porcentaje esperado de entrega a los

usuarios) y el CEN (consumo nocturno del segmento), índices que son utilizados para análisis más específicos de control de fugas, alcances que quedan fuera de este trabajo.

3.1.6.3 Por sonido

La detección de fugas por sonido utiliza equipos electrónicos equipados con audífonos o indicadores de frecuencias. El agua a presión que es forzada a salir a través de una fuga, produce una pérdida de energía alrededor del área del tubo y del suelo. Esta energía crea ondas de sonido, que pueden ser captadas y amplificadas por transductores electrónicos o, en algunos casos, por dispositivos mecánicos. Las ondas de sonido son evaluadas para determinar la localización exacta de la fuga. El operador conduce una inspección para escuchar y registrar los sonidos sospechosos de la red de distribución. Después se verifican las áreas con sonidos, para puntualizar las fugas.

3.1.6.4 Por presión diferencial

La existencia y posición de una fuga puede determinarse midiendo la presión a lo largo del conducto que se está inspeccionando, para establecer con esos valores una gráfica de gradiente. La existencia de una fuga se verifica cuando el gradiente de presión muestra una discontinuidad o cambio hacia ambos lados de la fuga.

Para medir la presión en tuberías se utilizan manómetros comerciales, sin embargo en la actualidad existen equipos más modernos como los registradores de datos o Data logger. El Data logger es un dispositivo electrónico que registra mediciones ordenadas en el tiempo, provenientes de diferentes sensores, y cada medición es almacenada en una memoria de gran capacidad. En general los registradores de datos son pequeños y alimentados por baterías, y están conformados por un microprocesador, una memoria para el almacenamiento de los datos y diferentes sensores. La mayoría utilizan a la PC como interfase para programar al dispositivo y leer la información recolectada.



Figura 3.2 Registrador de datos o Data logger

3.2 Modelación Hidráulica

3.2.1 Antecedentes

El uso de modelos matemáticos para el análisis de sistemas de distribución de agua potable fue propuesto por vez primera en 1936 [Cross, 1936]. Desde entonces los métodos de solución empleados en los modelos han evolucionado desde el análisis inicial del caudal en redes desarrollado por Hardy Cross, realizado a mano, al desarrollo y extensión de modelos de redes hidráulicos para computadoras en las décadas de los setenta y ochentas.

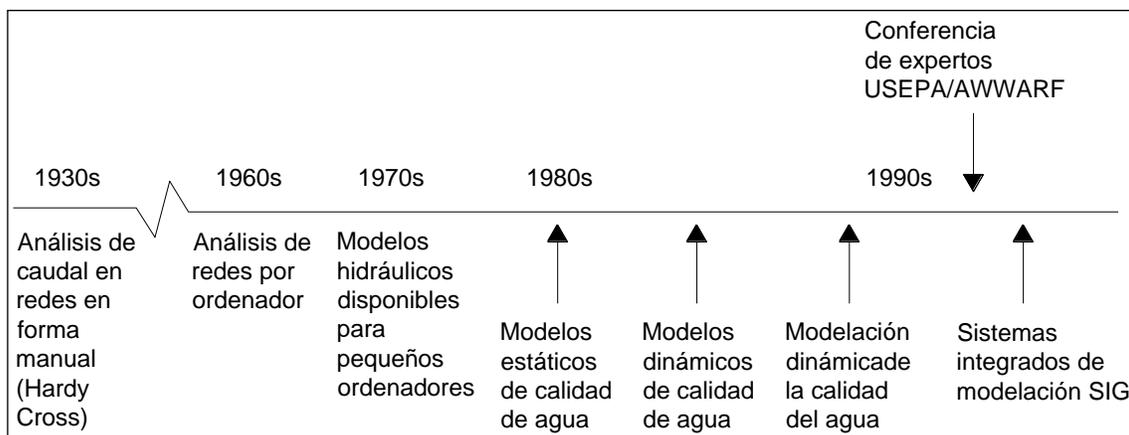


Figura 3.3 Desarrollo histórico de los modelos de simulación matemática

Los modelos de simulación actualmente son sistemas completos de fácil manejo permitiendo a usuarios de diferentes niveles, analizar y mostrar los parámetros hidráulicos y de calidad del agua dentro de un sistema de distribución de agua potable.

3.2.2 Tipos de modelos

Tomando en cuenta el desarrollo en los últimos años que han experimentado los modelos de simulación, es posible realizar una clasificación de acuerdo al objetivo o criterios que se establezcan. De acuerdo al grado de aplicación, los modelos se pueden clasificar como de planificación, operacionales y de diseño.

Modelos de planificación

Estos modelos se utilizan para evaluar el rendimiento, los impactos económicos o cuantitativos de sistemas propuestos de tuberías, cambios en procedimientos operativos, comportamiento de distintos elementos, como válvulas de control, tanques, etc.

Modelos operacionales

Se emplean para predecir el comportamiento hidráulico de variables como la presión y caudales en la red, modificar niveles en tanques de regulación. El objetivo es tener un mejor soporte en la toma de decisiones.

Grado de detalle

En nuestro país este resulta un aspecto de importancia, esto se debe porque en ocasiones se realizan trabajos que no requieren de un nivel de detalle amplio, como en decisiones de planeación.

Modelos estratégicos o arteriales

Estos modelos sólo incorporan elementos primordiales como: tuberías primarias y tanques de almacenamiento y regularización. Se emplean como se mencionó con anterioridad como instrumento de planeación y diseño, como puede ser la ampliación de la red de distribución por la incorporación de nuevas colonias.

Modelos detallados

Normalmente para cubrir las necesidades de regulación y control de los sistemas de distribución se requiere de un modelo estratégico, sin embargo en ocasiones se necesita de un nivel de detalle mayor. Este tipo de modelos llegan a incluir las tuberías secundarias y en ocasiones hasta las tomas domiciliarias, [Guerrero, 2002].

3.2.3 Variación en el tiempo

El tiempo es una variable fundamental en la modelación de redes de agua potable. Existen dos tipos de modelación: estáticos y dinámicos.

3.3 Modelación Estática o de flujo permanente

En este tipo de modelos se supone que los caudales demandados e inyectados permanecen constantes, no existen variaciones en la operación en la red, y el nivel en los tanques es fijo. Es cierto que las redes de distribución de agua potable no permanecen invariables a lo largo del tiempo, no obstante esta clase de modelos se emplean frecuentemente para analizar el comportamiento de la red con los caudales máximos horarios, y así someterlas a las condiciones más desfavorables. También son empleados como base o condición inicial para otro tipo de modelos de mayor grado de complejidad como son: cuasi-estáticos o de periodos extendidos.

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

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

Con base en estos datos se forma un sistema de ecuaciones no lineales de balance de gastos en los nodos, que tiene como incógnitas las cargas en los mismos. El problema se soluciona iterativamente por el método de Newton-Raphson. En cada iteración se soluciona un sistema de ecuaciones lineales usando técnicas de matrices porosas [George y Liu, 1981]. Posteriormente se calculan los gastos en los tramos.

El programa da una serie de resultados como son: caudal y velocidad en los tramos de tuberías, presión en los nodos, pérdidas de carga, sentido del flujo, nivel en los tanques, mapas de isolíneas de presión, curvas de balance de caudales producido Vs consumido (ver EPANET[®]), comportamiento de la demanda, de los que, en el modelo de calidad del agua, se utilizan los siguientes: los gastos en los tramos y su sentido, así como la velocidad.

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 otros modelos como el Infoworks WS (programa que se utilizará en el presente trabajo), EPANET®, WaterCAD®, H2ONET®, entre otros.

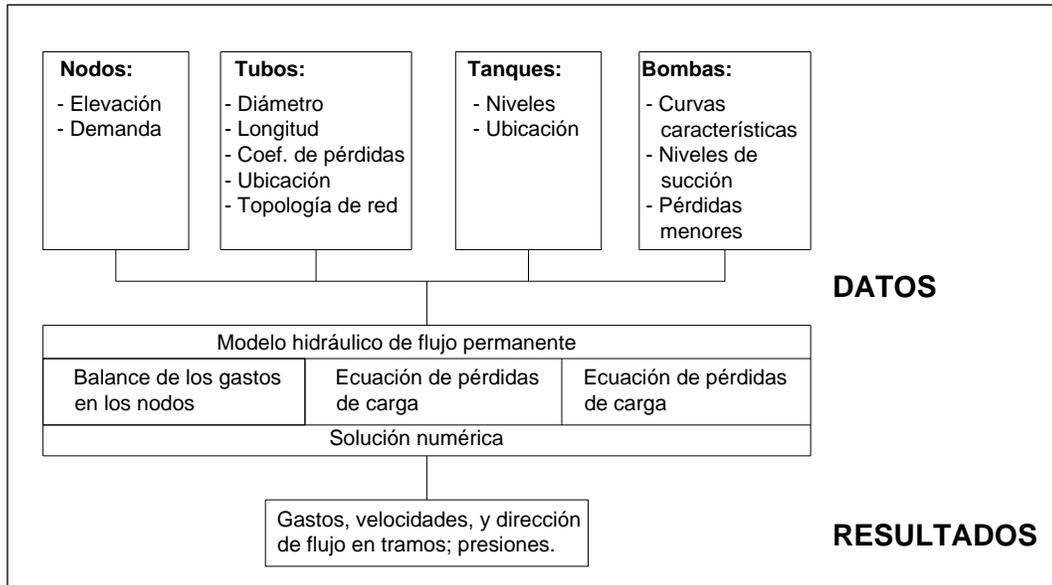


Figura 3.4 Diagrama de un modelo hidráulico de flujo permanente

3.4 Modelación Dinámica o no permanente

A diferencia de los modelos estáticos, en los modelos de tipo dinámico se permite la variación temporal de caudales demandados e inyectados, condiciones operativas de la red y de los niveles en los tanques. Esto es considerado bajo ciertas restricciones, simular la evolución temporal de la red, en un intervalo determinado. A su vez dentro de estos modelos existe una clasificación: inerciales y no inerciales.

3.4.1 Inerciales

Consideran la inercia del fluido en su movimiento, es decir, la energía que consumen o devuelven los cambios de velocidad. A su vez estos modelos se subdividen en elásticos y rígidos, dependiendo de la inclusión o exclusión de la elasticidad del fluido y de la tubería.

Tienen aplicación en simulaciones que involucran cambios bruscos de velocidad en el sistema, derivados de maniobras repentinas, roturas de tuberías, entre otras. Cuando la rapidez de estos “cambios” es muy grande, deberán considerarse los efectos elásticos en las tuberías y en el agua, como los modelos elásticos o golpe de ariete, sin embargo si los “cambios” son no tan rápidos, será suficiente incluir y considerar la inercia del fluido que se traduce en tubería indeformable y el agua incompresible como lo es un modelo rígido.

3.4.2 No inerciales

Simulan una serie de estados permanentes sucesivos, bajo ciertas condiciones de frontera variables en el tiempo, de hecho éstas le dan el carácter dinámico al modelo. Este modelo es conocido como cuasi-dinámico, y uso es ampliamente referenciado como simulación en período extendido, (EPS, por sus siglas en inglés, *extended period simulation*). Se emplean cuando las variaciones de la velocidad del fluido en el interior de las tuberías son muy lentas, y se desprecia la energía que el fluido invierte o recupera al acelerar o desacelerar. Básicamente se aplica para simular la evolución temporal de una red de abastecimiento en condiciones normales de funcionamiento, donde los cambios, por ejemplo en la variación de los consumos en los nodos se presentan de manera gradual. De forma general, el modelo EPS se basa en soluciones consecutivas de flujo permanente para cada hora del día u otro intervalo con la demanda correspondiente y el balance del volumen de agua en los tanques. Además de los datos iniciales que solicita el modelo de flujo permanente,

El programa da una serie de resultados de los cuales el modelo de calidad del agua, empleará: los gastos en los tramos y su sentido así como la velocidad. Estos resultados cambian con el tiempo y se presentan para cada intervalo considerado en el análisis. Normalmente los análisis se efectúan para cada hora del día.

3.5 Metodología para el éxito en el control activo de presiones

3.5.1 Evaluación técnica del sistema

En un sistema o red de agua potable es inevitable tener un cierto nivel de pérdidas, incluso en los sistemas mejor mantenidos y operados. Así, un organismo de agua potable debe determinar dos características de su sistema para implementar un programa de reducción de pérdidas de agua exitoso y sostenible: la situación actual de fugas y el nivel económico predeterminado de fugas.

Consecuentemente, las actuales pérdidas de agua deben comprenderse y evaluarse utilizando un enfoque de diagnóstico antes que se pueda desarrollar una estrategia adecuada de reducción de pérdidas de agua. Es útil realizar el diagnóstico verificando la siguiente lista:

Tabla 3.1 Diagnóstico para una red

Pregunta	Métodos disponibles
¿Conocemos nuestro sistema?	Registro de la red primaria en SIG o AutoCad y modelación hidráulica
¿Cuánta agua se pierde?	Cálculo del balance hídrico
¿Dónde se pierde?	Medición (permanente o temporal)
¿Cómo determinar las pérdidas?	Métodos de evaluación de pérdidas
¿Por qué se pierde?	Revisión de la red y práctica operativa

3.5.2 Determinación del balance hídrico

El balance hídrico tiene como objetivo rastrear y contabilizar cada componente de agua que se añade y se deduce de un sistema de abastecimiento de agua dentro de un periodo definido. Un balance hídrico bien definido es el primer paso para evaluar el agua no facturada y manejar las fugas en las redes de distribución de agua.

Cuando se elabora el cálculo del balance hídrico, es muy importante recordar que la exactitud de los volúmenes de pérdida de agua depende de la exactitud y calidad de datos utilizados en el cálculo. Por tanto, una medición confiable de todos los volúmenes de agua que ingresan y salen del sistema de abastecimiento o distrito hidrométrico es un requisito fundamental. La validación de los datos también desempeña un papel clave en determinar los volúmenes de pérdidas de agua. Se recomienda el diseño de una hoja de cálculo para realizar los cálculos de balance hídrico. Existe una serie de técnicas para calcular el balance hídrico y deben combinarse para lograr resultados confiables. En general, un balance hídrico se basa no solamente en mediciones, sino también en estimados de producción de agua, consumo y pérdidas. Por lo tanto, los volúmenes resultantes del agua no facturada, de las pérdidas reales y de las pérdidas aparentes siempre estarán sujetos a un grado de error mayor o menor. Los errores en determinar los volúmenes de pérdidas reales o aparentes influenciarán el análisis económico de las opciones y pueden llevar a una estrategia inapropiada de reducción de pérdidas de agua. Por lo tanto, es importante para todos los datos solicitados y todos los estimados necesarios estar tan cerca de las condiciones reales como sea posible de modo que se pueda lograr resultados válidos y útiles. La confiabilidad de la fuente de datos y de la exactitud de los datos es imprescindible, por lo tanto siempre se deberían evaluar de manera crítica.

3.5.3 Programa de medición

Como se comentó anteriormente, una medición confiable es el primer paso para el éxito de la campaña para el control activo de las presiones. Las mediciones de presión y gasto en las fuentes de abastecimiento (pozos, tanques, manantiales, etc) y en puntos estratégicos de la red de agua potable serán fundamentales para el éxito del programa en el control activo de presiones en una red. Es importante mencionar que el programa mediciones y reducción de pérdidas de agua deberá pensarse con base a presupuestos del organismo. Los organismos operadores de agua deberán alcanzar un equilibrio económico entre los costos del programa y los beneficios que resultarán.

En primer lugar se deberán seleccionar los puntos de medición de gasto y presión. Es importante mencionar que la ubicación de los puntos es una labor que se deberá realizar en conjunto con el personal que opera la red de distribución. Nadie mejor que ellos conoce a la perfección cada punto de la red. Como reglas generales se

deben tratar de abarcar todas las zonas de presión de la red, sitios de bifurcación de las líneas mayores a 10", las salidas de los tanques de entrega y distribución, puntos críticos de distribución y en general donde se estime que se cubren zonas amplias. No existe una base teórica específica para determinar el número de puntos de medición de presiones en la red, puesto que depende de la extensión de la ciudad. Sin embargo, con base en la experiencia y con el fin de tener una cobertura adecuada de medición para los fines de un buen diagnóstico y ajuste del modelo de simulación hidráulica del sistema de abastecimiento de agua, se recomienda realizar del orden de un punto de medición de presión por cada 270 tomas domiciliarias registradas.

Otro factor a considerar será que al menos los puntos ubicados en los tanques de entrega y distribución (en el punto antes de distribuir el agua a la red) deben de contar con micro medidores calibrados y medir durante todo el tiempo que dure la campaña. En la medida de lo posible, las mediciones de presión y gasto en todos los puntos a medir se deberán realizar de manera simultánea, para asegurar el éxito de la campaña.

Finalmente, el tiempo de medición en cada punto debe ser de mínimo de tres y máximo de siete días en operación continua. Normalmente no se cuenta ni con el número de equipos de medición para medir de manera simultánea, ni con el número de días necesario, por lo que se deberá realizar un programa y protocolo de mediciones pensado de acuerdo a la disponibilidad.

3.5.3.1 Medición de presiones en la red

La medición de presiones se puede realizar con un manómetro comercial tipo Bourdon conectado en tomas domiciliarias del sistema de distribución. Sin embargo el uso de equipos más modernos como los Data Logger, facilitan las mediciones y minimizan al máximo el posible error en la toma de lecturas.

Por cuestiones prácticas y de seguridad, la medición de presiones se realiza durante el día, que es la condición de presiones bajas en la red. Por lo tanto, para efectos de ajuste del modelo de simulación hidráulica e interpretación para el control de presiones, es conveniente anotar la hora y el día en que es realizada la medición de presión en cada punto. De cualquier manera, de acuerdo a las posibilidades, debe considerarse la factibilidad de realizar mediciones de presión en horarios nocturnos.



Figura 3.5 Medición de presión con Data logger en toma domiciliaria

3.5.3.2 Medición de caudales

Como se ha explicado, la medición de caudales se realiza en cada una de las captaciones o fuentes de agua para la red tales como pozos, manantiales, presas, galerías filtrantes, etc. Y esta debe realizarse exactamente en la tubería donde ingresa el agua a la red de distribución. Asimismo, en los casos de potabilizadoras, tanques o rebombeos, interesa medir el caudal justo a la salida de estas estructuras.

Se recomienda aprovechar los macro medidores instalados en el sistema de agua potable, y cuando no exista macro medidor, se recomienda utilizar un medidor portátil del tipo ultrasónico o electromagnético del tipo de inserción, por la alta exactitud que ofrecen y la versatilidad en su uso. El medidor debe estar certificado por un laboratorio de pruebas acreditado.

La posición del medidor en la tubería de prueba debe ser en tramos rectos y preferentemente horizontales, asegurándose de que antes y después del medidor, no existan obstáculos tales como codos, válvulas, reducciones, ampliaciones, bombas, etc., que distorsionen el perfil de velocidades del agua en la sección de prueba. Normalmente se debe dejar una distancia equivalente a 10 diámetros aguas arriba y 5 diámetros aguas abajo del eje del medidor.

Se podrá instalar el medidor en un conducto inclinado o vertical siempre y cuando lo permita el fabricante en sus limitaciones de exactitud y cuando se asegure que la tubería de pruebas esté completamente llena en toda su sección. También, para garantizar la medición adecuada, deberá evitarse colocar el medidor en aquellos tramos dónde existan burbujas de aire o sólidos en suspensión.

La medición de caudal suministrado se efectúa en intervalos cortos, del orden de 15 a 30 minutos. Si no se detectan variaciones de caudal de +/- 5% en el transcurso de

un día, se considerará el valor registrado como el valor de gasto medio suministrado a la red por esta captación. En caso de que la fluctuación de caudal sea mayor a este porcentaje, se deberán practicar pruebas continuas al menos durante 24 horas, con el fin de obtener un valor promedio de suministro de agua en ese punto.



Figura 3.6 Medición de caudal con medidor electromagnético de inserción

3.5.3.3 Medición de variación de la demanda de agua en la red

Para realizar la prueba de medición de variación de la demanda de agua en la red, se utilizará el macro medidor instalado o bien un medidor portátil. La prueba tendrá una duración de 24 horas continuas, registrando el valor del caudal instantáneo en intervalos de 5 a 15 minutos, dependiendo del equipo.

Se utilizará de preferencia un medidor que tenga Data Logger integrado, para evitar al máximo el error en la toma de lecturas y facilitar el procesamiento de datos.

3.5.4 Volumen de pérdidas en el sistema

En este punto nos referiremos a cómo determinar las pérdidas reales. Se debe tomar este paso antes de ocuparse de los temas de dónde y cuánta agua se pierde. Se deben establecer los componentes del sistema utilizando mapas del sistema, modelos hidráulicos o el registro de la red antes de que se pueda comenzar este proceso.

En general, las fugas que llevan a pérdidas reales pueden ocurrir en (a) tanques de almacenamiento, (b) troncales de transmisión y (c) la red de distribución. La mayoría de fugas ocurre dentro del sistema de distribución. Por lo tanto, las pérdidas en los tanques y troncales de transmisión a menudo son de importancia menor. No obstante, la búsqueda de pérdidas reales puede comenzar en estos puntos ya que se pueden medir con poco esfuerzo. (Guía para la reducción de pérdidas de agua, 2009)



Figura 3.7 Pérdidas de agua en líneas de distribución

3.6 Controlador Inteligente

El controlador es un dispositivo que se instala en VRP con flujo. El dispositivo sirve para monitorear y controlar puntos críticos de la red de distribución que por su elevación topográfica o por su importancia como consumidor (hospitales, centros comerciales, escuelas, hidrantes contra incendios, etc.) requiere de atención especial. Entre los objetivos más importantes del controlador inteligente se mencionan:

- Monitoreo de la red de distribución
- Control de puntos críticos de la red por su cota o por tipo de consumo
- Análisis de problemas relacionados con falta de presión a un consumidor
- Toma de datos para proyectos de reducción de presión en la red
- Estudios de sectorización de redes para comprobar la estanqueidad de las zonas o la suficiencia de presión
- Información indispensable para calibración del modelo matemático de simulación del comportamiento hidráulico de la red

Entre los beneficios más importantes del controlador, están:

- Control de VRP, reduciendo la presión nocturna minimizando las fugas y reduciendo el riesgo de explosión de tuberías en los periodos de bajo consumo
- Reducir consumos (gestión de la demanda)
- Estabilizar la presión, disminuyendo la posibilidad de movimiento de tuberías y fallos por fatiga
- Proporcionar un servicio más constante a los clientes

El equipo tiene la versatilidad de ser programado para cambiar la presión de alta a baja o viceversa, a diferentes tiempos determinados para cada día de la semana. Alternativamente este control basado en temporizador puede ser anulado usando una señal de entrada de caudal.

Cuando la demanda de agua es mayor que la esperada para el caudal nocturno, la presión puede ser incrementada para proveer agua adicional a hidrantes de agua para extinción de incendios, o fenómenos de magnitud similar.

Principales aplicaciones

Existen controladores inteligentes de VRP que pueden ser usados con una señal de caudal externo, la cual puede ser empleada separadamente, o anular el control por temporalizador cuando se detectan demandas inusuales mediante el mencionado caudalímetro.



Figura 3.8 Controlador inteligente

4 CONDICIONES ACTUALES

Para representar el comportamiento de la red y caracterizar todos y cada uno de los elementos que forman parte de la red de distribución de la ciudad de Guanajuato se solicitó a la Dirección de Planeación y Programación del SIMAPAG el catastro con la mayor actualización posible de la red de Guanajuato, el cual se muestra a continuación.

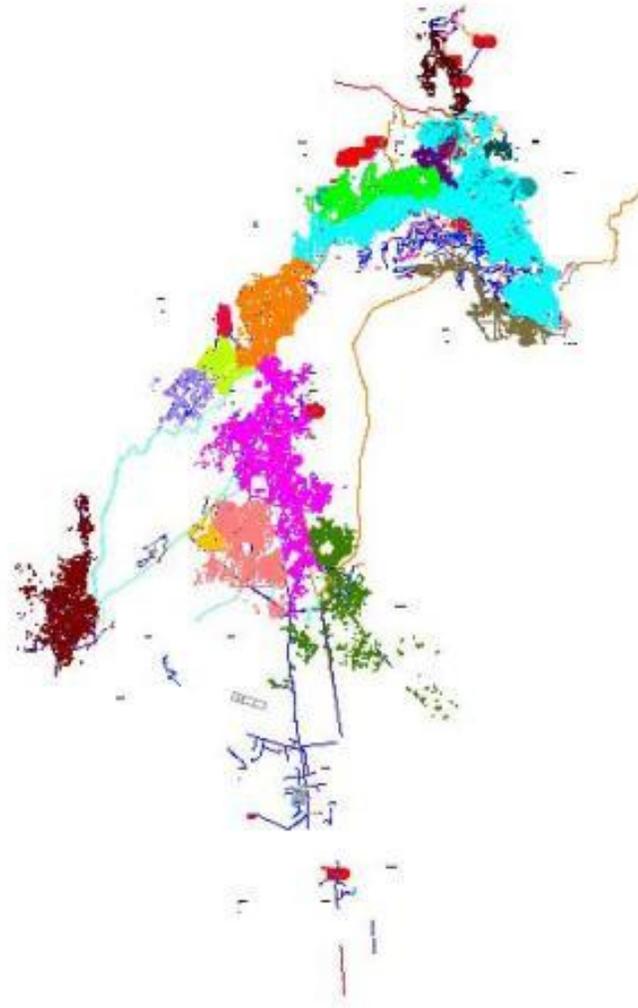


Figura 4.1 Catastro de la red de agua potable de Guanajuato

4.1 Monitoreo de las fuentes

Se realizó una campaña de medición de caudal procurando que las mediciones registradas fueran lo más representativas de la demanda en Guanajuato, para la construcción del modelo y realización de propuestas de los macro sectores.

Como se ha mencionado, en la zona Sur se tienen siete tanques, en la tabla siguiente se mencionan sus características principales.

Zona Sur

TANQUE	TIPO	SALIDAS	DIAMETRO	MATERIAL
Yerba buena	Superficial	1	6"	PVC
Cervera	Elevado	2	8 y 4"	PVC
Caminera	Elevado	1	10"	PVC
Tres Estrellas	Superficial	2	10 y 4"	Acero
Marfil	Superficial	2	6"	A-C
			6	A-C
Teresas	Superficial	1	8"	AC
Ex Hacienda Santa Teresa	Elevado	1	8"	Acero
Biznagas	Superficial	1	8"	Acero

Tabla 4.1 Características de los tanques

Por otro lado, de acuerdo a los indicadores de gestión mencionados en el punto 3.1.6 Búsqueda de Fugas, el Índice de Consumo Mínimo Nocturno (ICMN) indica la magnitud del agua no contabilizada, lo que implica tener una idea del porcentaje de pérdidas de agua, es decir un parámetro de 0.2 considera un porcentaje de fuga bajo del 20%, y el Índice de consumo horario máximo (ICHM) indica la variación del consumo y la capacidad de regulación del tanque, es decir, si este parámetro es mayor a 1.5 se considera insuficiente la regulación, tomado del libro Sectorización de redes de agua potable, editado por la CONAGUA

El ICHM se obtiene por la siguiente relación:

$$ICHM = \frac{CHM}{CHP}$$

Donde:

CHM es el consumo horario máximo.

CHP es el consumo horario promedio.

Este indicador muestra la variación de los consumos.

El ICMN se obtiene por la siguiente relación:

$$ICMN = \frac{CMN}{CHP}$$

Donde:

CMN es el consumo mínimo nocturno.

CHP es el consumo horario promedio.

Este indicador muestra la magnitud de las fugas.

A manera de ejemplo se muestra a los datos analizados del Tanque Tres Estrellas, en la tubería de 8"; en la tabla siguiente se muestran los datos de un día.

Tabla 4.2 Datos de Caudal

Tiempo(h)	Caudal medido(L/s)
00:00:00	19.181
01:00:00	16.783
02:00:00	15.442
03:00:00	14.769
04:00:00	14.477
05:00:00	15.002
06:00:00	16.139
07:00:00	28.158
08:00:00	30.606
09:00:00	31.956
10:00:00	36.793
11:00:00	31.546
12:00:00	38.305
13:00:00	33.087
14:00:00	31.210
15:00:00	31.777
16:00:00	30.016
17:00:00	29.081
18:00:00	27.109
19:00:00	23.611
20:00:00	26.189
21:00:00	30.405
22:00:00	31.741
23:00:00	24.626

00:00:00	19.181
01:00:00	16.783
02:00:00	15.442
03:00:00	14.769
04:00:00	14.477
05:00:00	15.002
06:00:00	16.139
07:00:00	28.158
08:00:00	30.606
09:00:00	31.956
10:00:00	36.793
11:00:00	31.546
12:00:00	38.305
13:00:00	33.087
14:00:00	31.210
15:00:00	31.777
16:00:00	30.016
17:00:00	29.081
18:00:00	27.109
19:00:00	23.611
20:00:00	26.189
21:00:00	30.405
22:00:00	31.741
23:00:00	24.626

Con estos datos se realiza el gráfico correspondiente a la demanda y se anexan los gráficos de caudal máximo, promedio y mínimo.

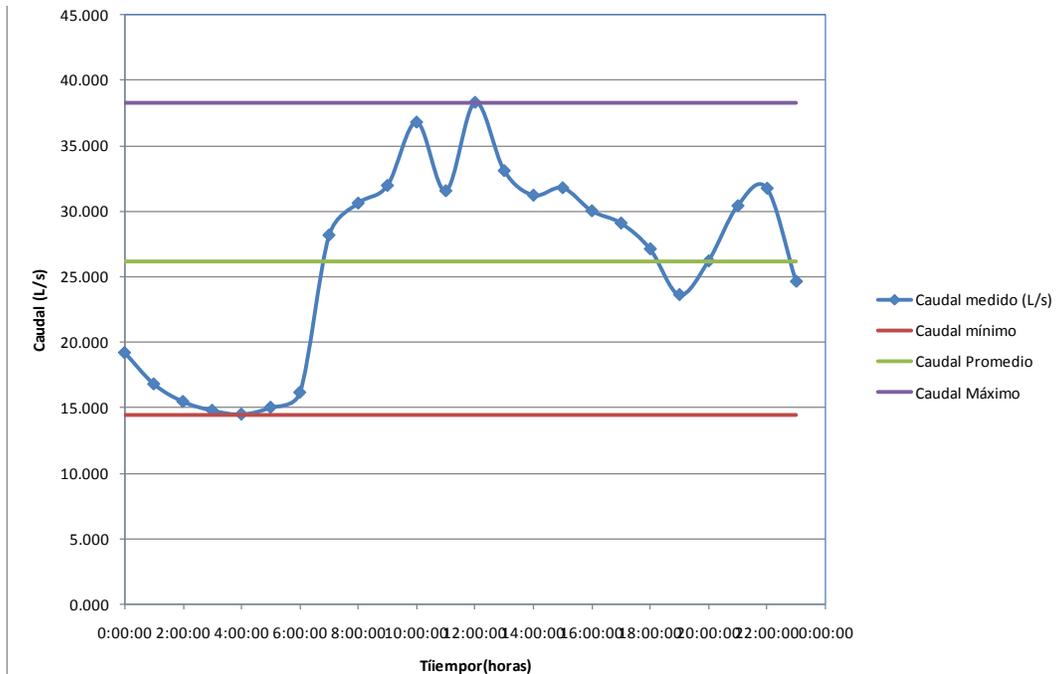


Figura 4.2 Curva de demanda de la salida de 8" del Tanque Tres estrellas

Con ayuda de los datos se obtienen los indicadores de gestión, aplicando las formulas mencionadas, los cuales se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.3 Indicadores de gestión

INDICADOR	SIMBOLO	VALOR	
Consumo Total	CT	2260.83	m ³
Consumo Horario Promedio	CHP	26.167	l/s
		94.201	m ³
Consumo Horario Maximo	CHM	38.305	l/s
		137.898	m ³
Consumo Mínimo Nocturno	CMN	14.477	l/s
		52.1172	m ³
Indice de consumo de mínimo	ICMN	0.553	
Indice de consumo maximo horario	ICHM	1.464	

Al saber que el ICMN es de 55.30%, se deduce que la eficiencia física es de 44.70% de esa tubería, claro este indicador solo da una idea, debido a que es necesario garantizar el aislamiento de ese macro sector.

El ICHM al ser menor de 1.5 indica que el tanque Tres Estrellas tiene suficiente capacidad de regulación.

Siguiendo la misma metodología se obtuvieron los indicadores de los días de medición, en la tabla siguiente se muestra un resumen.

Tabla 4.4 Indicadores de gestión del tanque Tres Estrellas

Fecha	Consumo (m ³)	Caudal Promedio (l/s)	ICMN (%)	ICHM
23/09/2012	2260.83	26.16	55.33	1.46
24/09/2012	1649.84	19.09	69.93	2.23
25/09/2012	2519.88	29.16	56.49	1.60
26/09/2012	2166.19	25.07	56.81	1.49
Promedio	2149.185	24.87	59.64	1.695

Se observa que en cuatro días el servicio de agua potable no tuvo el mismo comportamiento, pero se mantuvo un valor de ICMN, por tanto se puede inferir que este tanque tiene una alta probabilidad de tener pérdidas de agua; en lo que respecta al ICHM, en promedio refleja que no tiene suficiente regulación el tanque Tres Estrellas.

En las tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos de las salidas de los tanques donde se realizó la medición.

Tabla 4.5 Indicadores de gestión del tanque Yerba Buena

Fecha	Consumo (m ³)	Caudal Promedio (l/s)	ICMN (%)	ICHM
22/09/2012	882.18	10.21	59.68	1.379
23/09/2012	1053.56	12.19	47.60	2.416
24/09/2012	1336.63	15.47	38.60	2.364
25/09/2012	989.54	11.45	0.00	2.402
26/09/2012	767.67	8.88	71.33	1.387
Promedio	1005.92	11.64	43.442	1.9896

Tabla 4.6 Indicadores de gestión del tanque superficial Santa Teresa

Fecha	Consumo (m ³)	Caudal Promedio (l/s)	ICMN (%)	ICHM
29/09/2012	529.74	6.134	41.15	1.461
30/09/2012	513.01	5.938	34.78	1.385
01/10/2012	501.45	5.804	12.60	1.735

02/10/2012	530.09	6.135	36.53	2.067
03/10/2012	488.32	5.652	38.87	1.539
04/10/2012	509.17	5.893	10.96	1.455
Promedio	511.96	5.926	29.15	1.607

Tabla 4.7 Indicadores de gestión del tanque elevado Santa Teresa

Fecha	Consumo (m ³)	Caudal Promedio (l/s)	ICMN (%)	ICHM
29/09/2012	176.47	2.04	36.82	1.445
30/09/2012	178.06	2.06	35.62	1.581
01/10/2012	177.05	2.05	37.14	1.579
02/10/2012	196.59	2.27	36.56	1.988
03/10/2012	185.21	2.14	40.49	1.808
04/10/2012	179.45	2.08	40.01	1.434
Promedio	182.14	2.11	37.77	1.639

Tabla 4.8 Indicadores de gestión del tanque Biznagas

Fecha	Consumo (m ³)	Caudal Promedio (l/s)	ICMN (%)	ICHM
29/09/2012	297.82	3.44	29.36	1.66
30/09/2012	303.70	3.51	13.20	1.69
01/10/2012	307.13	3.55	24.70	1.66
02/10/2012	354.91	4.1	28.68	1.93
03/10/2012	335.21	3.88	0.00	1.740
04/10/2012	321.94	3.73	29.47	1.610
Promedio	320.12	3.70	20.90	1.715

Tabla 4.9 Indicadores de gestión del tanque Cervera

Fecha	Consumo (m ³)	Caudal Promedio (l/s)	ICMN (%)	ICHM
22/09/2012	362.2	4.19	40.41	1.478
23/09/2012	370.3	4.28	34.35	1.355
24/09/2012	334.8	3.87	0.00	1.441
25/09/2012	421.3	4.87	33.61	1.88
26/09/2012	382.6	4.42	37.64	1.587
28/09/2012	368.4	4.26	38.44	1.407
Promedio	373.27	4.315	30.74	1.525

Los valores anteriores sirven de referencia para conocer las condiciones iniciales antes de controlar la presión, se tienen que realizar las pruebas de aislamiento en los macro sectores para determinar que tan validos son los indicadores de gestión.

4.2 Zonas de influencia zona Sur

Las zonas o áreas de influencia de los 8 tanques fueron se determinaron principalmente con base en la topografía y a la cobertura de agua que existe con presión entre los 3 y 4 kg/cm². La zona de influencia para cada tanque se muestra a continuación:

4.2.1 Tanque Cervera

Las colonias que abastece este tanque son: fraccionamiento Santa Fe, El Campanario, Mártires I y II y Fraccionamiento las Cumbres.



Figura 4.3 Tanque Cervera

Tabla.4.10 Características del tanque Cervera

Tanque	Medición	Cap. tanque (m ³)	Caudalímetro	Registrador
Cervera	Caudal	400	marca Dorot tipo bridado	Lolog Flash de 2 canales

Registadores instalados en la zona de influencia

Colonia	Fecha	Hora	Presión puntual
Campanario	21-sep-12	10:35 a.m.	41 mca
Fracc. Santa Fe	21-sep-12	10:51 a.m.	36.4 mca
Fracc. Santa Fe	21-sep-12	11:05 a.m.	35.4 mca

Tabla.4.11 Registradores en zona de influencia tanque Cervera

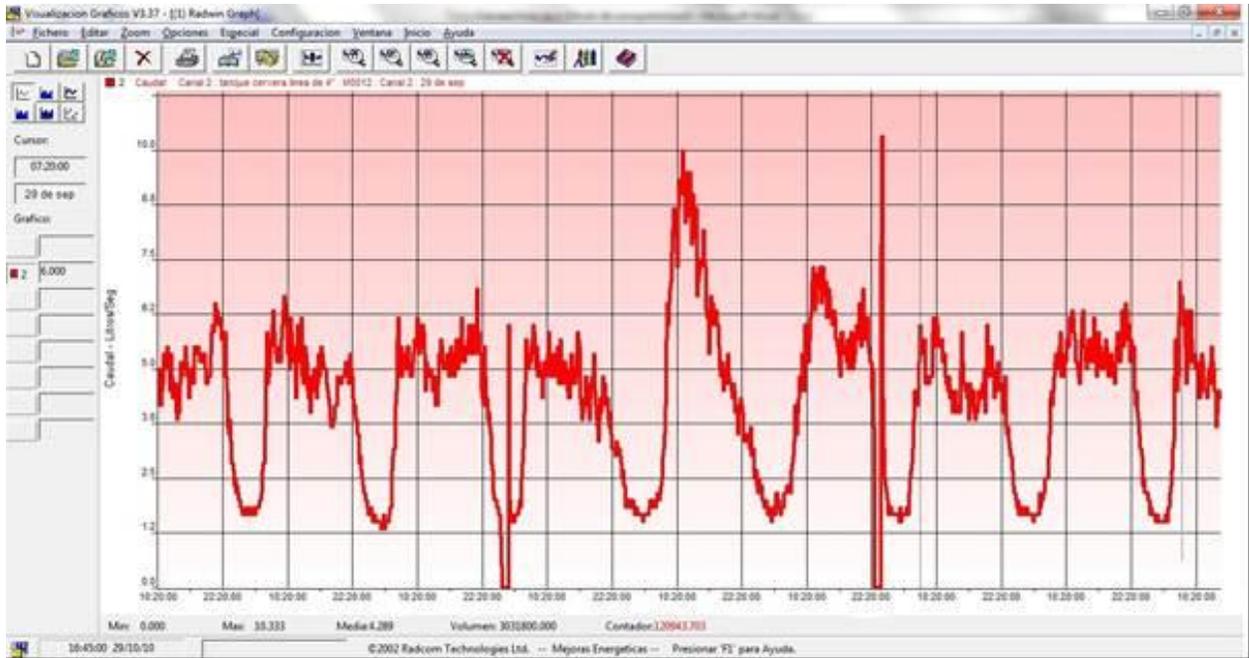


Figura 4.4 Medición de caudal a la salida del tanque Cervera en tubo de 4"



Figura 4.5 Medición de presión en calle Hormiguero, Colonia Campanario

4.2.2 Tanque Tres Estrellas

Las colonias que abastece este tanque son: la Quinta, La Alhóndiga, Peñitas, Yerbabuena, Cúpulas 1, Fracc. Tres Estrellas, Alcaldes y Mineral de la Hacienda



Figura 4.6 Tanque Tres Estrellas

Tanque	Medición	Cap. tanque (m ³)	Caudalímetro	Registrador
Tres Estrellas	Caudal y presión	1000	electromagnético tipo inserción	Multi Lolog de 3 canales

Tabla.4.12 Indicadores de gestión del tanque Tres estrellas

Registradores instalados en la zona de influencia

Colonia	Fecha	Hora	Presión puntual
Fracc Alhóndiga	29-sep-12	02:30 p.m.	67 mca
Fracc M Hacienda	29-sep-12	01:00 p.m.	33 mca
	29-sep-12	3:30 p.m.	68 mca
Peñitas	28-sep-12	12:10 p.m.	66.6 mca

Tabla.4.13 Registradores en zona de influencia tanque Tres estrellas

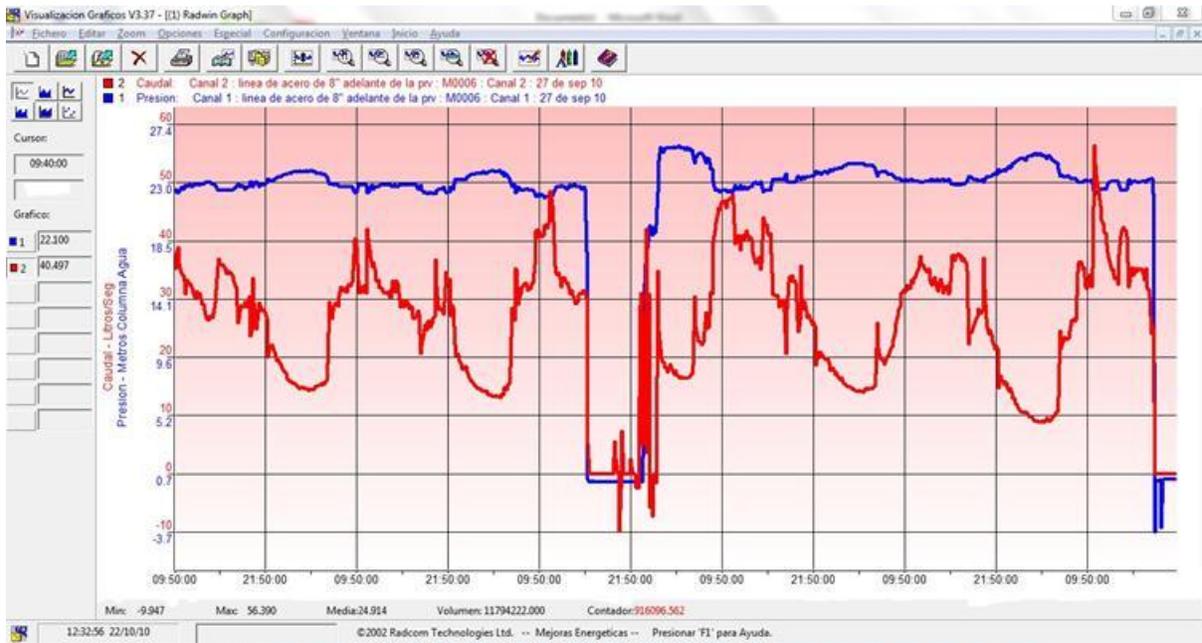


Figura 4.7 Medición de caudal y presión a la salida del tanque Tres Estrellas

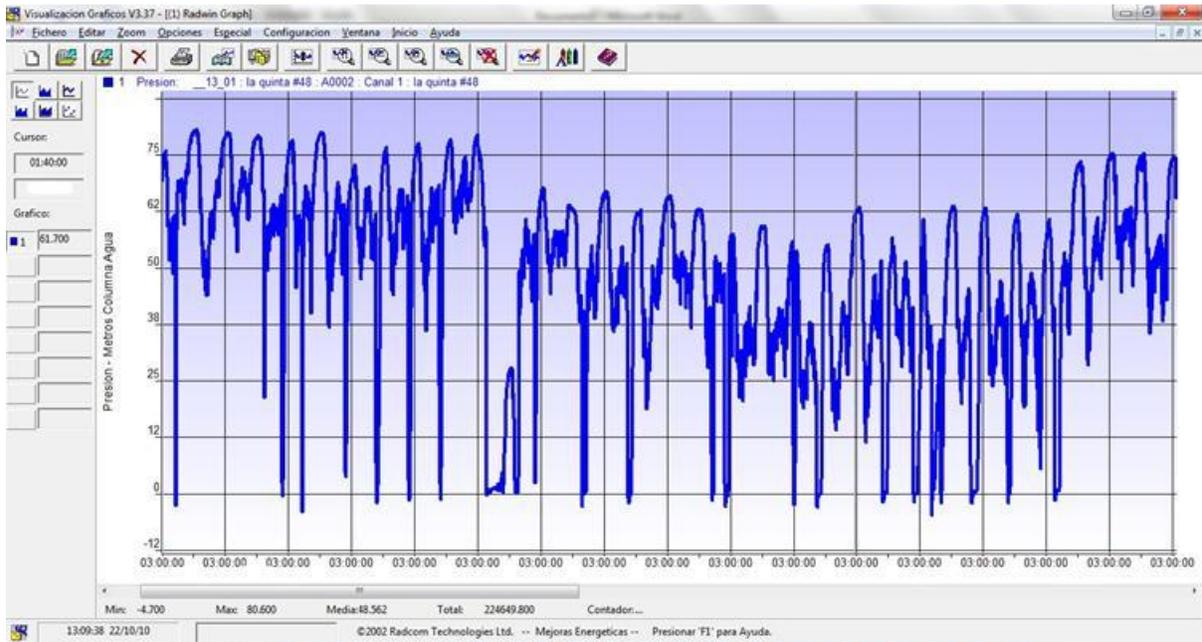


Figura 4.8 Medición de presión en calle La Quinta, Fracc. M de la Hacienda

4.2.3 Tanque Yerbabuena

Las colonias que abastece este tanque son: San isidro, Las Arboledas, Fracc. Nuevo Solano, Lomas de Corona



Figura 4.9 Tanque Yerba buena

Tanque	Medición	Cap. tanque (m ³)	Caudalímetro	Registrador
Yerba buena	Caudal y presión	300	electromagnético o tipo inserción	Lolog de 2 canales

Tabla.4.14 Indicadores de gestión del tanque Yerba buena

Registradores instalados en la zona de influencia

Colonia	Fecha	Hora	Presión puntual
Las Arboledas	23-sep-12	10:25 a.m.	26.3 mca
Yerba buena	21-sep-12	3:26 p.m.	48.3 mca
San Isidro	21-sep-12	04:47 p.m.	56.0 mca

Tabla.4.15 Registradores en zona de influencia tanque Yerba buena

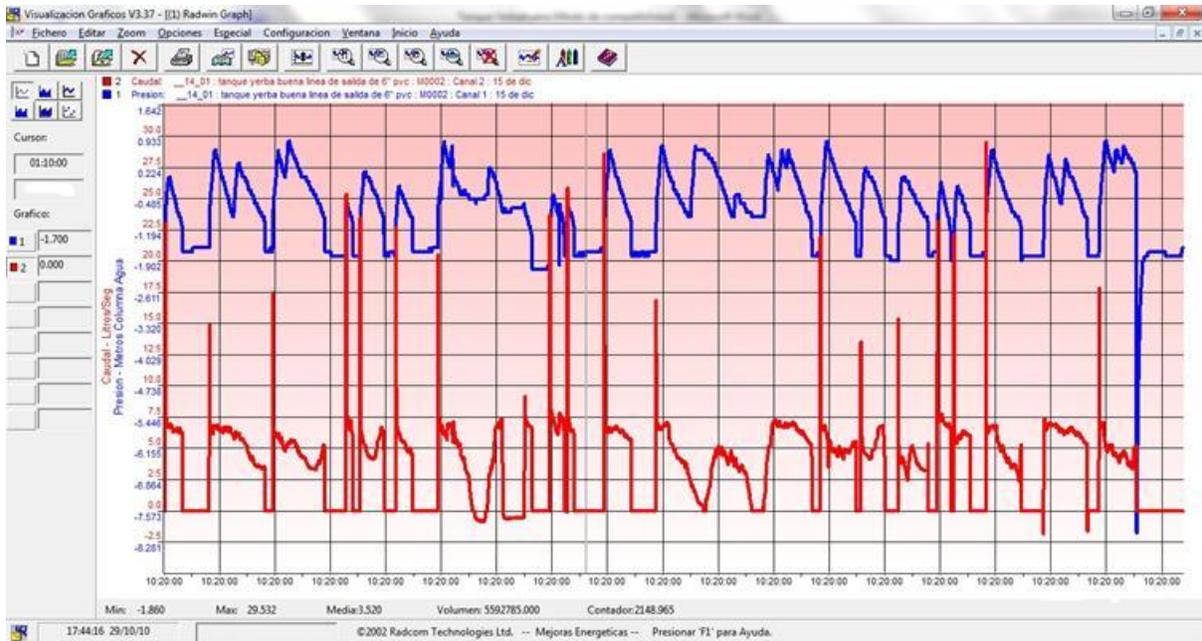


Figura 4.10 Medición de presión en calle La Quinta, Fracc.M de la Hacienda

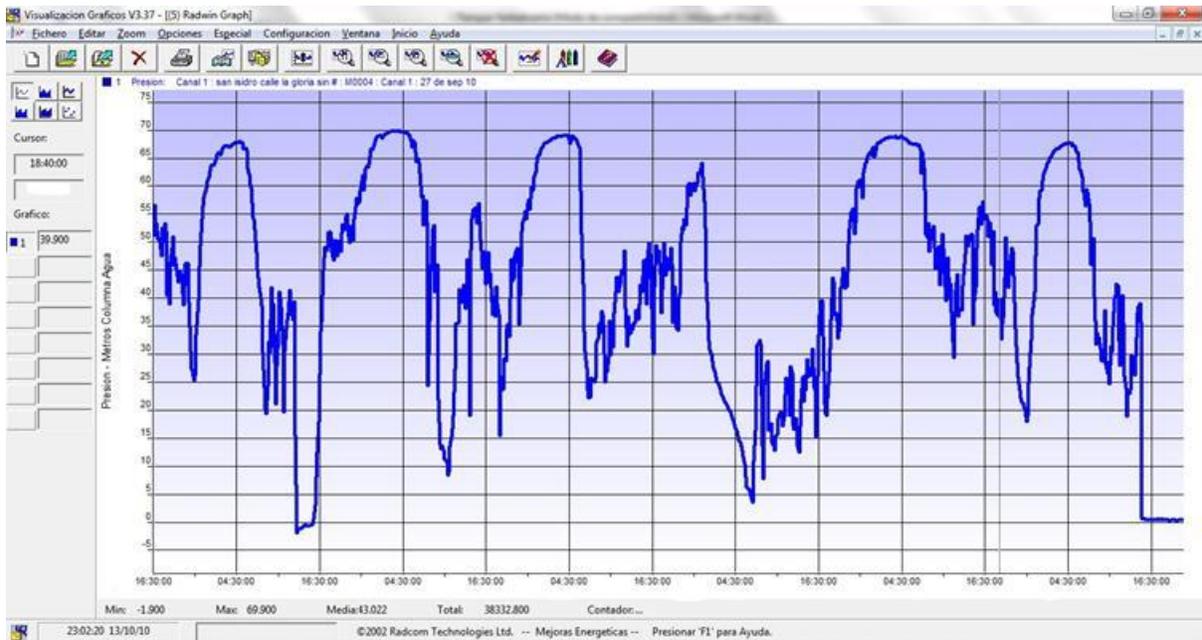


Figura 4.11 Medición de presión en calle La Quinta, Fracc.M de la Hacienda

4.2.4 Tanque Caminera

Respecto al tanque Caminera, las colonias que abastece este tanque son: Independencia y Los Trojes.



Figura 4.12 Tanque Caminera

Tanque	Medición	Cap. tanque (m ³)	Caudalímetro	Registrador
Caminera	Caudal y presión	400	electromagnético tipo inserción	Lolog de 2 canales

Tabla.4.16 Indicadores de gestión del tanque Caminera

Registradores instalados en la zona de influencia

Colonia	Fecha	Hora	Presión puntual
Independencia	21-sep-12	1:45 p.m.	59 mca
Independencia	21-sep-12	2:00 p.m.	38.4 mca

Tabla.4.17 Registradores en zona de influencia tanque Caminera



Figura 4.13 Medición de presión en Miguel Domínguez, Col. Independencia

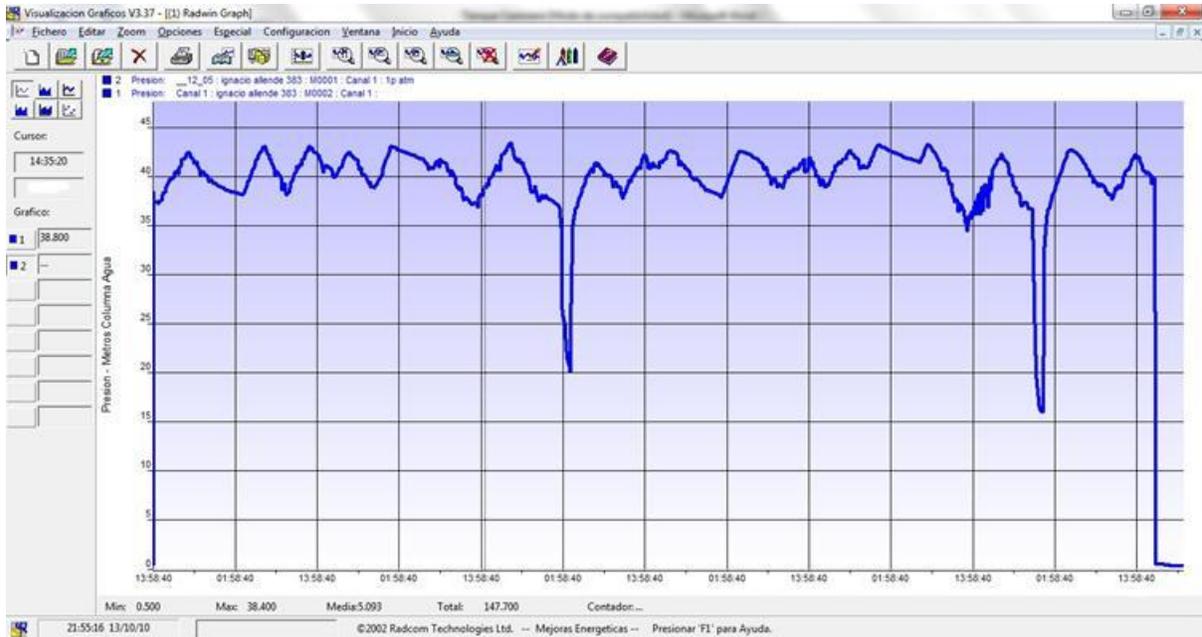


Figura 4.14 Medición de presión en Ignacio Allende, Col. Independencia

4.2.5 Tanque Biznagas

Las colonias que abastece este tanque son: Biznagas, Circuito de Nuestra Señora de Gto., Fracc. Del Arte.

	Tanque	Medición	Cap. tanque (m ³)	Caudalímetro	Registrador
	Biznagas	Caudal y presión	300	electromagnético tipo inserción	Lolog de 2 canales

Tabla.4.18 Indicadores de gestión del tanque Biznagas

Registradores instalados en la zona de influencia

Colonia	Fecha	Hora	Presión puntual
Fracc. Del Arte	23-sep-12	1:06 p.m.	70 mca

Tabla.4.19 Registradores en zona de influencia tanque Biznagas

Figura 4.15 Tanque Biznagas

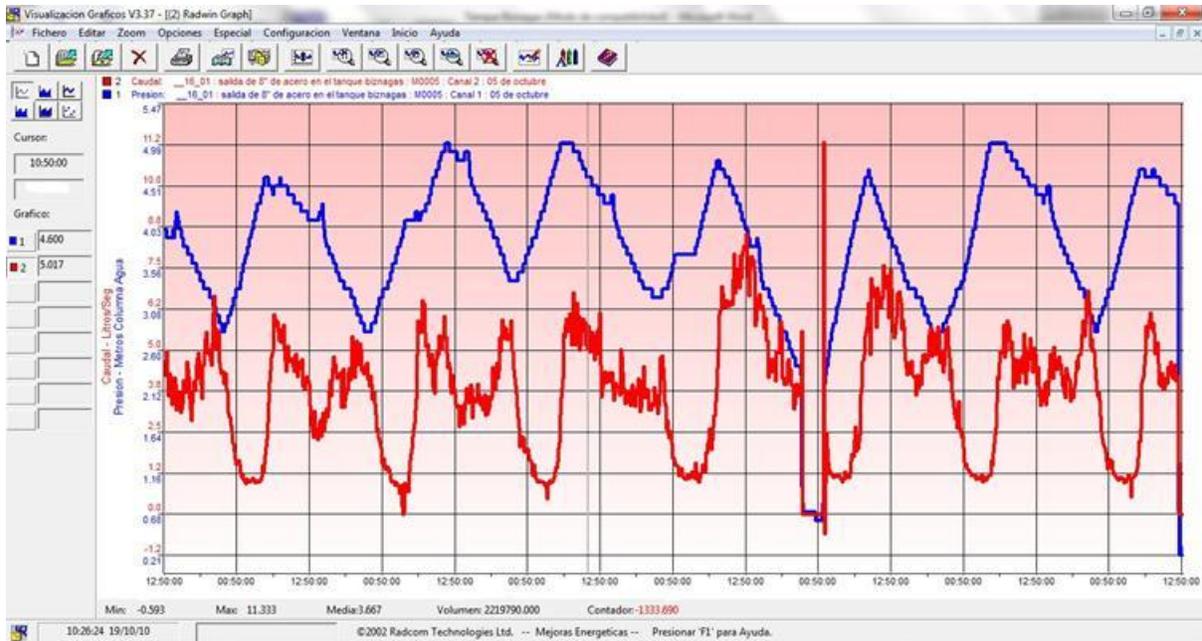


Figura 4.16 Medición de presión y caudal salida tanque Biznagas

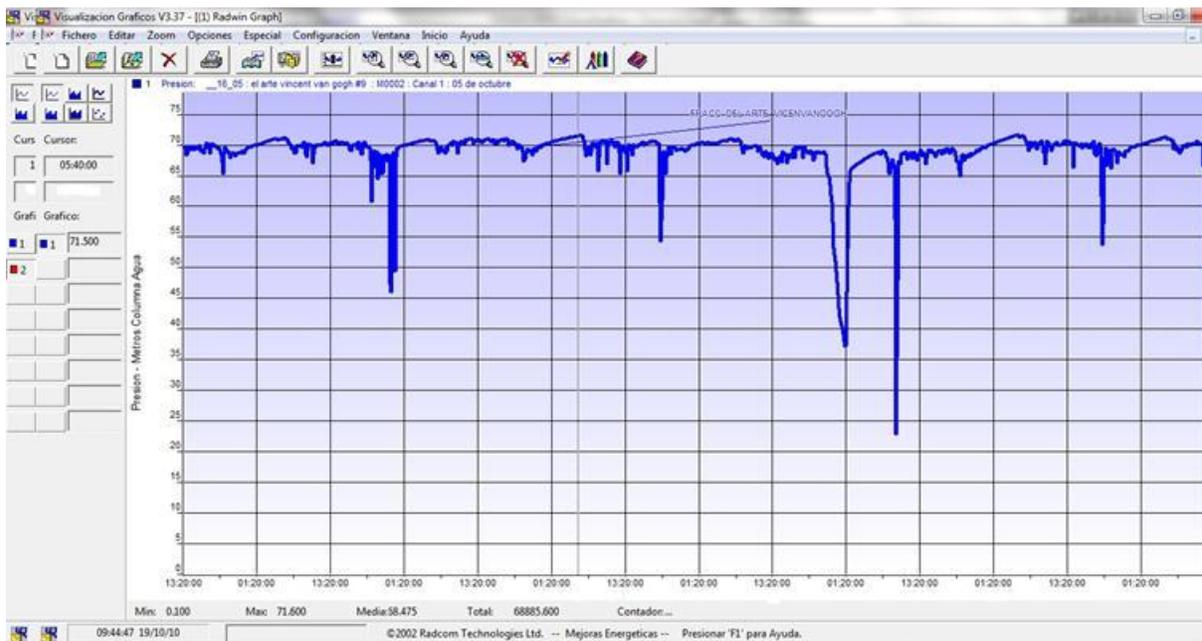


Figura 4.17 Medición de presión en Vincent Van Gogh, Col. Fracc. Del Arte

4.2.6 Tanque Marfil

Las colonias que abastece este tanque son: Las Palomas, las Águilas, presa de los Santos, Fracc. Lomas II y Fracc. Linda Vista.



Figura 4.18 Tanque Marfil

Tanque	Medición	Cap. tanque (m ³)	Caudalímetro	Registrador
Marfil	Caudal y presión	300	electromagnético o tipo inserción	Lolog de 2 canales

Tabla.4.20 Indicadores de gestión del tanque Marfil

Registradores instalados en la zona de influencia

Colonia	Fecha	Hora	Presión puntual
	29-sep-12	10:37 a.m.	41.0 mca
Fracc. Los Pinos	29-sep-12	10:54 a.m.	65.3 mca
Marfil	29-sep-12	11:47 a.m.	30.10 mca
Las Águilas	29-sep-12	12:06 a.m.	0.3 mca
Jalapa	29-sep-12	01:12 p.m.	39.0 mca

Tabla.4.21 Registradores en zona de influencia tanque Marfil

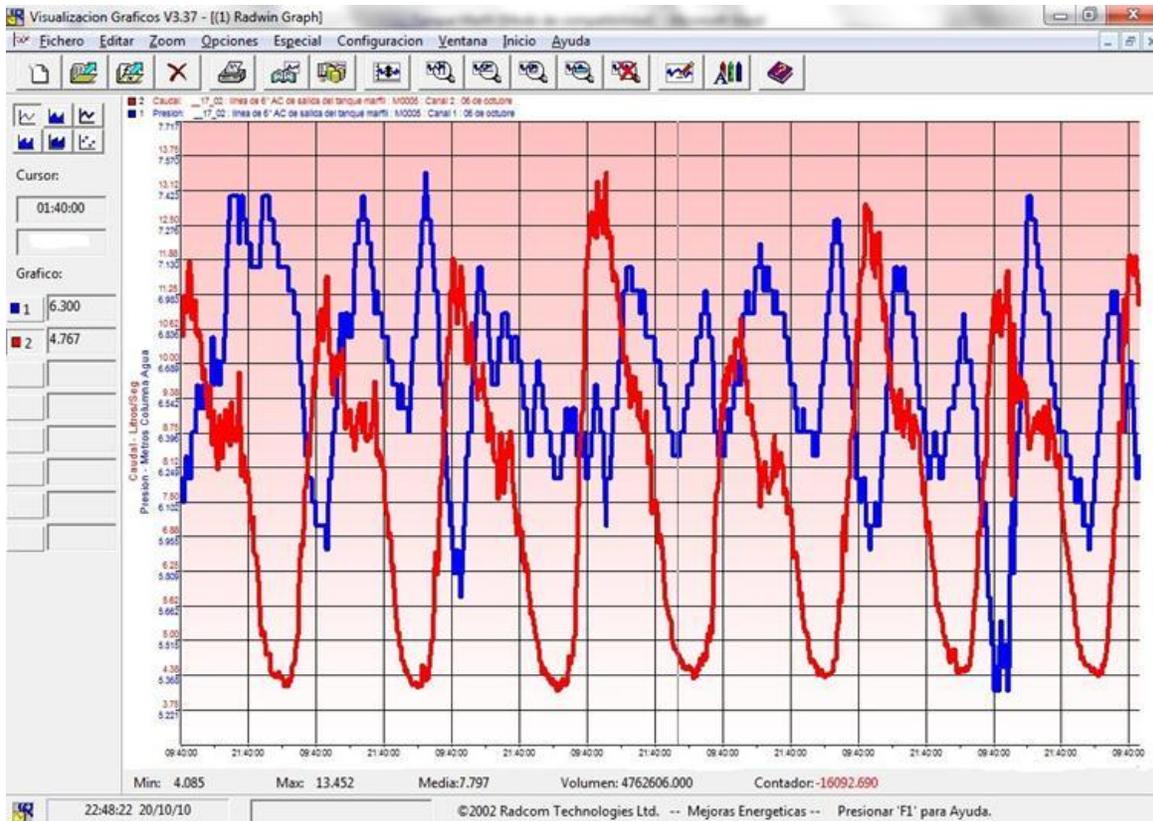


Figura 4.19 Medición de caudal y presión en la salida Tanque Marfil

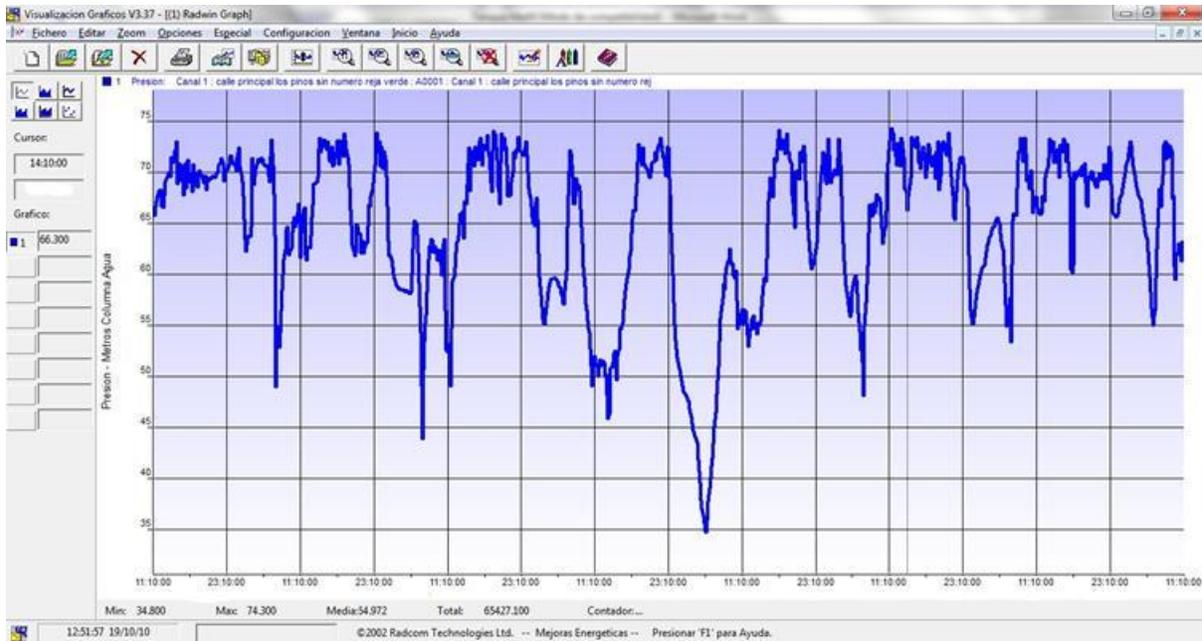


Figura 4.20 Medición de presión en la calle Los Pinos

4.2.7 Tanque Las Teresas

Las colonias que abastece este tanque son: Fracc. Las Teresas



Figura 4.21 Tanque Las Teresas

Tanque	Medición	Cap. tanque (m ³)	Caudalímetro	Registrador
Las Teresas	Caudal y presión	400	electromagnético o tipo inserción	Lolog de 2 canales

Tabla.4.22 Características tanque Las Teresas

Registradores instalados en la zona de influencia

Colonia	Fecha	Hora	Presión puntual
2do Las Teresas	28-sep-12	11:39 a.m.	49.1 mca

Tabla.4.23 Registradores en zona de influencia tanque Las Teresas

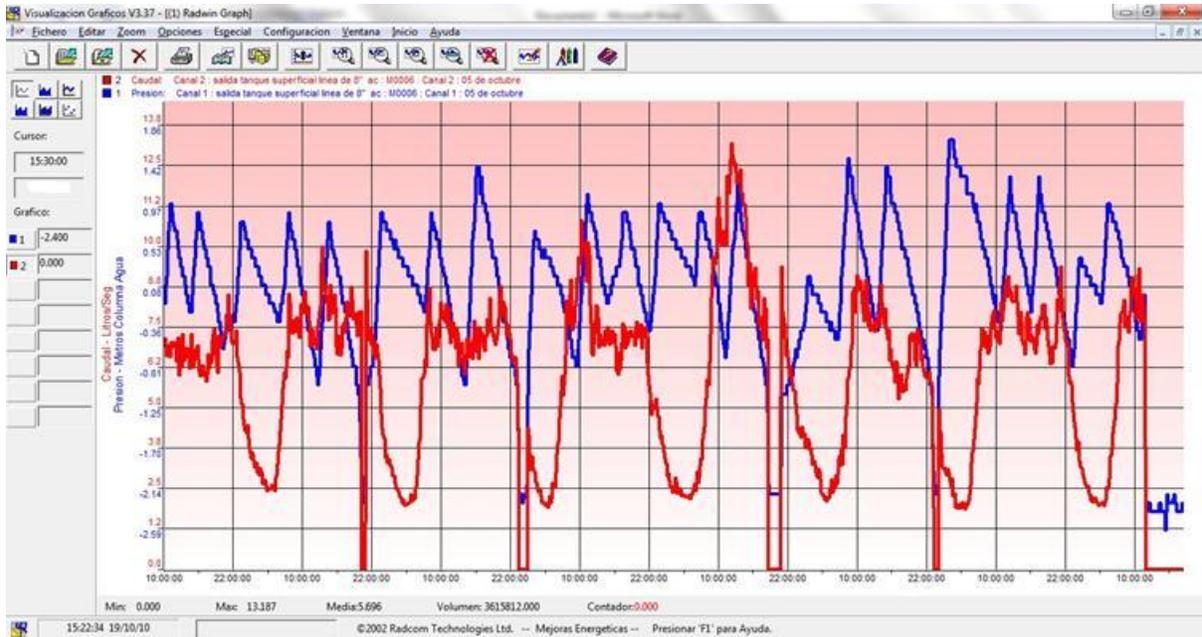


Figura 4.22 Presión y caudal en salida tanque superficial Las Teresas

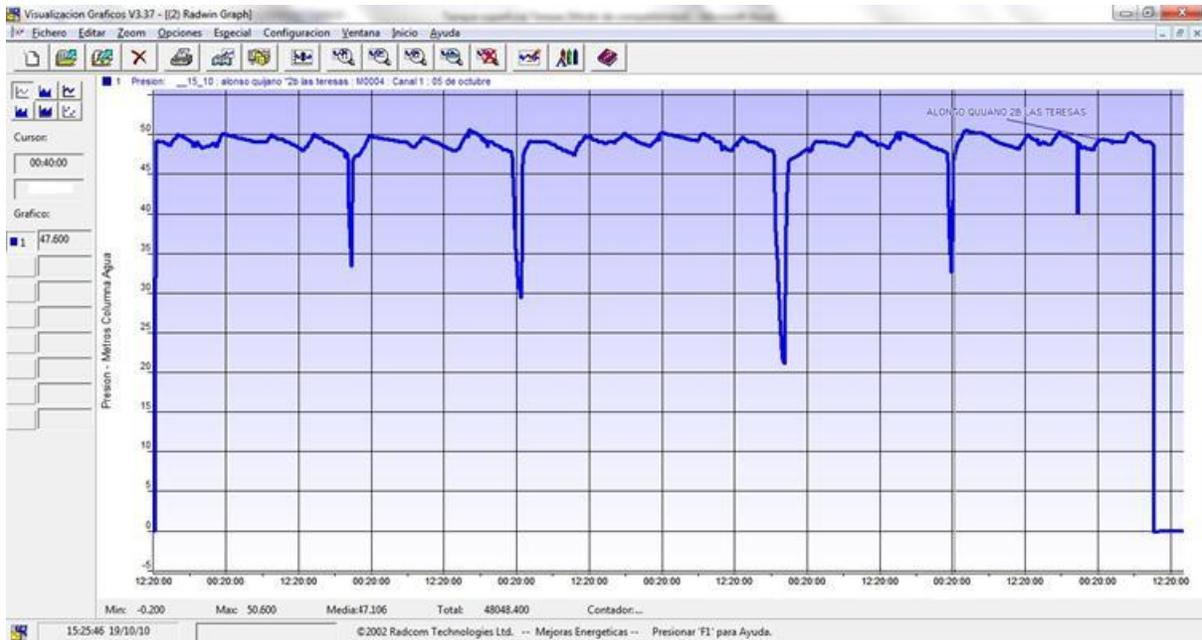


Figura 4.23 Presión en la calle Alonso Quijano, Las Teresas

En resumen el tanque y las colonias que abastecen las tuberías de salida de los tanques, a continuación se menciona la tubería y su respectiva zona de influencia.

Tanque Cervera – salida de 4”

- Fraccionamiento Santa Fe.
- El Campanario
- Mártires I

- Mártires II
- Fraccionamiento Las Cumbres

Tanque Cervera - salida 8

- Lomas del Pedregal.
- Fracc. Independencia.
- El Establo.
- Camino a Cervera.
- Paso del Norte
- Pozo del Padre.
- Fracc. Villas de Guanajuato.
- Fracc. Guanajuato Colonial.

Tanque Caminera

- Las Trojes
- Independencia
- Zona nueva (debajo de las trojes)

Tanque Marfil

- Cerrito del Marfil
- Mineral de Marfil
- Presa de la Rosa
- Linda Vista
- Las Palomas
- Arroyo de la bolsa
- El laurel
- Presa de los santos
- Las bateas

Tanque Biznagas

- Biznagas
- Circuito de nuestra señora de gto.
- Fracc. Del Arte.
- Lomas de Marfil I y II

Tanque ex hacienda santa teresa (elevado)

- Ex-Hacienda Santa Teresa.

Las Teresas (superficial)

- Fracc. Las Teresas

Tanque Tres estrellas- salida de 4

- Tres estrellas
- Burócrata

Tres estrellas salida de 8

- Col. La Quinta
- Xalapa (parte)
- Peñitas
- Glorieta Santa Fé (zona Hotelera)
- Col. Los alcaldes
- Mineral de la hacienda
- Cúpulas
- Fracc. La alhóndiga
- Fracc. Villa Seca
- Fracc. Mezquite Mocho

Tanque Yerba Buena

- Fraccionamiento Nuevo Solano.
- Lomas de Corona
- San Isidro
- Boulevard Euquerio Guerrero

4.3 Construcción del modelo hidráulico preliminar

Para la elaboración del modelo matemático se dividió la red de agua potable de la ciudad de Guanajuato en dos zonas: la zona Sur y Centro. Como se explicó, la zona Sur comprende los tanques Cervera, Caminera, Yerba buena, Tres Estrellas, Santa Teresa (superficial), Ex hacienda de Santa Teresas, Biznagas y Marfil.

4.3.1 Problemática y veracidad de la información de la red

Antes de iniciar el análisis y construcción del modelo hidráulico y por ende el análisis de la red, se observaron algunas diferencias en la información proporcionada por el SIMAPAG respecto al catastro de la red de agua potable y lo existente en campo. Se mencionan las más importantes:

1. La información del catastro indica que existe una tubería de 8" en la Glorieta Santa Fe, sin embargo en realidad se verificó en campo que es de 6", tal como se aprecia en la siguiente figura:

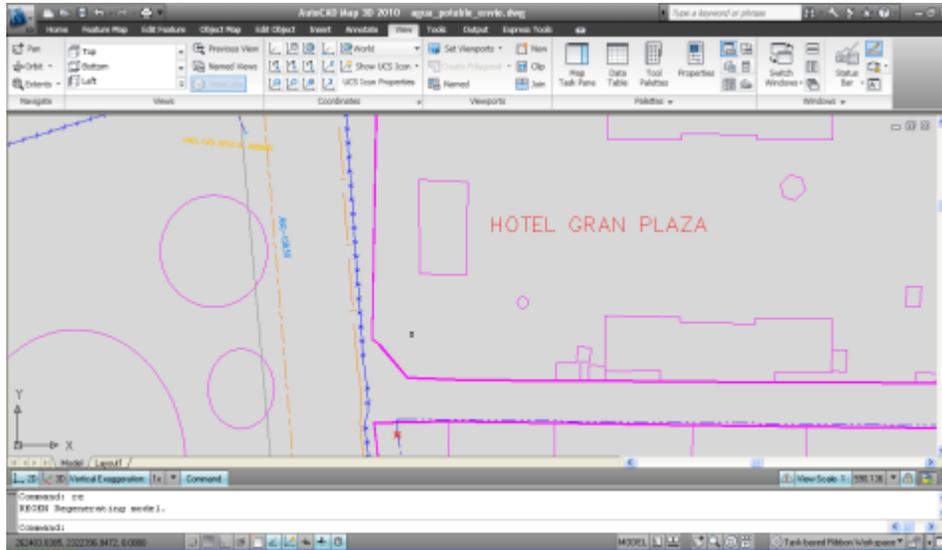


Figura 4.24 Tubería de diámetro incorrecto

2. Otro punto es la inexistencia de la tubería de distribución del tanque Caminera, ya que fue considerada una tubería de 10" tal como se encuentra en campo.

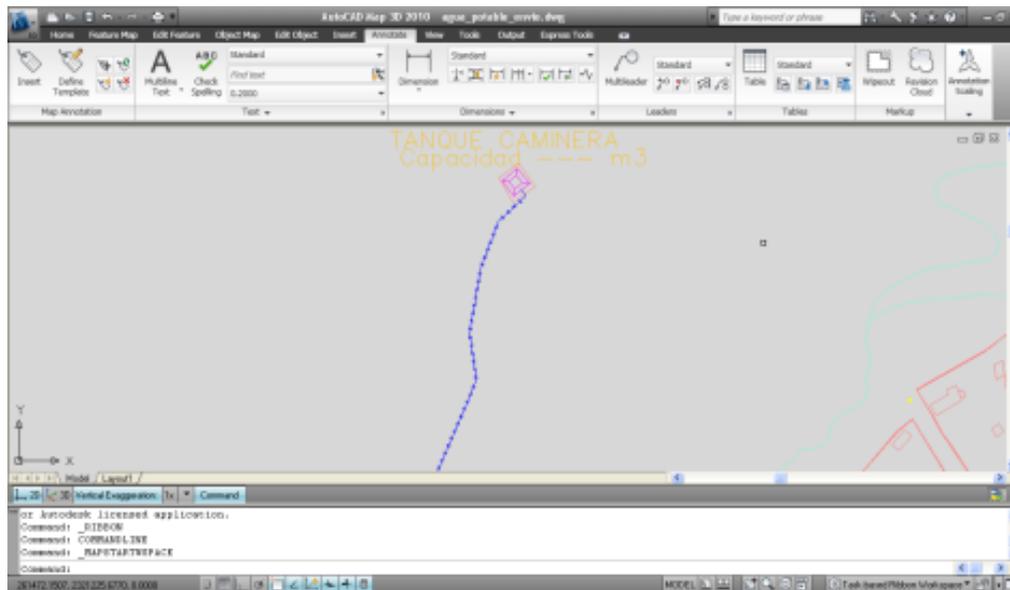


Figura 4.25 Tubería de diámetro incorrecto

3. Asimismo en la información del catastro no se presenta una tubería de 4" que procede del tanque Tres Estrellas y que alimenta a la colonia Alhóndiga.

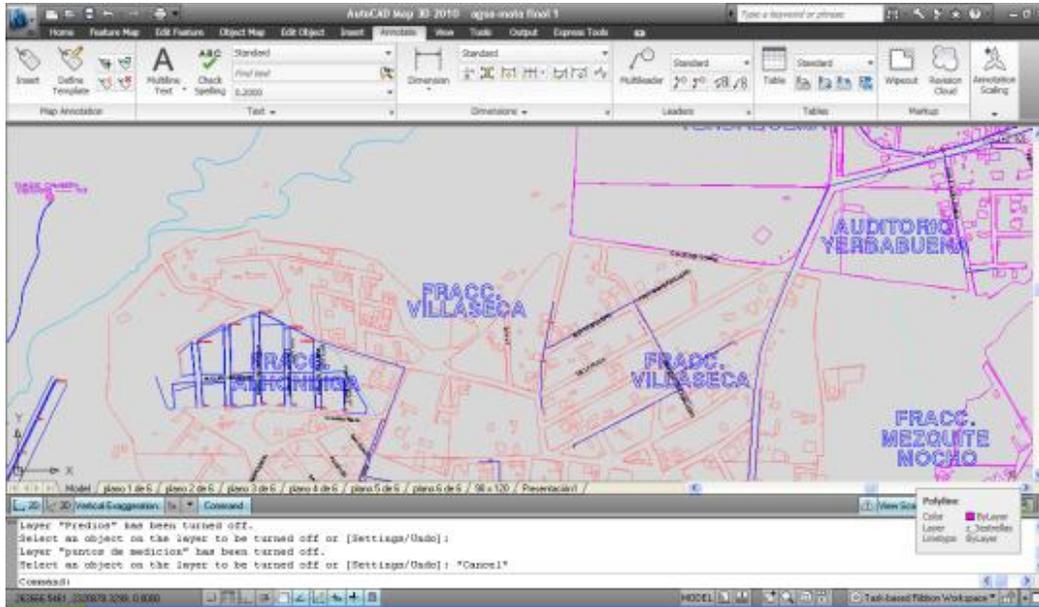


Figura 4.26 Inexistencia de Tubería en el catastro.

Para la construcción del modelo matemático se realizaron todas las consideraciones confirmadas en campo, apoyados en todo momento en el conocimiento de la red por parte de los operadores de SIMAPAG para representar el comportamiento de la red.

4.3.2 Introducción de la red de distribución al modelo

Una vez revisadas y corregidas las diferencias en el catastro se procedió a la introducción de todos los elementos existentes que componen la red de distribución. Como se mencionó en el *Capítulo 3 Estado del Arte*, el programa solicita los datos siguientes:

- Tuberías: tramos de la red con diámetro, longitud, coeficientes de fricción
- Válvulas reguladoras de presión o válvulas limítrofes cerradas
- Conexiones entre las tuberías (topología de la red).
- Nodos: elevación, demanda de agua
- Tanques: nivel de agua
- Bombas (de ser posible): curvas gasto-carga, nivel de succión, pérdidas de cargas menores.

Ahora bien teniendo la red armada y validada, tal como se aprecia en la siguiente figura, se procedió a la asignación de la elevación topográfica y demanda.

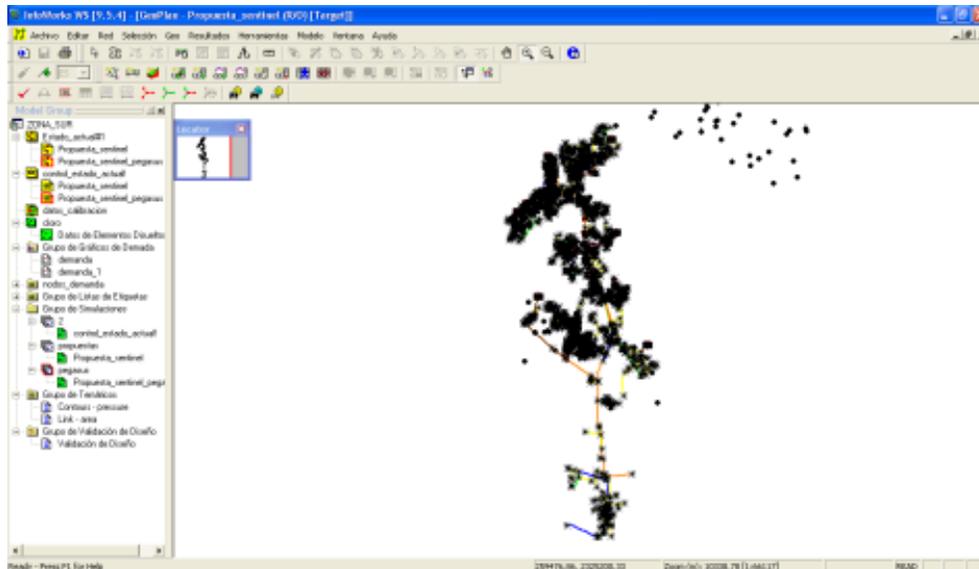


Figura 4.27 Inicio de la modelación en InfoWorks WS.

4.3.3 Asignación de elevación topográfica

Partiendo de la información topográfica de las curvas de nivel a cada metro, se construyó un modelo digital de elevación preliminar, para asignar la elevación topográfica a todos y cada uno de los nodos.

Teniendo el modelo matemático con las elevaciones topográficas se procedió a introducir la demanda en cada nodo.

4.3.4 Asignación de la demanda

Con base en las mediciones realizadas, indicadas en el punto 4.1, se determinó el caudal que suministran las diferentes tuberías de los tanques a los usuarios. Por la hidráulica de tuberías a presión se sabe que a mayor caudal en la tubería se tienen una menor presión en la red hidráulica, por tal motivo de la base de datos de las mediciones realizadas en la red de agua potable de Guanajuato, se seleccionó el mayor caudal para realizar la simulación en estado actual.

En la Tabla 4.24 se muestran los valores de demanda empleados en el modelo hidráulico

Tabla 4.24 Valores de caudal en los puntos de medición

TANQUE	LUGAR	CAUDAL(l/s)
Tres Estrellas	Tubería de 4"	3.18
	Tubería de 8"	24.93
Cervera	Tubería de 4"	3.67
	Tubería de 8"	11.55
Caminera	Tubería de 10"	3.50
Marfil	Tubería de 6"	18.96
Biznagas	Tubería de 6"	2.58
Ex Hacienda	Tubería de 8"	2.05
Las Teresas	Tubería de 8"	3.68
Yerba Buena	Tubería de 6"	3.77

Los valores anteriores son un caudal promedio, pero la variación se registró con un intervalo de 15 minutos, por tanto la curva de variación de la demanda se introdujo en el modelo, tal como se aprecia en la figura siguiente:

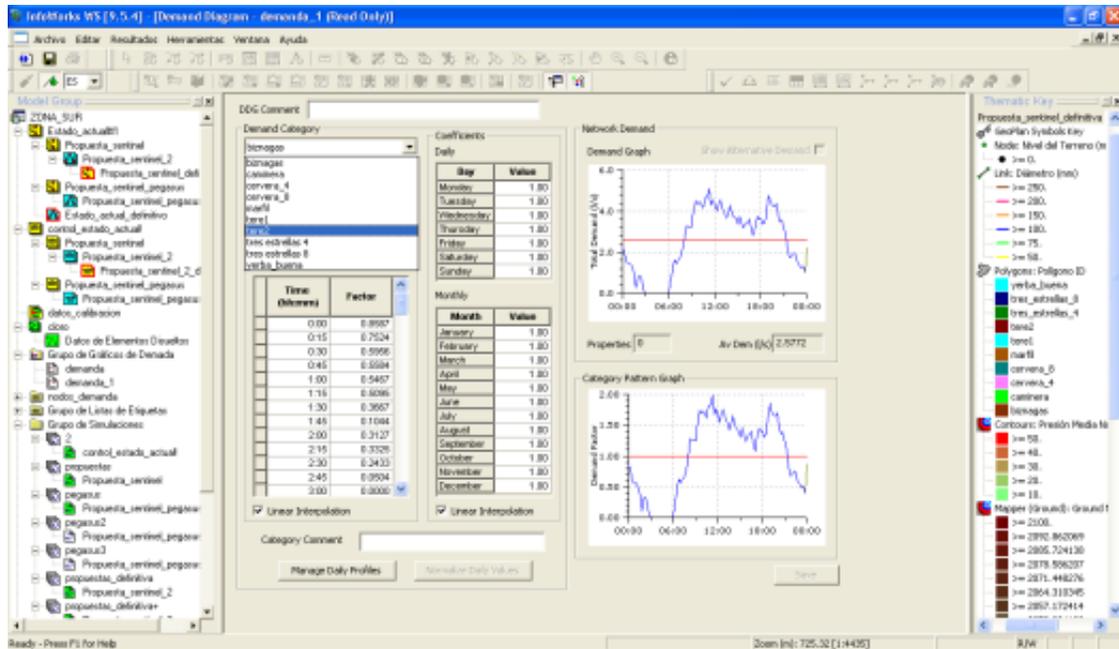


Figura 4.30 Gráficos de demanda

Los valores de la tabla anterior se distribuyeron por el método de área tributaria, validado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el cual consiste en tener un área envolvente con los nodos de demanda, siguiendo la técnica de la generación de polígonos de Thiessen, éstos fueron generados tal como se aprecia en la figura siguiente:

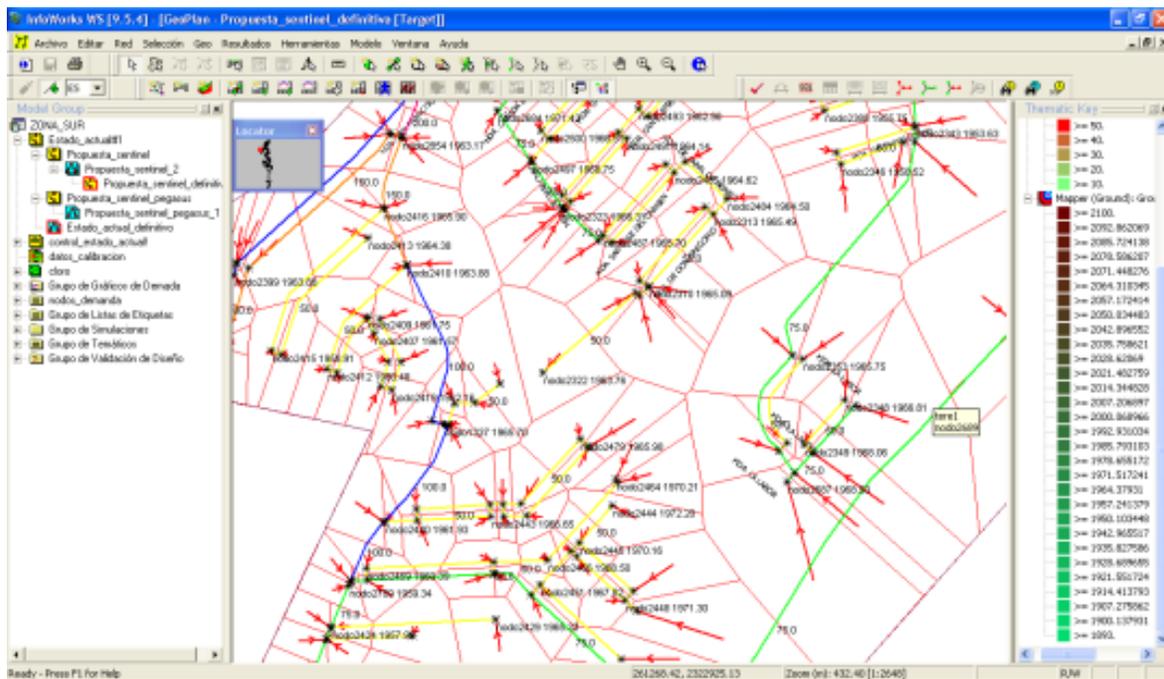


Figura 4.31 Polígonos de Thiessen

4.4 Simulación inicial

Una vez distribuido el caudal, se realizó la simulación inicial, donde se observa una zona de color rojo. Esta zona indica el área de presión mayor a 5 Kg/cm^2 , tal como se presenta en campo, y como lo muestra la figura siguiente:

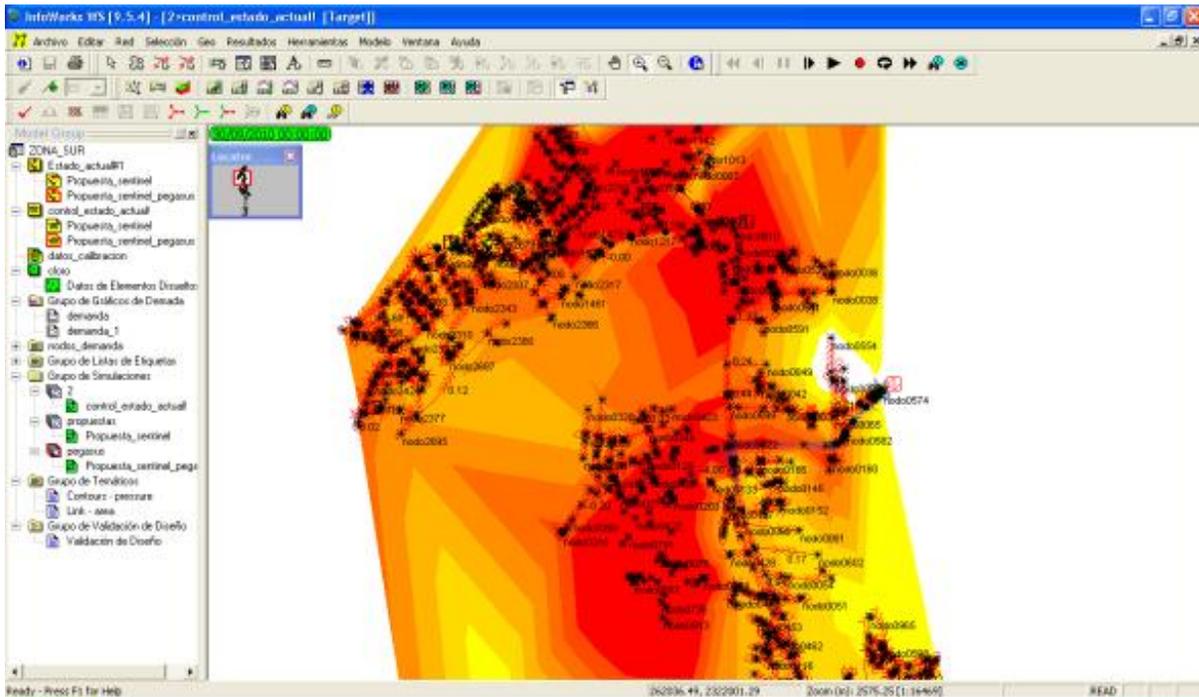


Figura 4.32 Simulación inicial

4.5 Ajuste del Modelo o Calibración del modelo

La calibración de un modelo numérico permite contar con una red virtual idéntica a la real, en cuyos tubos podemos medir gastos y presiones que indiquen el comportamiento real del sistema. Cualquier cambio que se realice en el modelo permitirá conocer los efectos que produce, tomando entonces las decisiones necesarias con la certeza de que el funcionamiento real será el mismo que el obtenido a través del modelo numérico. La calibración del modelo permite conocer el comportamiento real de la red en operación, con el fin de depurar las obras y acciones sobre la infraestructura.

Durante el proceso de calibración se pueden incluir acciones como cambios en las demandas del sistema, en la rugosidad de las tuberías, modificar las características de operación del sistema de bombeo, y ajustar otros atributos del modelo que afectan los resultados de la simulación.

Ya obtenida la simulación inicial, con un comportamiento similar a la red hidráulica, se procedió a realizar el ajuste del modelo; esta actividad se realizó con el modulo

que contiene el software *InfoWorks WS* llamado *calibration*, mismo que se alimentó con datos de medición en campo.

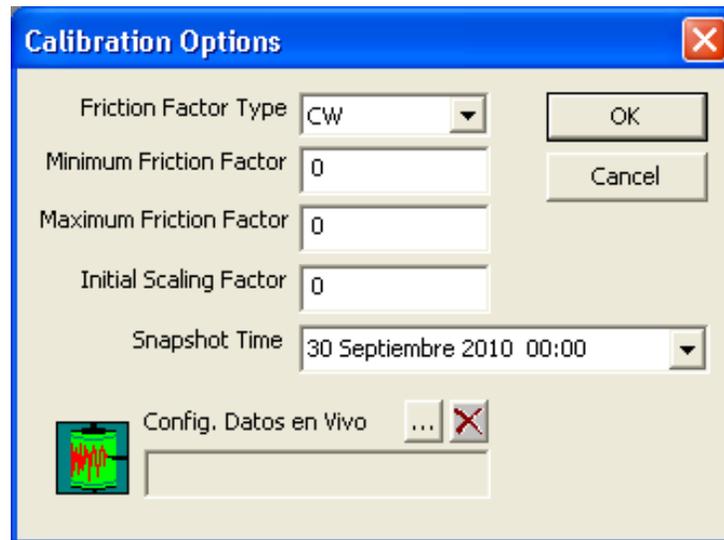


Figura 4.33 Herramienta “calibration” en software InfoWorks WS

Como resultado del proceso de calibración, en la siguiente serie de gráficas se muestra una comparativa entre los resultados del modelo matemático con las mediciones realizadas en campo.

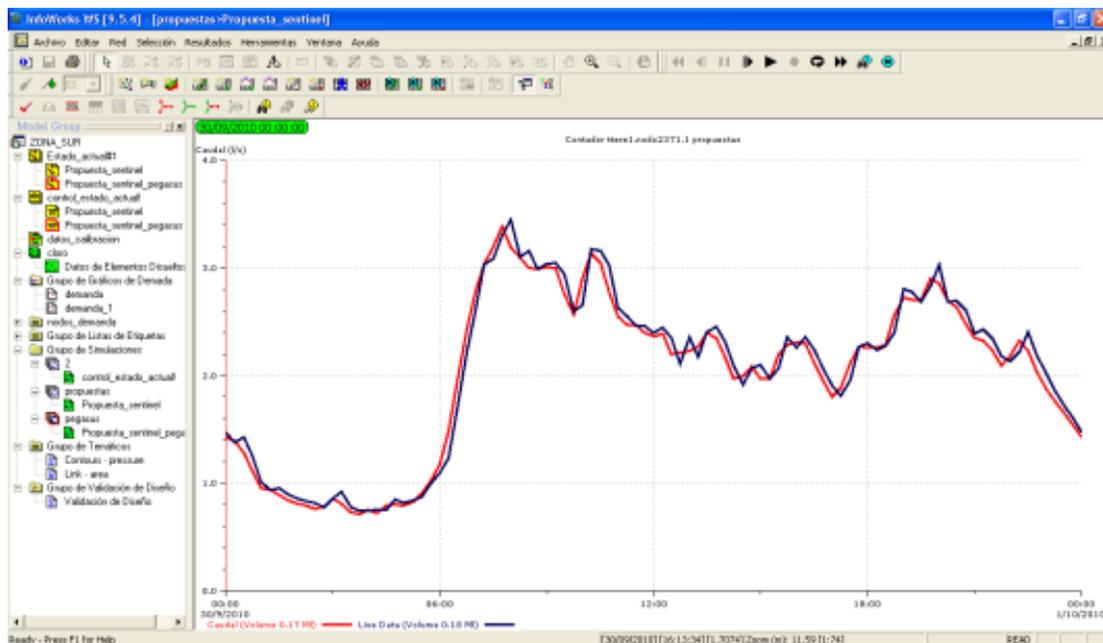


Figura 4.34 Tanque elevado de Santa Teresa, tubería de 8”

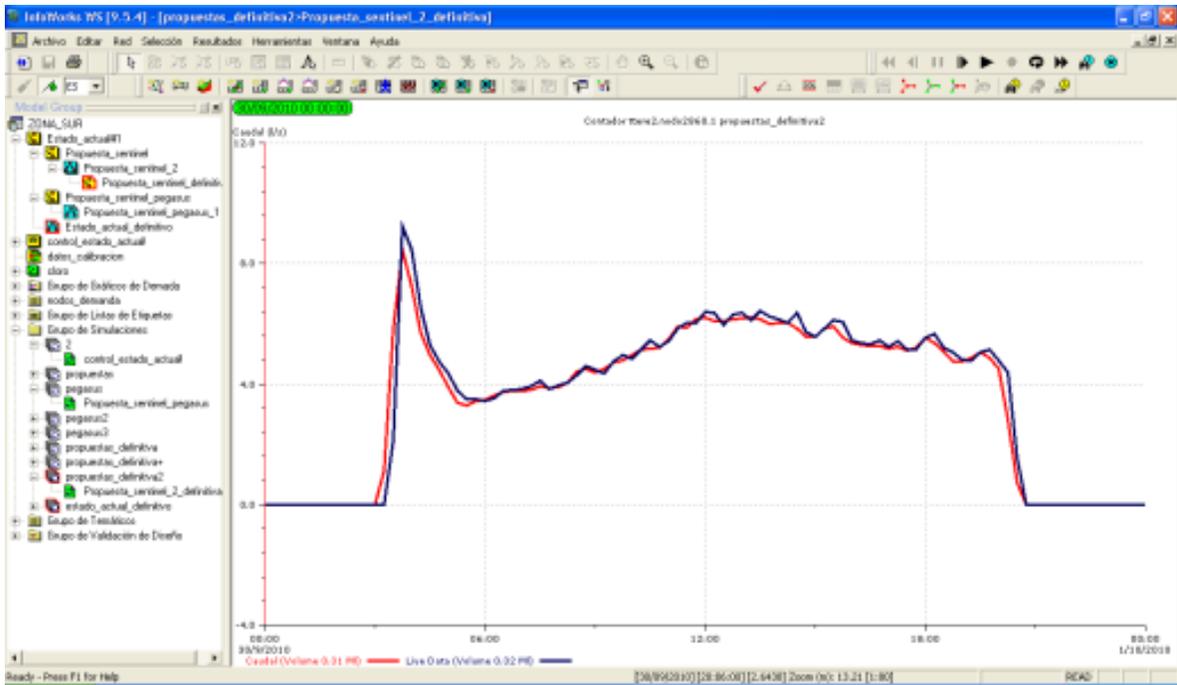


Figura 4.35 Tanque superficial de Santa Teresa, tubería de 8”

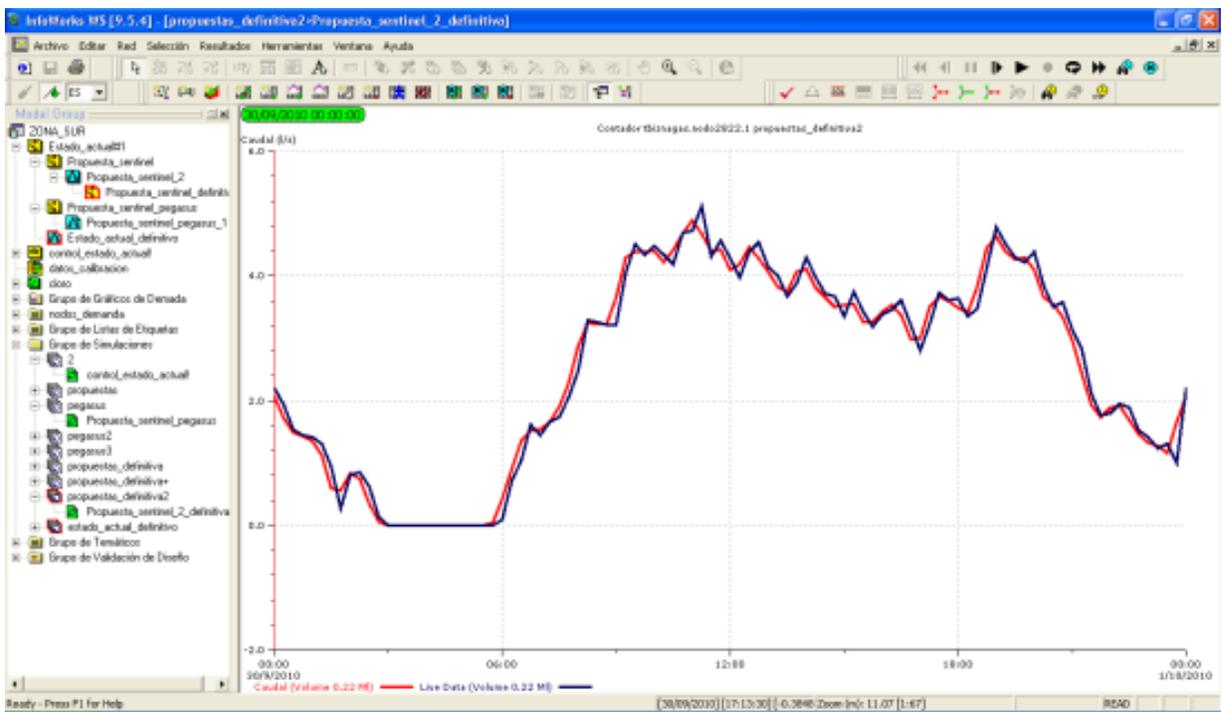


Figura 4.36 Tanque de Biznagas, tubería de 6”



Figura 4.37 Tanque del Marfil, tubería de 6”

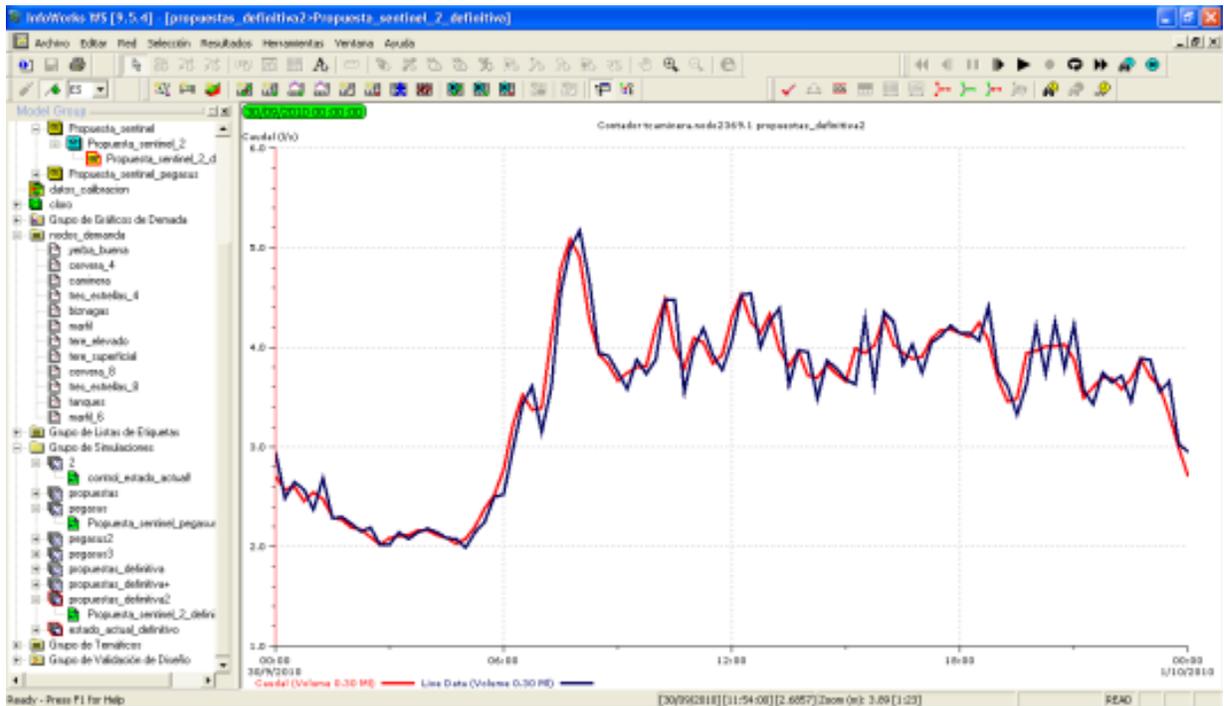


Figura 4.38 Tanque Caminera, tubería de 10”

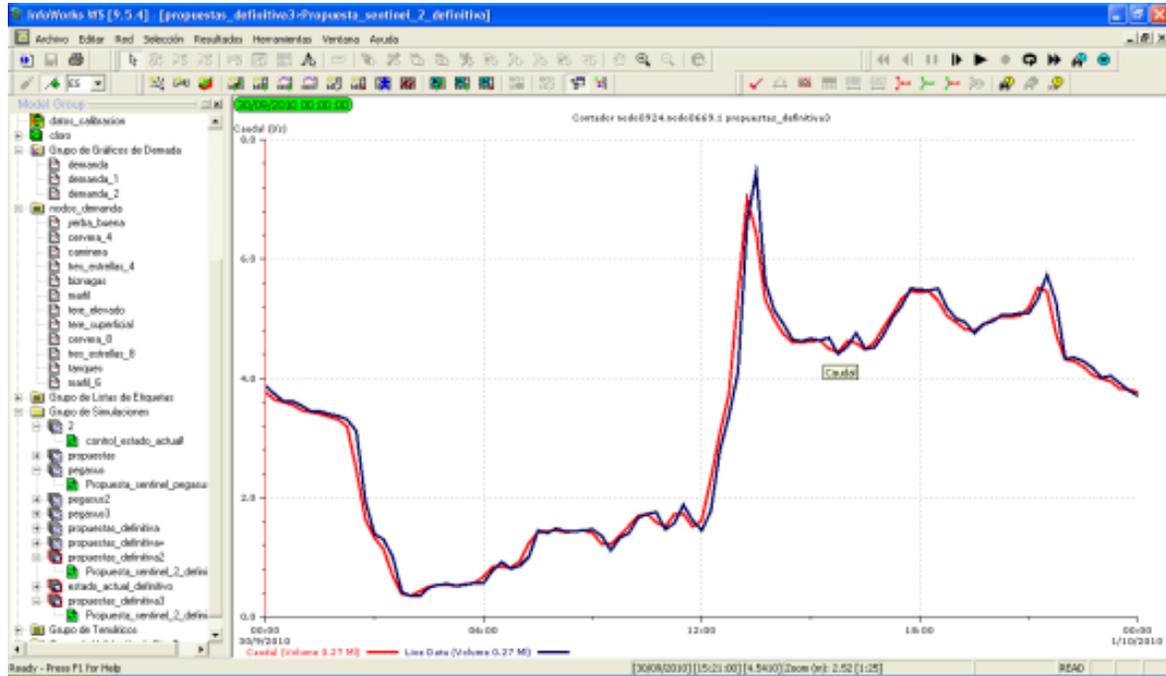


Figura 4.39 Tanque Tres estrellas, tubería de 4”

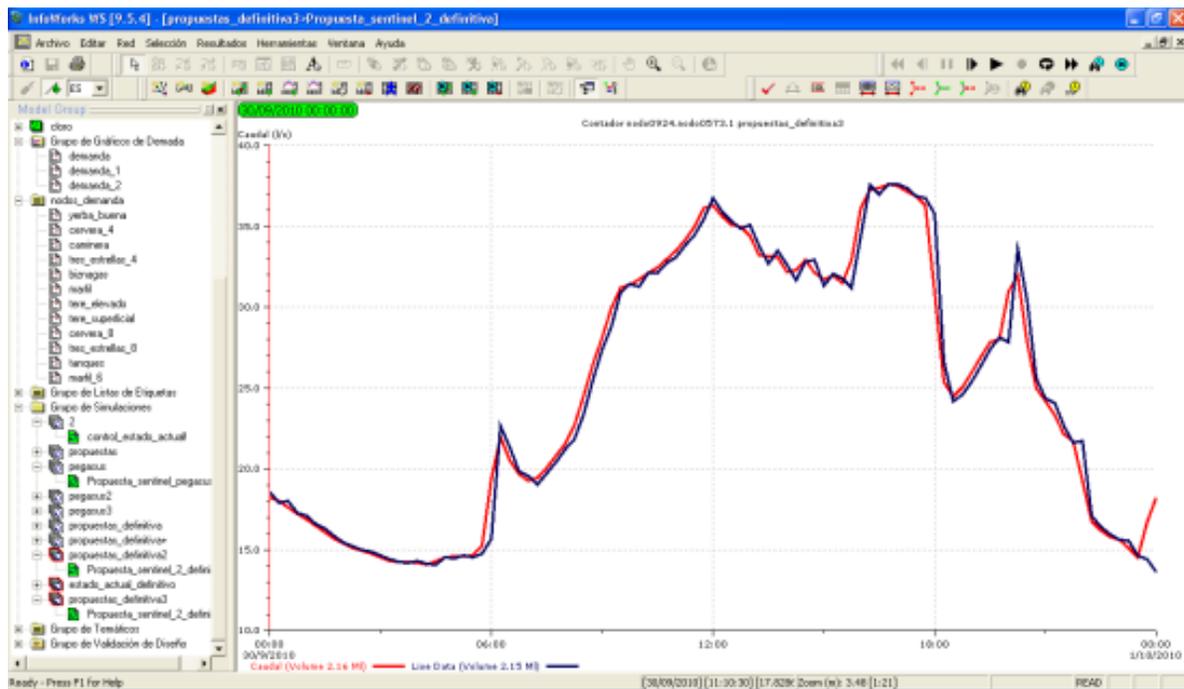


Figura 4.40 Tanque Tres estrellas, tubería de 8”

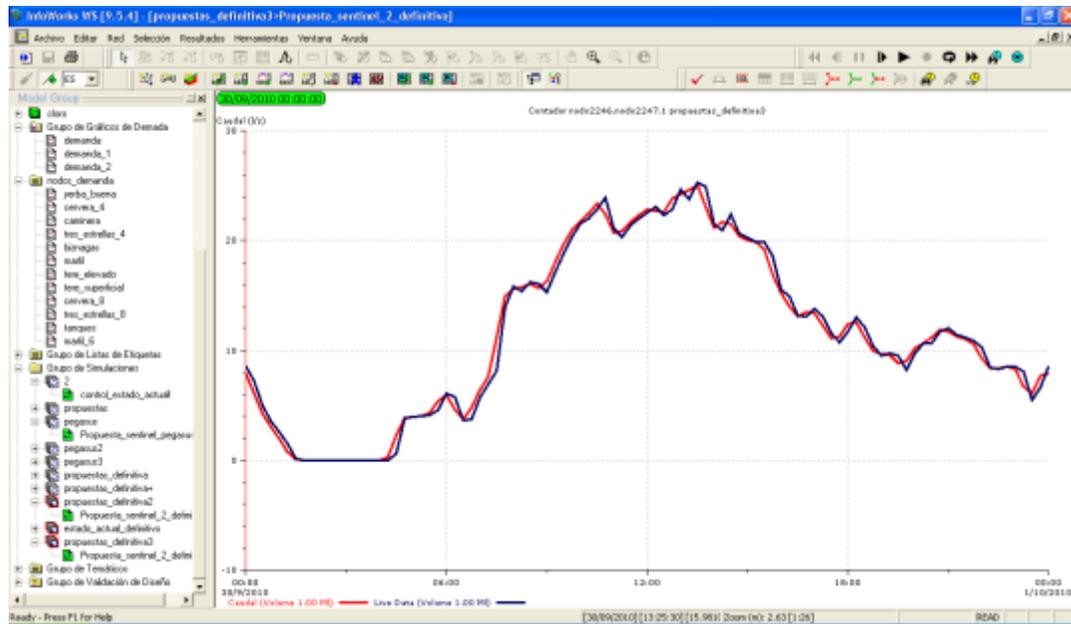


Figura 4.41 Tanque Cervera, tubería de 8"

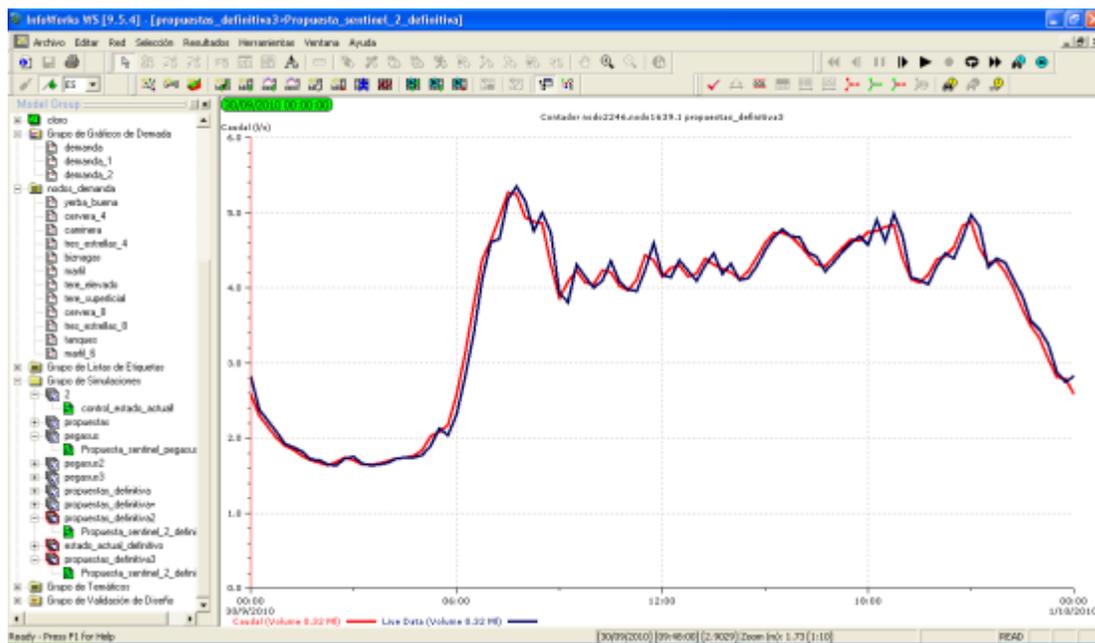


Figura 4.42 Tanque Cervera, tubería de 4"

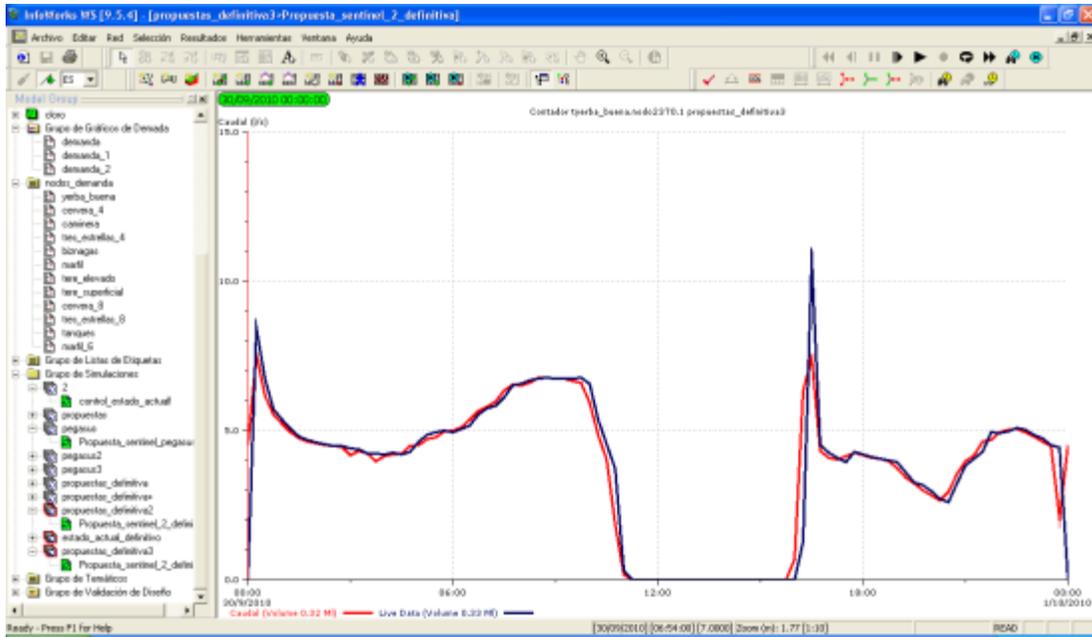


Figura 4.43 Tanque Yerba Buena, tubería de 6"

Como se observa, prácticamente en todos los casos se tiene muy buena aproximación, por tanto, se concluye que se tiene el modelo hidráulico calibrado; finalmente en la figura siguiente se muestra un contorno de presiones del estado actual.

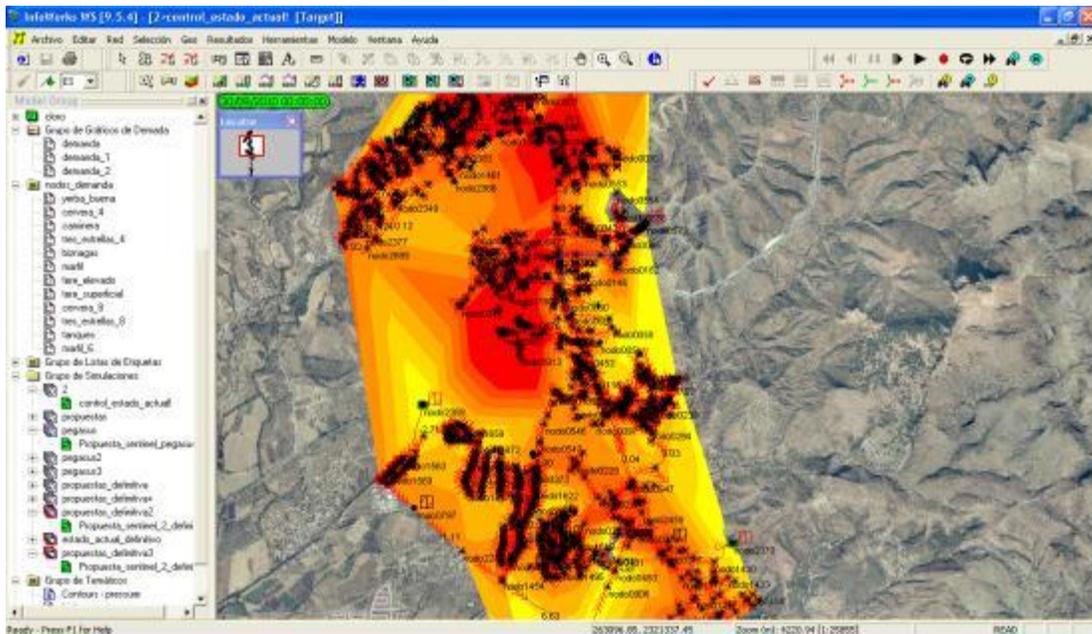


Figura 4.44 Contorno de presiones

4.6 Recomendaciones iniciales

En la figura anterior se observan zonas de color rojo, las cuales incluyen puntos con presiones mayores a los 5 Kg/cm², destacando, por ejemplo, la colonia Alhóndiga, la zona que incluye la central Camionera, los Alcaldes, Hospital General, Fraccionamiento Linda Vista, Marfil y Las Palomas, solo por mencionar algunas. En las imágenes siguientes se aprecian algunas de las colonias mencionadas.

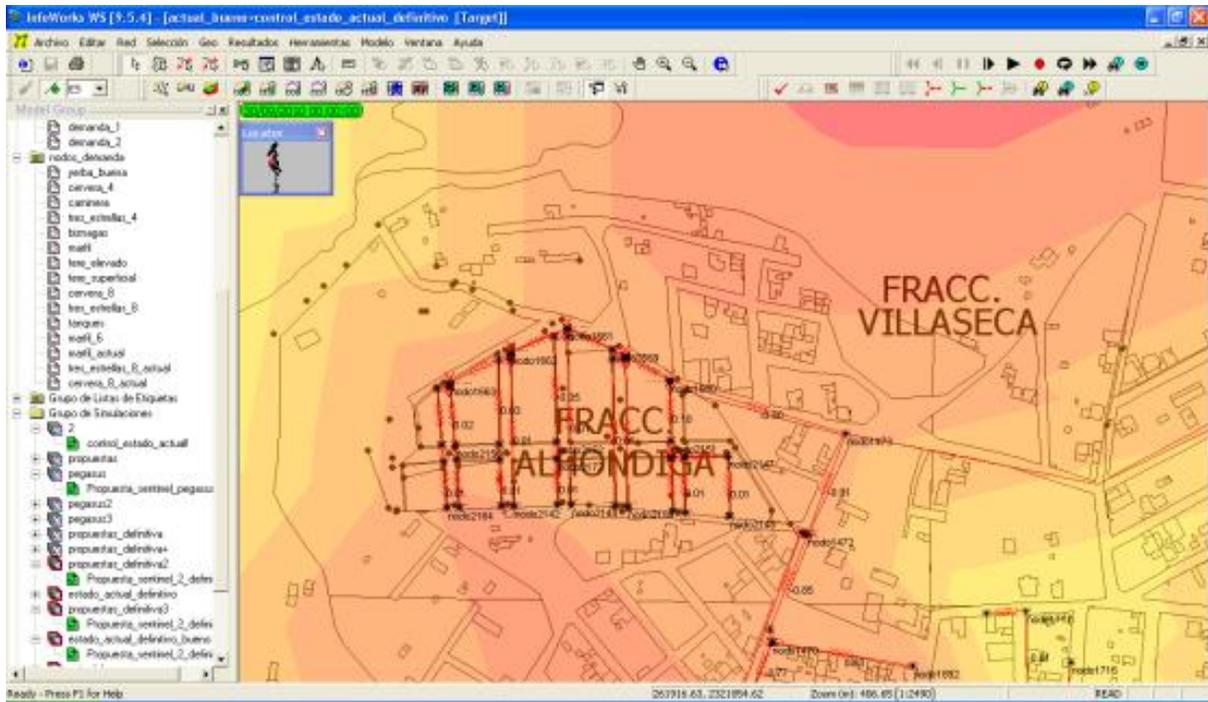


Figura 4.45 Contorno de presiones mayores a 5 Kg/cm²

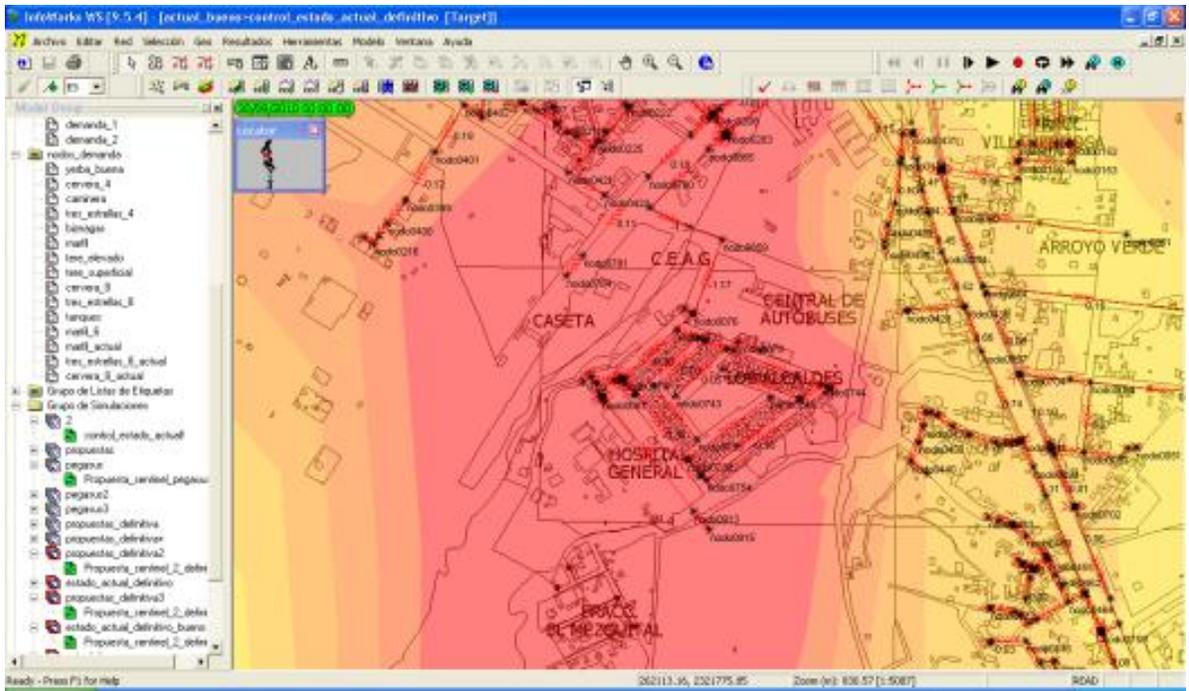


Figura 4.46 Contorno de presiones mayores a 5 Kg/cm²

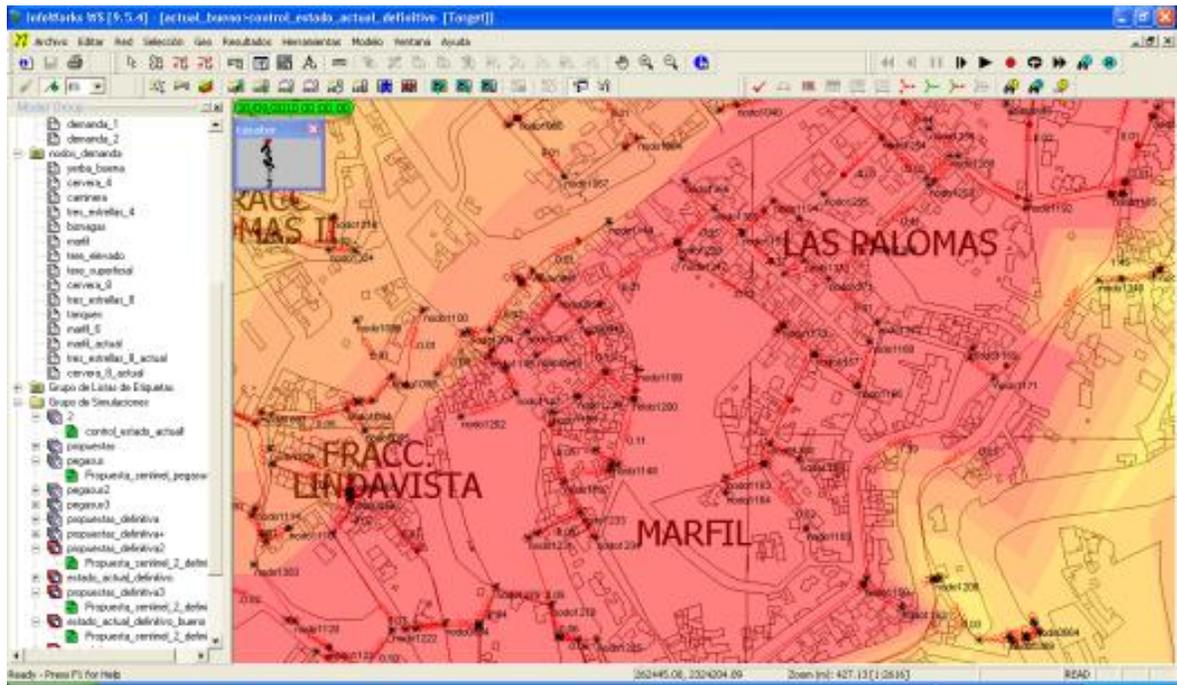


Figura 4.47 Contorno de presiones mayores a 5 Kg/cm²

4.7 Propuestas de sectorización

Ahora bien, contando con el modelo ajustado y calibrado se procedió a realizar propuestas para una macro sectorización. En la figura siguiente se muestran 8 macro sectores que se proponen con base al número de tanques con presiones adecuadas para la buena calidad del servicio.

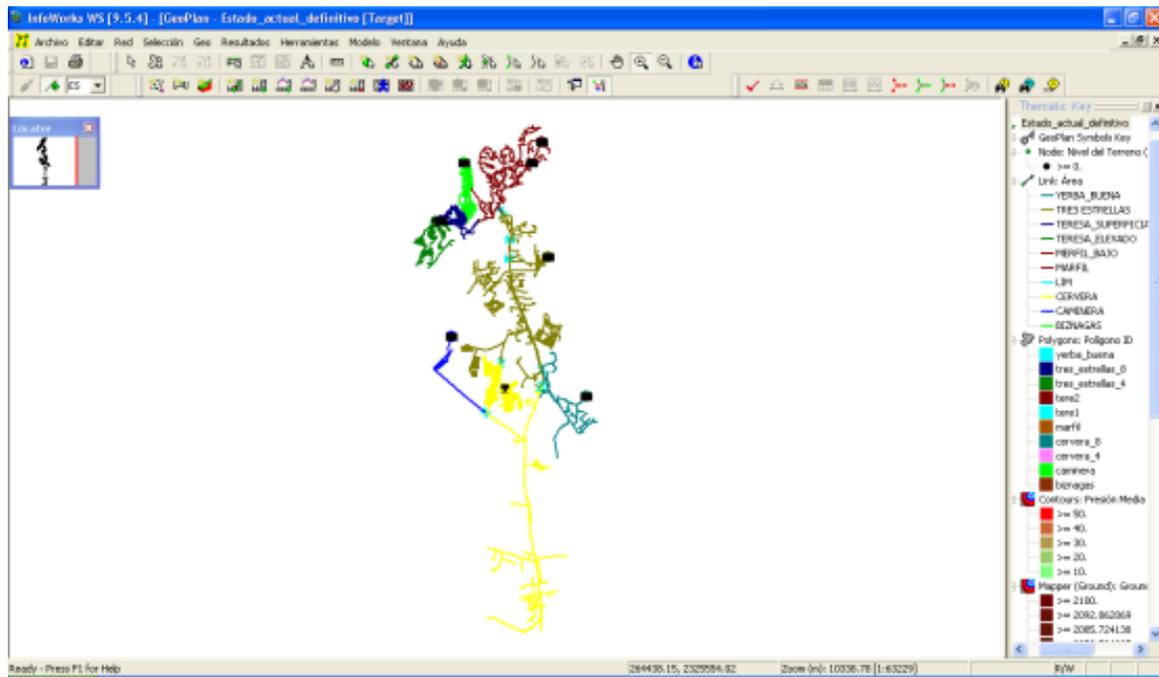


Figura 4.48 Macro sectores zona sur

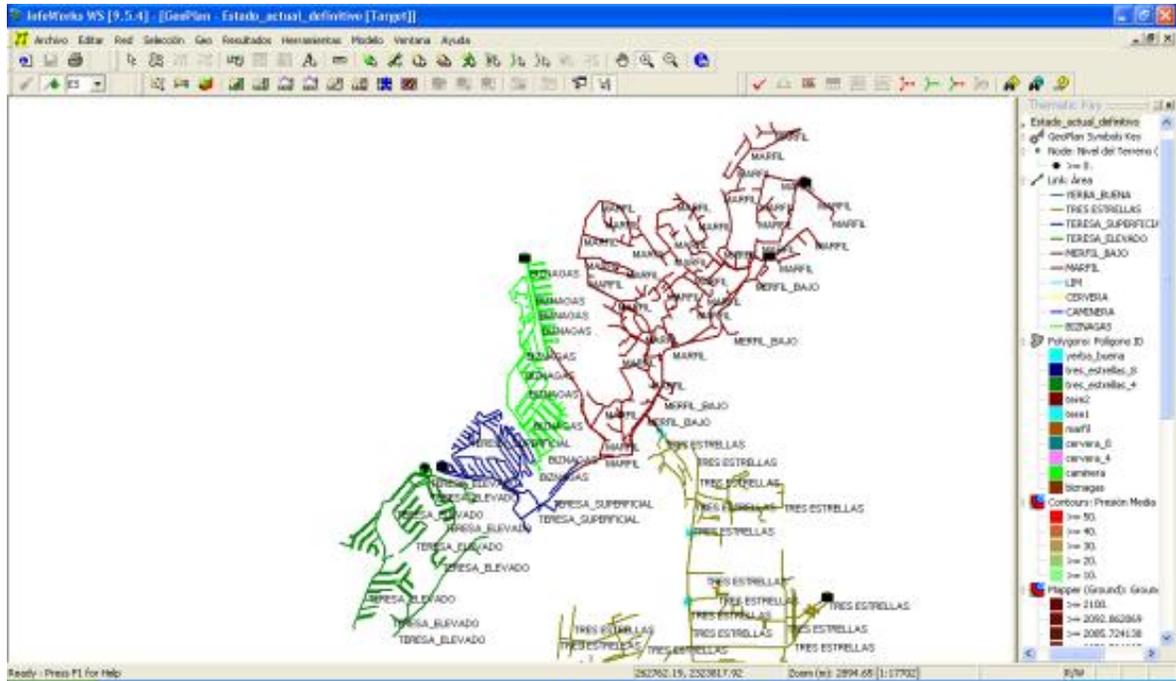


Figura 4.49 Macro sector Marfil, Biznagas, Santa Teresa y Ex hacienda Teresa

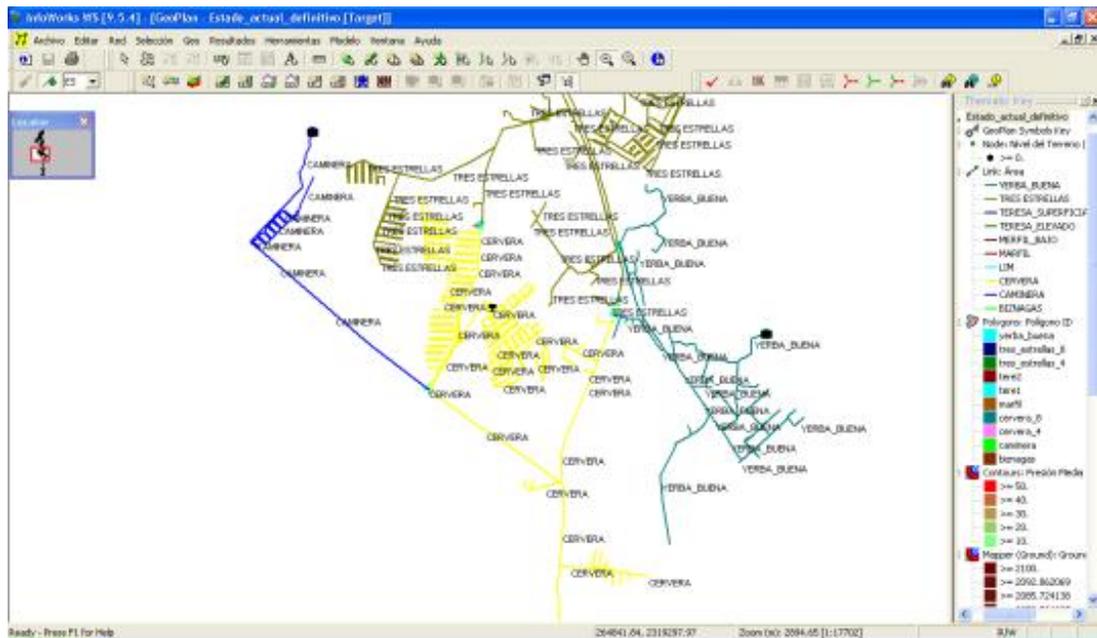


Figura 4.50 Macro sector Caminera, Cervera, Yerba Buena

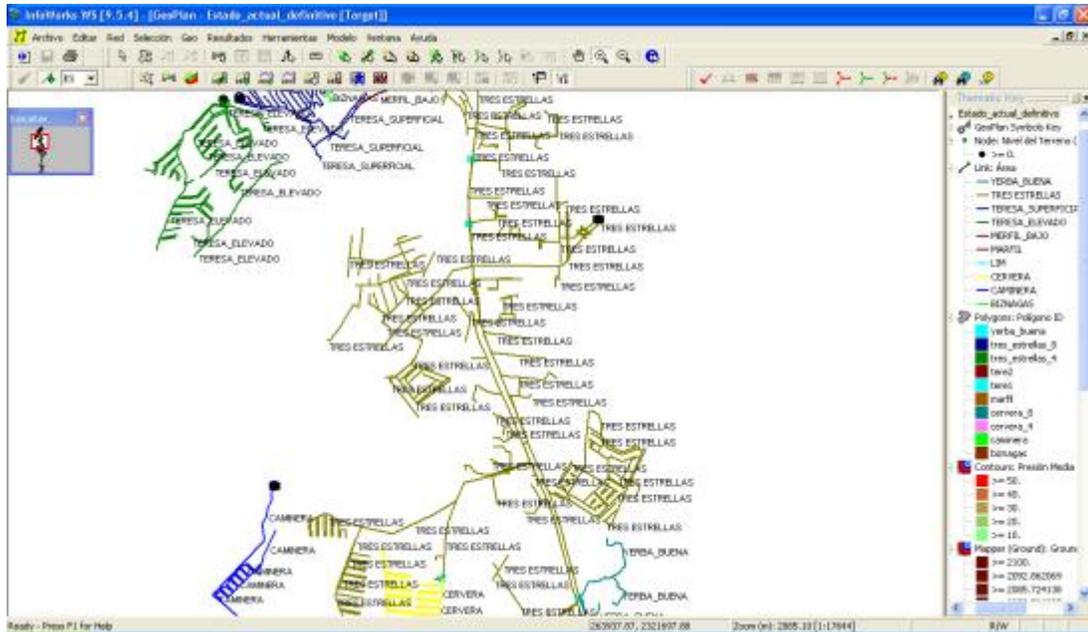


Figura 4.51 Macro sector Tres Estrellas

Es importante mencionar que los Tanques Tres Estrellas y Cervera tienen dos salidas, por tanto se proponen 10 macro sectores, los cuales se muestran y mencionan en la figura siguiente:

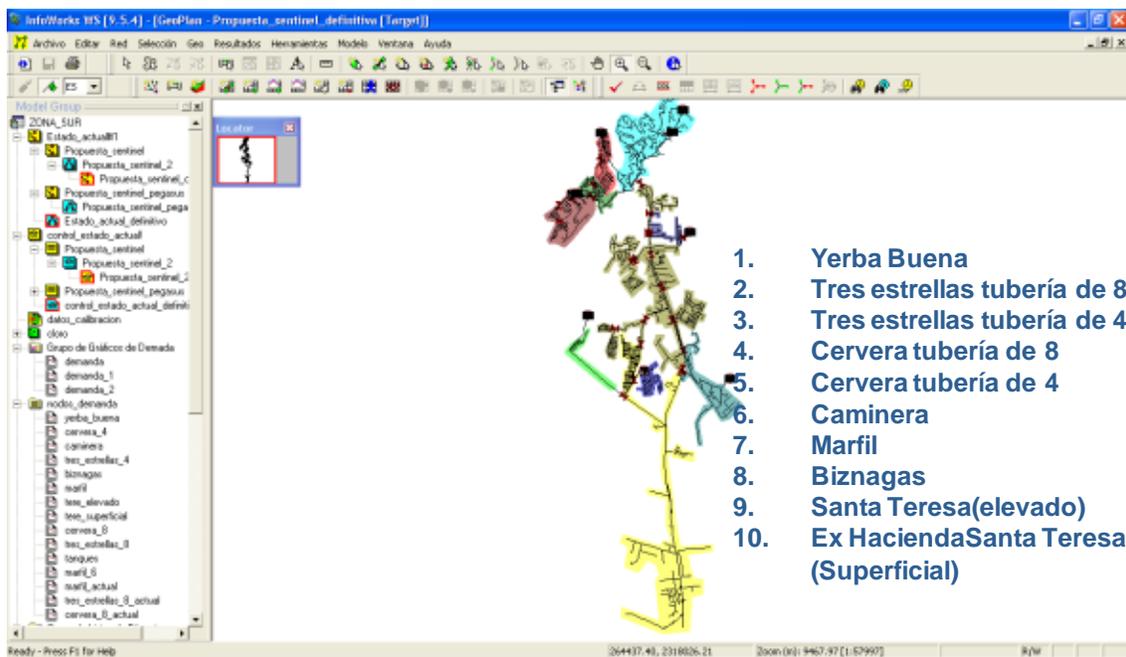


Figura 4.52. Diez Macro sectores

Los 10 macro sectores propuestos presentan generalmente presiones menores a los 5 Kg/cm², aunque se tienen puntos con presión mayor a ese valor, debido a que existen zonas topográficamente elevadas, por tanto para que se le brinde el servicio de agua potable se requiere esa presión en la red (5 Kg/cm²); estas propuestas son para tener un control activo de presiones.

El contorno de presiones de la zona sur es el que se muestra en la figura siguiente.

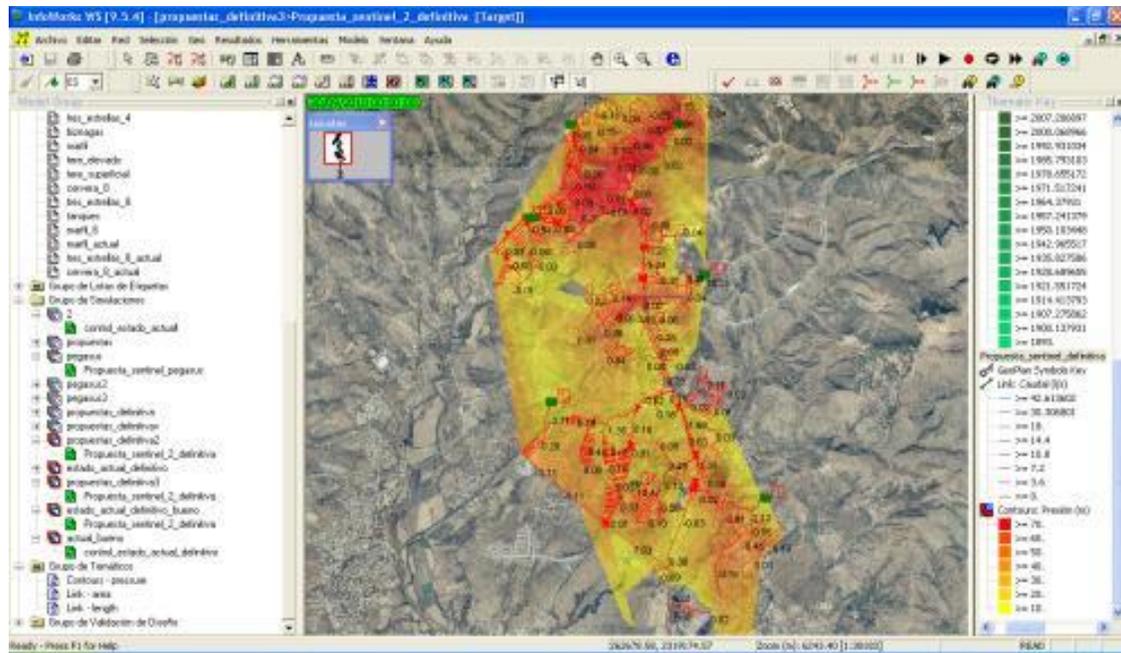


Figura 4.53 Contorno de presiones propuesto para la zona sur

Para lograr el contorno de presiones que se muestra en la figura anterior, es necesario proponer e instalar estratégicamente PUNTOS DE CONTROL en la red de distribución, tal como se muestra en la figura siguiente.

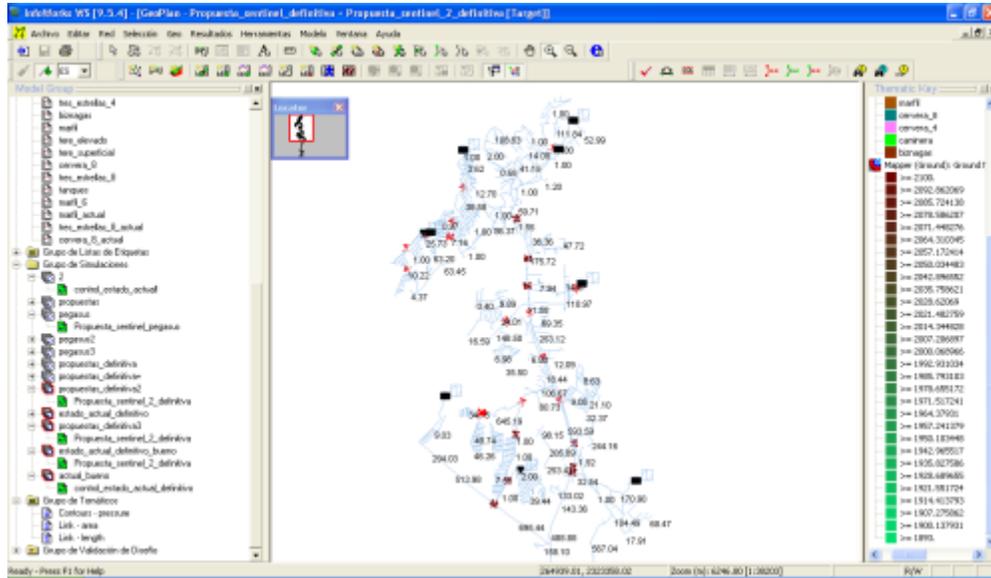


Figura 4.54 Ubicación de puntos de control

Al tener el control activo de presiones con los puntos de control recomendados, se disminuirá el volumen de agua no contabilizada

4.7.1 Macro sector Tres Estrellas

4.7.1.1 Descripción General

El macro sector se abastece por el tanque superficial Tres Estrellas que cuenta con una capacidad de 1000 m³ y se encuentra localizado a una cota de 2,063 msnm.

El tanque Tres Estrellas es abastecido a su vez por el cárcamo Yerbabuena mediante dos equipos de bombeo de 55 l/s, de manera alterna. Según información proporcionada por el SIMAPAG, los rebombes trabajan un promedio de 7 horas diarias cada uno.

El arranque y paro del equipo en turno se determina con el nivel mínimo (50 centímetros) y máximo (2 metros) del tanque Tres Estrellas.

En términos generales, la distribución se hace por una línea de salida de 10" en acero. De ésta deriva una línea de 4" que abastece al denominado sector Burócrata.

A 400 metros del tanque la línea de 10" reduce su diámetro a 8" y se localiza una válvula reductora del mismo diámetro.

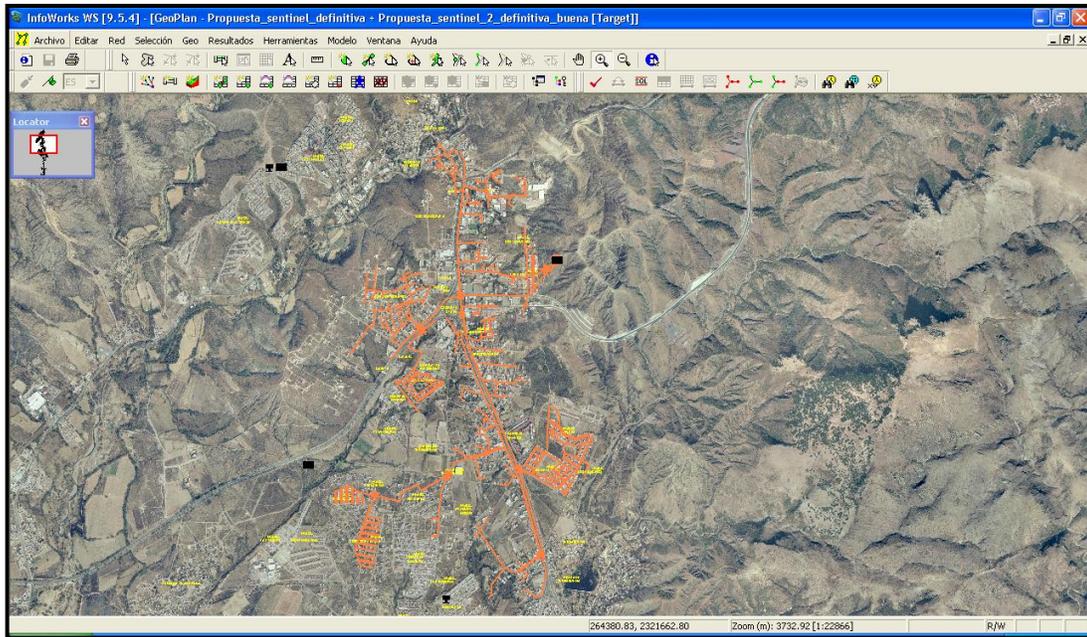


Figura 4.55 Área de influencia tanque Tres Estrellas

En la glorieta Santa Fe el diámetro se reduce nuevamente, esta vez a 6”.

El Tanque cuenta con telemetría, pero los sensores parecen no estar bien calibrados pues en repetidas ocasiones el tanque se derrama o se vacía.

Para mejorar la operación de este macro sector se está considerando la implementación de once puntos de control y cuatro puntos de seccionamiento externo donde se instalarán válvulas nuevas o se remplazarán las válvulas existentes para aislar los macro sectores entre sí.

4.7.1.2 Mediciones realizadas en campo

Como complemento a la información disponible entregada por el Organismo Operador, se desarrolló una campaña de medición en campo que abarcó un buen número de puntos, destacando los siguientes:

Gasto y presión en la línea de 8” procedente del tanque Tres Estrellas

Durante el mes de septiembre de 2012 se realizó tanto la medición permanente del gasto entregado por el tanque Tres Estrellas a la zona de influencia correspondiente a la tubería de 8”, como la presión aguas abajo de la reguladora existente.

La presión registrada oscila entre los 20 mca y los 25 mca.

Para establecer la curva de demandas representativa del macro sector se calcularon los promedios de los gastos registrados por los equipos para cada intervalo de medición.

De esta manera se obtuvo un gasto promedio de 26.84 l/s, un gasto máximo de 41.61 l/s (en torno a las 11:15 horas) y un gasto mínimo de 14.64 l/s (en torno a las 04:15 horas).

Gasto y presión en la línea de 4" procedente del tanque Tres Estrellas

Entre los meses de febrero y julio de 2012 se realizó tanto la medición permanente del gasto entregado por el tanque Tres Estrellas a la zona de influencia correspondiente a la tubería de 4", como la presión aguas abajo de la reguladora existente.

La presión registrada oscila entre los 35 mca y los 40 mca.

Para establecer la curva de demandas representativa del macro sector se calcularon los promedios de los gastos registrados por los equipos para cada intervalo de medición.

De esta manera se obtuvo un gasto promedio de 0.58 l/s, un gasto máximo de 1.51 l/s (en torno a las 12:15 horas) y un gasto mínimo de 0 l/s (entre las 00:00 horas y las 05:00 horas se suspendía el servicio).

Presión en la línea de 4" procedente del tanque Tres Estrellas una vez instalado un controlador

Entre los meses de junio y julio de 2012 se realizó la medición de la presión existente antes y después de la reguladora existente en la línea de 4" cuando ésta era controlada.

La presión de entrada se mantiene constante en torno a los 40 mca.

La presión de salida presenta dos rangos de presión: el diurno de aproximadamente 20 mca y el nocturno de 7 mca.

Presión en Calle Ignacio Allende #26

Entre los meses de julio y septiembre de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

La presión registrada oscila entre los 40 mca y los 70 mca.

Presión en calle Álamo #24, Peñitas

Entre los meses de septiembre y octubre de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

Las presiones se mantuvieron bastante constantes hasta el 5 de octubre (entre 20 y 35 mca). En ese momento comenzaron a oscilar entre 40 mca y 10 mca con frecuentes interrupciones del servicio.

Presión calle Polaris #5

Entre los meses de septiembre y octubre de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

La curva presenta un comportamiento muy estable con dos pisos de presión bien definidos: 50 mca durante el día y 35 mca durante la noche.

Presión en calle Jorge Ibaranguoitia esq. Eleuterio Guerrero

Entre los meses de junio y julio de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

La presión registrada oscila entre los 70 mca y los 90 mca.

Presión en calle Antares #4

Entre los meses de junio y julio de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

La presión registrada presenta un comportamiento muy variable con oscilaciones entre los 40 mca y los 0 mca.

Presión en calle Mineral de la Hacienda #38

Entre los meses de julio y agosto de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

La presión registrada oscila entre los 10 mca y los 20 mca.

Índice de consumo mínimo nocturno

El consumo horario promedio registrado (CHP) en la tubería de 8" es de 26.84 l/s, mientras que el consumo mínimo nocturno (CMN) es de 14.64 l/s. El ICMN para el macro sector Tres Estrellas (salida de 8") sería:

$$\text{ICMN} = \text{CMN} / \text{CHP} = 14.64 / 26.84 = 0.546$$

De esta manera se estima que presenta unas pérdidas físicas aproximadas del 55%. Para la tubería de 4" no es posible establecer el índice de consumo mínimo nocturno ya que se suspende el servicio durante la noche.

4.7.1.3 Sector Burócratas

Como parte de los trabajos realizados en etapas anteriores de este proyecto se definió el sector denominado "Burócratas", cuya zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman (TE-C-1).

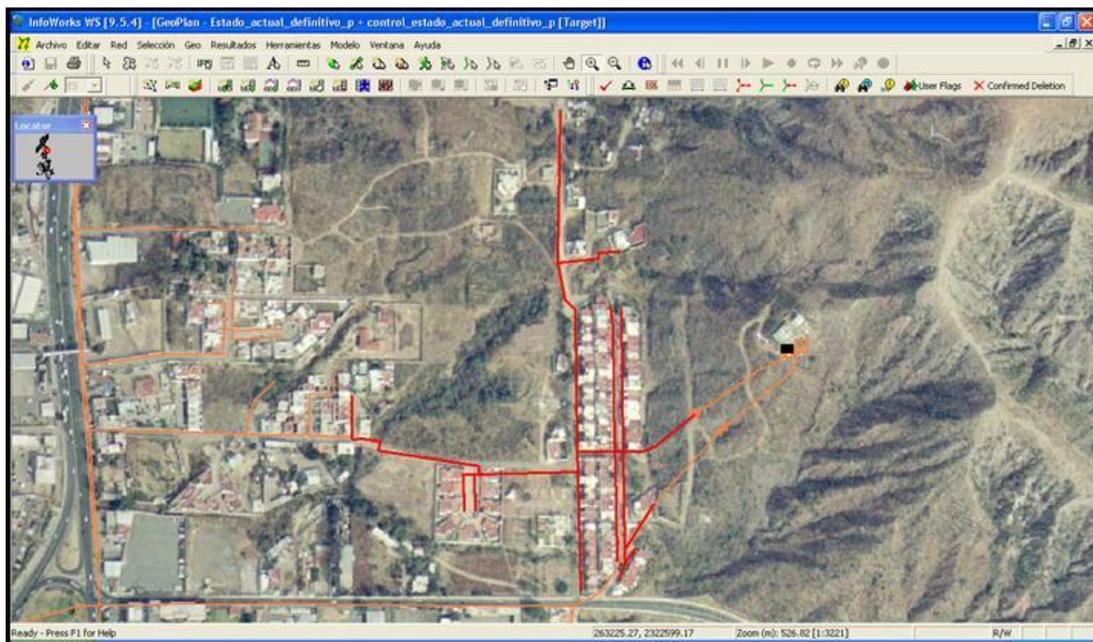


Figura 4.56 Zona de influencia sector Burócratas

El punto de control TE-C-1 cuenta con válvula de control de 4", controlador inteligente y punto de medición.



Figura 4.57 Ubicación punto TE-C-1

Dicho sector se encuentra completamente construido y funcionando desde mayo de 2010 con resultados muy favorables, por lo que no se considera necesario realizar trabajos adicionales.

Línea de conducción de 8" procedente del tanque Tres Estrellas

Punto de control TE-C-2

Se ubica en la tubería enterrada de 8" que proviene del tanque Tres Estrellas a una cota de 2,025 msnm.



Figura 4.58 Ubicación punto TE-C-2

Ya se cuenta con una reguladora instalada que actualmente se encuentra operando adecuadamente y que proporciona una presión aguas abajo de 22 mca durante las 24 horas del día. No se considera necesario realizar modificación alguna a la infraestructura actual en este punto.

Actualmente se calcula un gasto máximo de salida del tanque Tres Estrellas de 37.60 l/s en los momentos de mayor demanda.



Figura 4.59 Ubicación punto TE-C-2

4.7.1.4 Sector La Quinta

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:

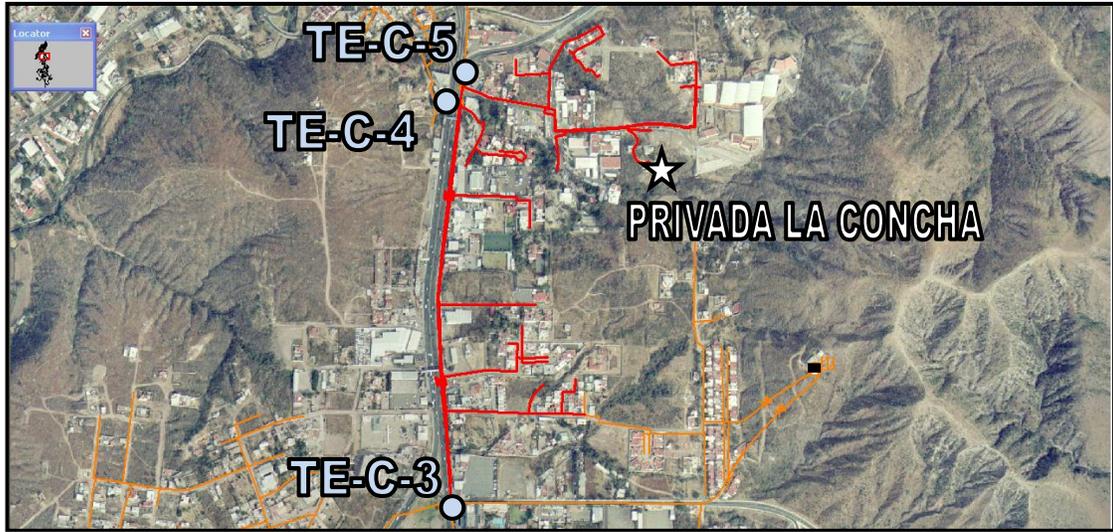


Figura 4.60 Ubicación punto TE-C-2

Punto de control TE-C-3

Se ubicará en tubería enterrada de 6" que transcurre por Boulevard Euquerio Guerrero esquina Tres Marias a una cota de 1,960 msnm aguas abajo del punto de control TE-C-2.



Figura 4.61 Ubicación punto TE-C-3

Actualmente no se cuenta con ningún punto de medición o control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de un punto de medición, una válvula de control y un controlador automático.

Considerando un gasto máximo de salida del tanque Tres Estrellas de 37.60 l/s se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 5.00 l/s en los momentos de mayor demanda.

Las presiones actuales expresadas en mca que se tienen en los puntos más críticos del sector (Privada la Concha a 2,011 msnm y avenida Juventino Rosas esquina Burócrata a 1,953 msnm) se especifican en la Tabla 4.25.

Se pretende que la válvula instalada en el punto TE-C-3 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 50 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 65 mca.

Tabla 4.25 Presiones actuales y propuestas en el sector La Quinta

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
TE-C-2	2,025	38	38	22	22	TE-C-2	2,025	38	38	22	22
TE-C-3	1,960	87	87	87	87	TE-C-3	1,960	87	87	65	50
Concha	2,011	36	36			Concha	2,011	14	0		
Burócrata	1,953	94	94			Burócrata	1,953	72	57		

La zona está compuesta por el Barrio la Quinta, la colonia Burócratas, Cocalecas y S.C.T. con un total aproximado de 450 usuarios.

Punto de control TE-C-4

Se ubicará en tubería enterrada de 3" que transcurre a la altura del Puente Marlboro esquina carretera a Juventino Rosas a una cota de 1,955 msnm aguas abajo del punto de control TE-C-3.



Figura 4.62 Ubicación punto TE-C-3

Actualmente ya se cuenta con un punto de control para este sector, por lo que únicamente se requerirá la instalación de un controlador automático.

Considerando un gasto máximo de salida del tanque Tres Estrellas de 37.60 l/s se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 1.22 l/s en los momentos de mayor demanda.



Figura 4.63 Ubicación punto TE-C-3

La presión actual expresada en mca que se tiene en el punto más crítico del sector (calle Jalapa a 1,931) se especifica en la Tabla 4.26.

Se pretende que la válvula instalada en el punto TE-C-4 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 10 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 25 mca.

Tabla 4.26 Presiones actuales y propuestas en el sector La Quinta

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
TE-C-2	2,025	38	38	22	22	TE-C-2	2,025	38	38	22	22
TE-C-3	1,960	87	87	87	87	TE-C-3	1,960	87	87	65	50
TE-C-4	1,955	92	92	92	92	TE-C-4	1,955	70	55	25	10
Jalapa	1,931	116	116			Jalapa	1,931	49	34		

D↑	Periodo de mayor demanda
D↓	Periodo de menor demanda
Inicialmente se considerará el periodo de mayor demanda entre las 06:00 y las 22:00 horas, aunque éste podrá ser modificado conforme a las necesidades y evolución del sector	

Punto de control TE-C-5

Se ubicará en tubería enterrada de 4" que transcurre por la carretera a Juventino Rosas con puente hacia el Marfil, a una cota de 1,953 msnm aguas abajo del punto de control TE-C-3.

Actualmente no se cuenta con ningún punto de control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de una válvula de control.



Figura 4.64 Ubicación propuesta TE-C-5

Considerando un gasto máximo de salida del tanque Tres Estrellas de 37.60 l/s se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 0.57 l/s en los momentos de mayor demanda.

La presión actual expresada en mca que se tiene en el punto más crítico del sector (calle Barrio la Quinta a 1,938) se especifica en la Tabla 4.27.



Figura 4.65 Detalle ubicación propuesta TE-C-5

Se pretende que la válvula instalada en el punto TE-C-4 actúe en un único nivel de presión de 25 mca, por lo que no se requiere ningún tipo de controlador.

Tabla 4.27 Presiones actuales y propuestas en el sector La Quinta

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
TE-C-2	2,025	38	38	22	22	TE-C-2	2,025	38	38	22	22
TE-C-3	1,960	87	87	87	87	TE-C-3	1,960	87	87	65	50
TE-C-5	1,953	94	94	94	94	TE-C-5	1,953	72	57	25	25
Quinta	1,938	109	109			Quinta	1,938	40	40		

Punto de seccionamiento externo TE-LE-1



Figura 4.66 Ubicación propuesta TE-LE-1

Se propone instalar una válvula de 4" en calle Arroyo esquina Jalapa para aislar el sector Embajadoras del macro sector Marfil.

4.7.1.5 Sector Servidor Agrario

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:

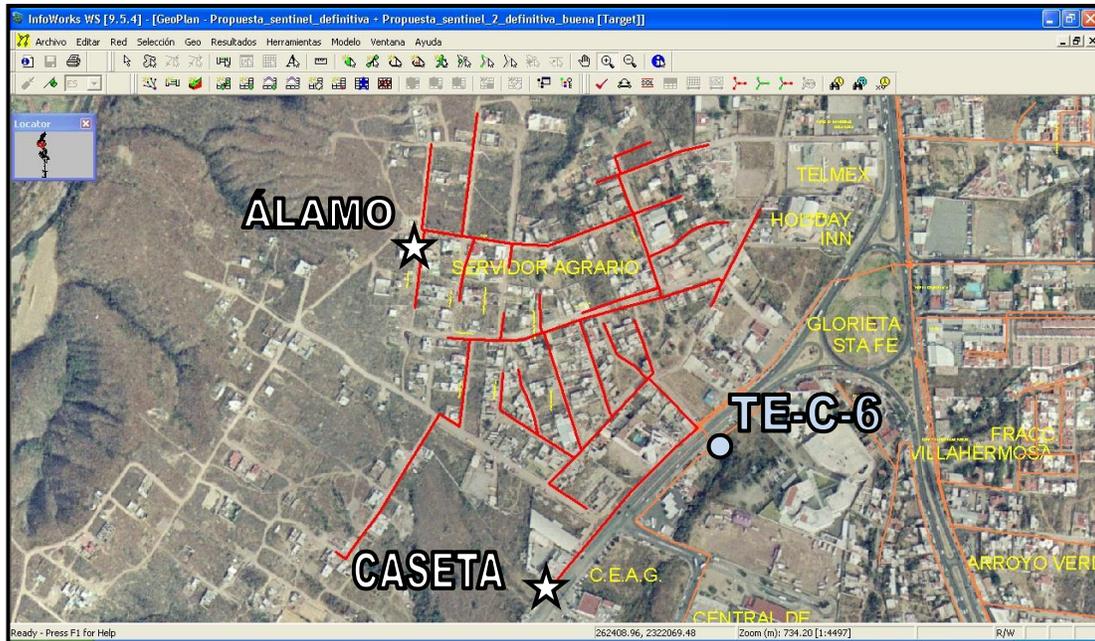


Figura 4.67 Zona de influencia sector Agrario

Punto de control TE-C-6

Se ubicará en tubería enterrada de 4" que transcurre por la calle Lucio Blanco esquina carretera Guanajuato - Silao a una cota de 1,951 msnm aguas abajo del punto de control TE-C-2.

Actualmente no se cuenta con ningún punto de medición o control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de un punto de medición, una válvula de control y una unidad de registro y compresión (URC).

Considerando un gasto máximo de salida del tanque Tres Estrellas de 37.60 l/s se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 4.80 l/s en los momentos de mayor demanda.

Dado que se está proponiendo una única presión durante las 24 horas del día no se considera necesario ningún tipo de controlador.



Figura 4.68 Ubicación propuesta TE-C-6



Figura 4.69 Detalle ubicación propuesta TE-C-6

Las presiones actuales expresadas en mca que se tienen en los puntos más críticos del sector (Álamo a 2,009 msnm y carretera Guanajuato – Silao a 1,950 msnm) se especifican en la Tabla 4.28.

Se pretende que la válvula instalada en el punto TE-C-6 actúe en un único nivel de presión de 65 mca durante las 24 horas del día.

Tabla 4.28 Presiones actuales y propuestas en el sector Servidor Agrario

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
TE-C-2	2,025	38	38	22	22	TE-C-2	2,025	38	38	22	22
TE-C-6	1,951	96	96	96	96	TE-C-6	1,951	96	96	65	65
Álamo	2,009	38	38			Álamo	2,009	7	7		
Guanaj - Silao	1,950	97	97			Guanaj - Silao	1,950	66	66		

Este sector alimenta exclusivamente a la colonia Servidor Agrario con un número aproximado de 400 usuarios.

4.7.1.6 Sector Los Alcaldes

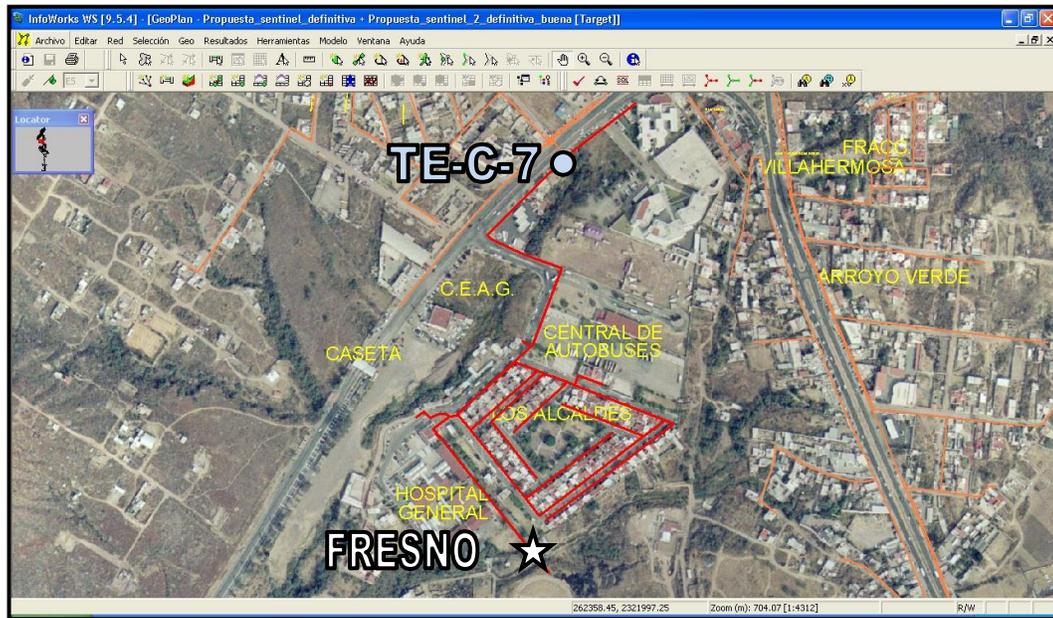


Figura 4.70 Zona de influencia sector Alcaldes

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura anterior.

Punto de control TE-C-7

Se ubicará en tubería enterrada de 4" que transcurre por la carretera Guanajuato - Silao a un costado de la CEAG a una cota de 1,948 msnm aguas abajo del punto de control TE-C-2.



Figura 4.71 Ubicación propuesta TE-C-7

Actualmente se cuenta con una válvula de control multifuncional de 4", por lo que se sugiere únicamente la instalación, instrumentación y puesta en marcha de un punto de medición y un controlador.

Considerando un gasto máximo de salida del tanque Tres Estrellas de 37.60 l/s se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 3.83 l/s en los momentos de mayor demanda.



Figura 4.72 Ubicación propuesta TE-C-7

La presión actual expresada en mca que se tiene en el punto más crítico del sector (calle Fresno a 1,940 msnm) se especifica en la Tabla 4.29.

Se pretende que la válvula instalada en el punto TE-C-7 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 10 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 25 mca.

Tabla 4.29 Presiones actuales y propuestas en el sector Los Alcaldes

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
TE-C-2	2,025	38	38	22	22	TE-C-2	2,025	38	38	22	22
TE-C-7	1,948	99	99	99	99	TE-C-7	1,948	99	99	25	10
Fresno	1,940	107	107			Fresno	1,940	33	18		

Este sector alimenta a los Alcaldes, el Mezquital, la CEAG, la Caseta de Cobro, la Central Camionera y el Hospital General. Con unos 400 usuarios aproximadamente.

4.7.1.7 Sector Euquerio Guerrero

Como parte de los trabajos se definió el sector denominado “Euquerio Guerrero”, cuya zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman (TE-C-8, TE-C-9, TE-C-11 y TE-LE-3) se indican en la Figura 4.73.

El punto de control TE-C-8 cuenta con válvula de control de 6", controlador inteligente y punto de medición.

El punto TE-LE-3 consiste en una válvula de seccionamiento externa existente de 6" que aunque habitualmente está cerrada puede apoyar ocasionalmente a la zona de Yerbabuena.

Dado que el apoyo se realiza a una zona de cota más baja que la del propio sector Euquerio Guerrero, en ese momento podrían presentarse problemas de baja presión en las zonas de mayor cota (principalmente en el fraccionamiento Cúpulas y el fraccionamiento Terrazas).

Por ello, y a pesar de que el sector se encuentra funcionando desde mayo de 2010 con resultados muy favorables, se pensó en reducir su zona de influencia alimentando los fraccionamientos Terrazas, Cúpulas, Los Picachos y Mineral de la Hacienda con agua procedente del nuevo tanque Cúpulas.

Sin embargo existen casas en proceso de construcción en una cota superior a la del propio tanque Cúpulas, por lo que la carga del tanque no es suficiente para abastecer toda la zona.

Esta situación sugiere buscar una nueva alternativa para que las zonas más altas del sector Euquerio Guerrero no se despresuricen durante el apoyo a Yerbabuena.

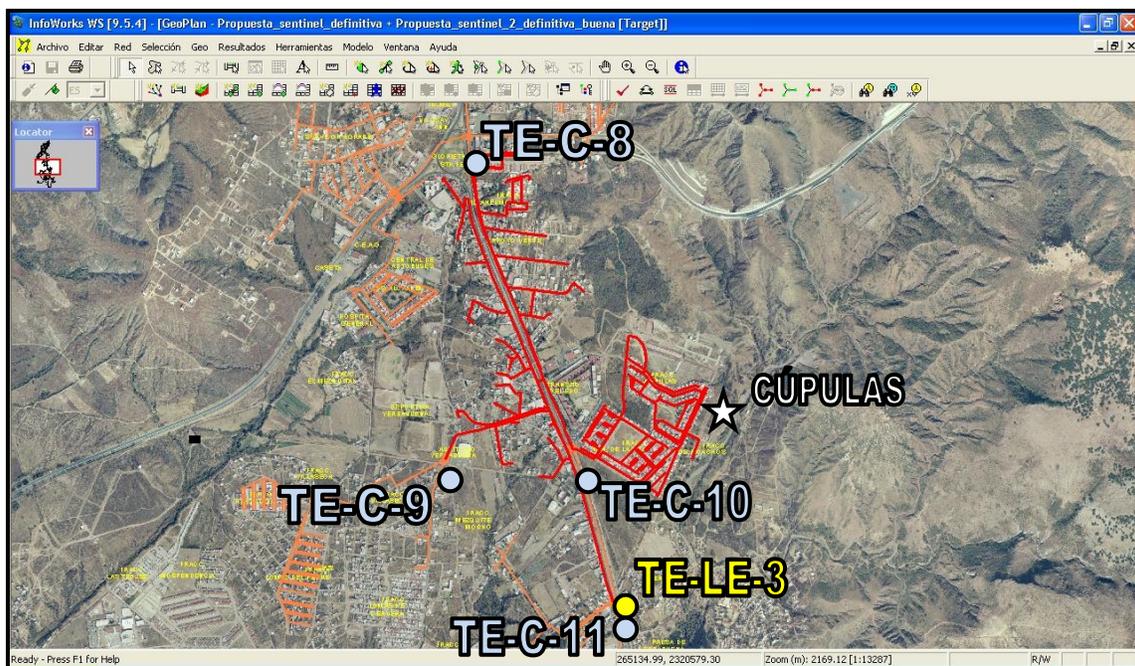


Figura 4.73 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero

Punto de control TE-C-10

Se ubicará en tubería enterrada de 6" que transcurre por Boulevard Euquerio Guerrero, colonia Mineral de la Hacienda, a una cota de 1,959 msnm aguas abajo del punto de control TE-C-8.



Figura 4.74 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero

Se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de una válvula de control multifuncional.

Se pretende que la válvula instalada en el punto TE-C-10 actúe como sostenedora de presión, siendo calibrada a una presión de 30 mca.

De esta manera se asegura contar con la presión suficiente aguas arriba para abastecer a los predios ubicados en una cota cercana a los 1,980 msnm.

4.7.1.8 Sector La Alhóndiga

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:

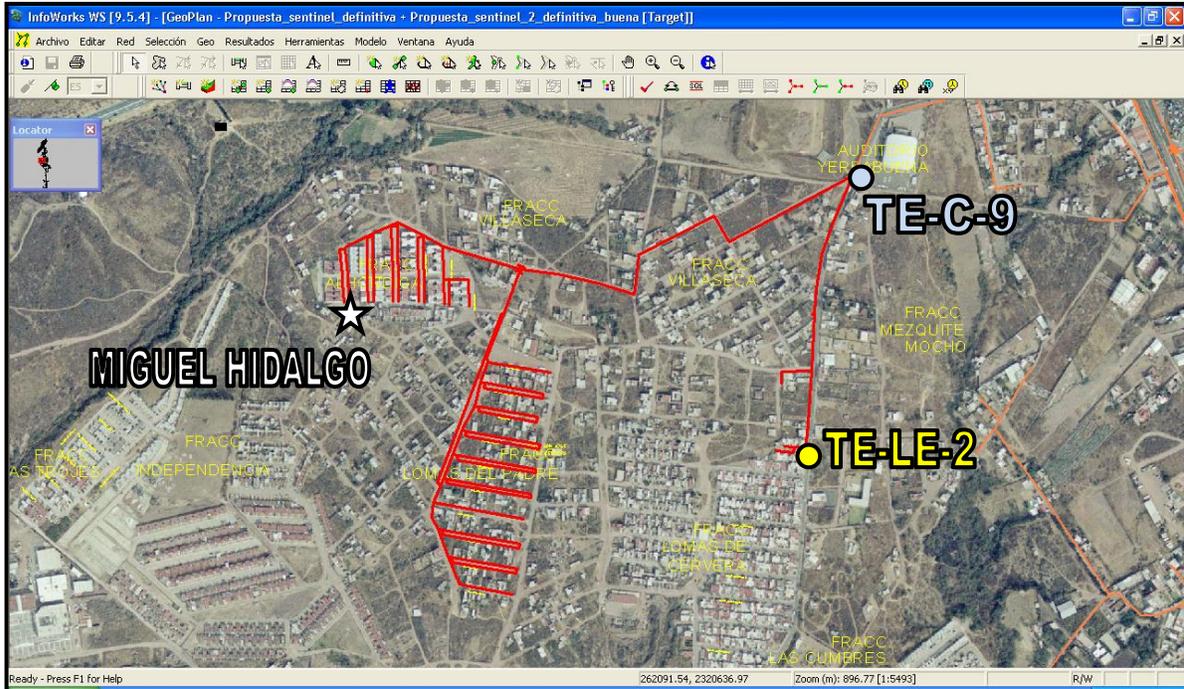


Figura 4.75 Zona de influencia sector Alhóndiga

Punto de control TE-C-9

Se ubicará en tubería enterrada de 3" que transcurre por la calle Roble esquina calle del Cobre a una cota de 1,950 msnm aguas abajo del punto de control TE-C-8.

Actualmente no se cuenta con ningún punto de medición o control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de un punto de medición, una válvula de control y un controlador automático.

Teniendo en cuenta que se trata de una línea de pequeño diámetro y que la tubería transcurre a poca profundidad no se considera necesario la construcción de un bypass en este punto toda vez que se facilita cualquier tipo de mantenimiento. Además la zona de afectación ante cualquier tipo de eventualidad es pequeña.

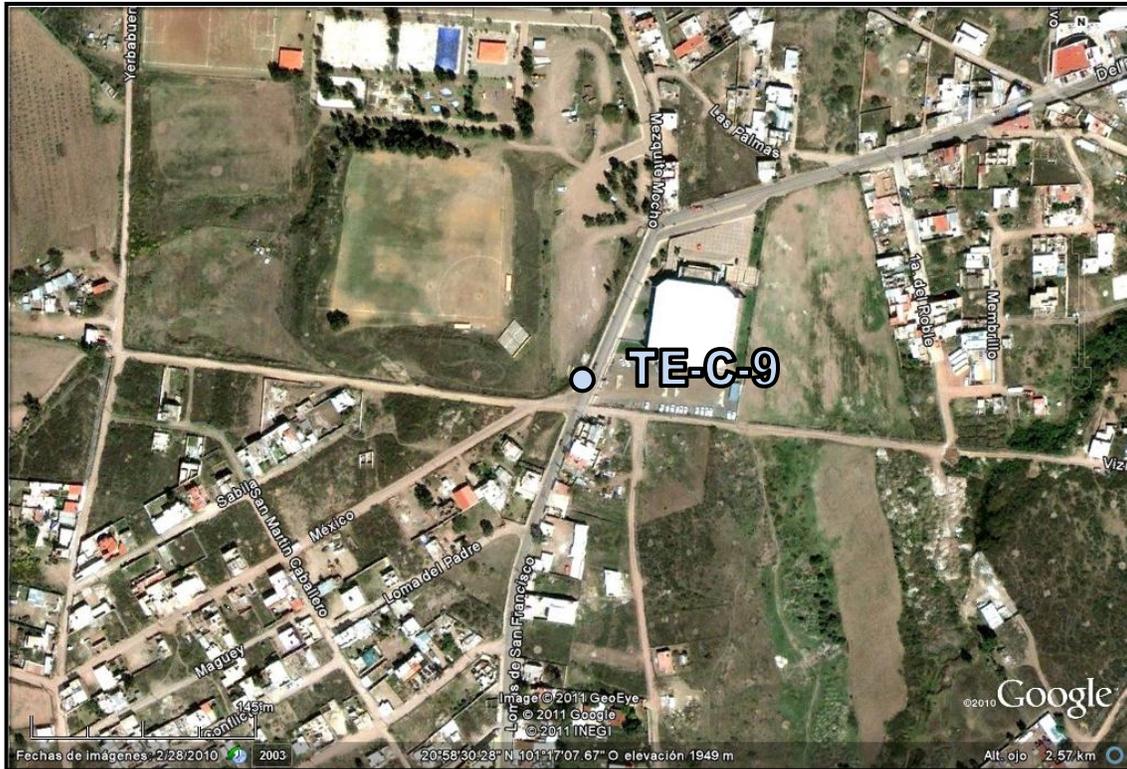


Figura 4.76 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero

Considerando un gasto máximo de salida del tanque Tres Estrellas de 37.60 l/s se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 3.50 l/s en los momentos de mayor demanda.

La presión actual expresada en mca que se tiene en el punto más crítico del sector (calle Miguel Hidalgo a 1,931 msnm) se especifica en la Tabla 4.30.

Se pretende que la válvula instalada en el punto TE-C-9 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 15 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 25 mca.

Tabla 4.30 Presiones actuales y propuestas en el sector La Alhóndiga

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
TE-C-2	2,025	38	38	22	22	TE-C-2	2,025	38	38	22	22
TE-C-8	1,961	102	102	50	35	TE-C-8	1,961	102	102	50	35
TE-C-9	1,950	61	46	61	46	TE-C-9	1,950	61	46	25	15
Hidalgo	1,931	80	65			Hidalgo	1,931	44	34		

Punto de seccionamiento externo TE-LE-2

Se propone instalar una válvula de 2" en avenida Lomas de San Francisco esquina Lomas del Pedregal para aislar el sector la Alhóndiga del macro sector Cervera.



Figura 4.77 Detalle ubicación propuesta TE-LE-2



Figura 4.78 Ubicación TE-LE-2



Figura 4.80 Ubicación propuesta TE-C-11

La presión actual expresada en mca que se tiene en el punto más crítico del sector (calle del Pulque a 1,926 msnm) se especifica en la Tabla 4.31.

Se pretende que la válvula instalada en el punto TE-C-11 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 15 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 25 mca.

Tabla 4.31 Presiones actuales y propuestas en el sector Pulque

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
TE-C-2	2,025	38	38	22	22	TE-C-2	2,025	38	38	22	22
TE-C-8	1,961	102	102	50	35	TE-C-8	1,961	102	102	50	35
TE-C-11	1,940	71	56	71	56	TE-C-11	1,940	71	56	25	15
Pulque	1,926	85	70			Pulque	1,926	39	29		

Este sector alimenta a Mezquite Mocho y Carretera a Juventino Rosas a un número aproximado de 550 tomas.

4.7.1.10 Situación actual y resultados esperados

Como se pudo observar a lo largo de este capítulo, en el macro sector Tres Estrellas no se cuenta actualmente con la instrumentación mínima necesaria para realizar un buen control activo de presiones.

Es por ello que se propone la instalación válvulas de control y controladores inteligentes.

En las ilustraciones siguientes se indica, por medio de colores, el estado actual de presiones que se registran en este macro sector y las que se esperan conseguir con la construcción e instrumentación de los puntos de control sugeridos.

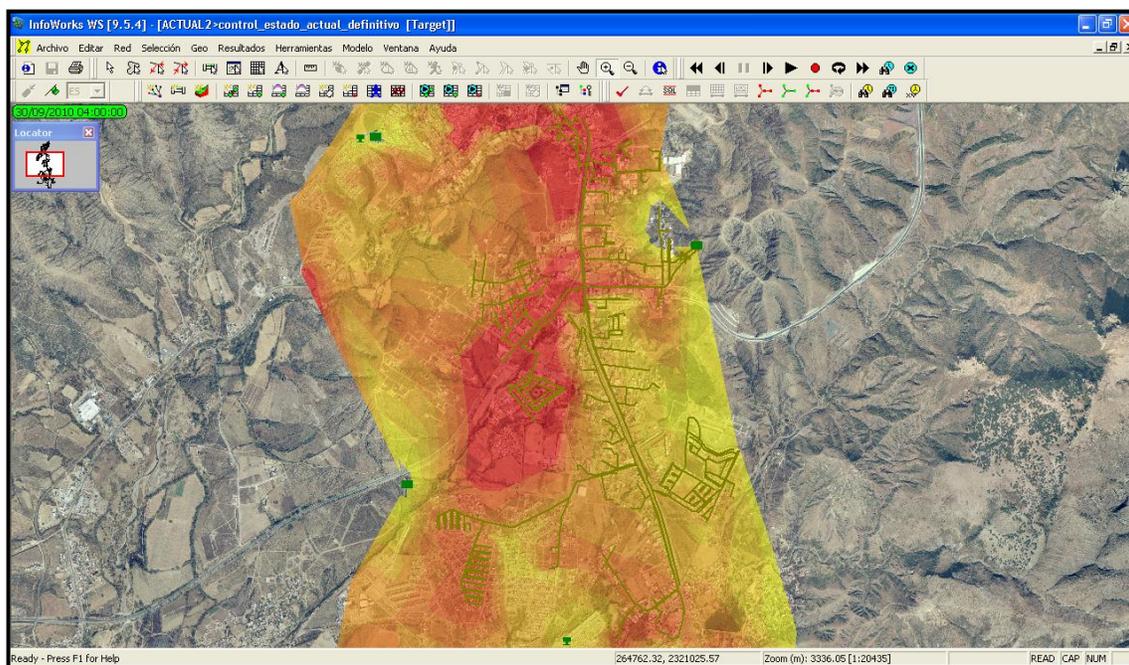


Figura 4.81 Estado actual de presiones macro sector Tres Estrellas

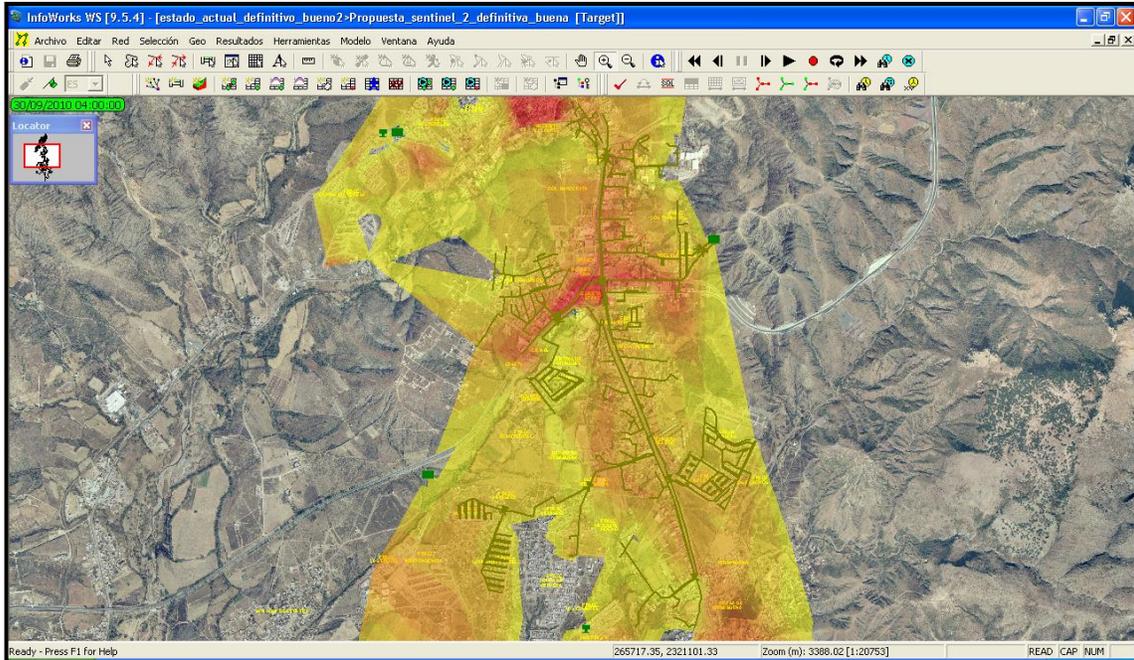


Figura 4.82 Estado sugerido de presiones macro sector Tres Estrellas

4.7.2 Macro sector Cervera

4.7.2.1 Descripción General

El macro sector Cervera es abastecido por el tanque elevado Cervera que cuenta con una capacidad de 400 m³ y se encuentra localizado a una cota de 1,938 msnm.

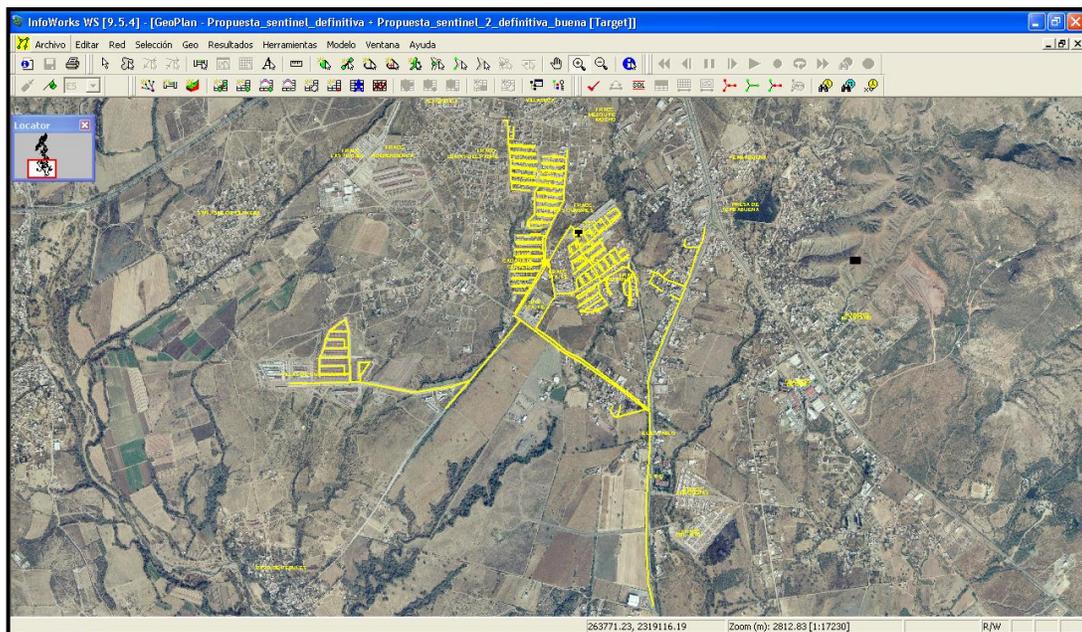


Figura 4.83 Área de influencia macro sector Cervera

Este tanque es alimentado desde el Cárcamo Yerbabuena a través de una línea de 10". Para ello se utiliza un equipo de bombeo que proporciona un gasto aproximado de 26 l/s. Según confirma personal del SIMAPAG el rebombeo trabaja durante un promedio de 5 horas diarias.

La distribución se realiza mediante dos líneas independientes.

La línea de 4" abastece a los fraccionamientos: Mártires I, Mártires II, Las Cumbres, Santa Fe y El Campanario.

La línea de 8" abastece a los fraccionamientos Cañada de Cervera, Lomas de Cervera, Lomas del Padre, el Establo, Villas de Guanajuato y Colonial Guanajuato.

4.7.2.2 Mediciones realizadas en campo

Como complemento a la información disponible entregada por el Organismo Operador, se realizó una campaña de medición en campo que abarcó varios puntos, destacando los siguientes:

Gasto en la línea de 4" procedente del tanque Cervera

Durante el mes de septiembre de 2012 se realizó la medición del gasto entregado por la línea de salida de 4" del tanque Cervera a su zona de influencia.

Para establecer la curva de demandas representativa del macro sector se calcularon los promedios de los gastos registrados por los equipos para cada intervalo de medición.

De esta manera se obtuvo un gasto promedio de 4.30 l/s, un gasto máximo de 6.37 l/s (en torno a las 11:30 horas) y un gasto mínimo de 1.59 l/s (en torno a las 04:00 horas).

Es necesario comentar que durante el periodo de medición se llegó a interrumpir el servicio en varias ocasiones.

Gasto y presión en la línea de 8" procedente del tanque Cervera

Durante el mes de septiembre de 2012 se realizó la medición permanente del gasto entregado por la línea de salida de 8" del tanque Cervera a su zona de influencia, así como la presión de salida del tanque.

La presión registrada oscila entre los 11 mca y los 16 mca.

Para establecer la curva de demandas representativa del macro sector se calcularon los promedios de los gastos registrados para cada intervalo de medición.

De esta manera se obtuvo un gasto promedio de 9.86 l/s, un gasto máximo de 19.26 l/s (en torno a las 11:45 horas) y un gasto mínimo de 0 l/s (en un periodo comprendido entre las 02:00 y las 06:00 horas).

Monitoreo de presión en calle Napoleón Gómez Sada #123 (colonia Santa Fe)

Durante el mes de septiembre de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

La presión registrada osciló entre los 32 mca y los 40 mca.

Monitoreo de presión en calle Villa de Ocampo #116 (colonia Villas de Guanajuato)

Durante el mes de septiembre de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

La presión registrada osciló entre los 26 mca y los 45 mca.

Monitoreo de presión en calle Iglesias #2 (colonial Guanajuato)

Durante el mes de septiembre de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

La presión registrada osciló entre los 25 mca y los 45 mca.

Monitoreo de presión en calle Paso del Norte #10 (carretera a Puentecillas)

Durante el mes de septiembre de 2012 se realizó la medición de la presión existente en dicho punto.

La presión registrada osciló entre los 7 mca y los 22 mca.

Índice de consumo mínimo nocturno

El consumo horario promedio registrado (CHP) en la tubería de 4" es de 4.30 l/s, mientras que el consumo mínimo nocturno (CMN) es de 1.59 l/s. El ICMN para el macro sector Cervera sería:

$$\text{ICMN}=\text{CMN}/\text{CHP}=1.59/4.30=0.37$$

De esta manera se estima que presenta unas pérdidas físicas aproximadas del 37%. Por otra parte, no es posible establecer el ICMN para la zona de influencia de la salida de 8" del tanque Cervera, toda vez que durante gran parte de la noche no hay servicio.

4.7.2.3 Sector Santa Fe

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:

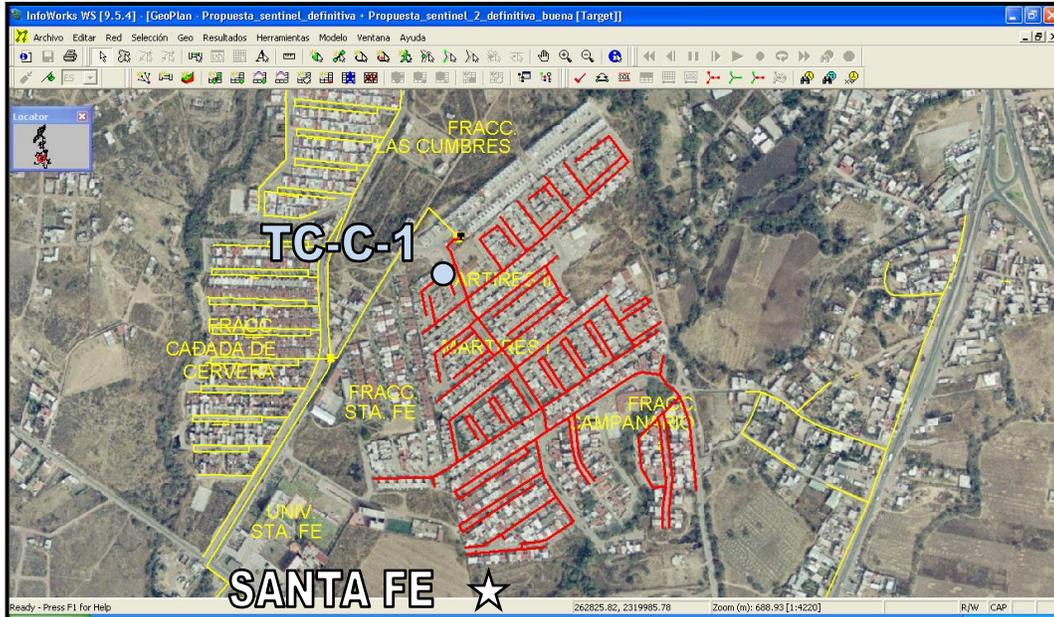


Figura 4.84 Zona de influencia sector Santa Fe

Punto de control TC-C-1

Se ubica en la salida de 4" del tanque Cervera que transcurre por la avenida de la Cañada a una cota de 1,938 msnm.



Figura 4.85 Ubicación actual TC-C-1

Actualmente ya se encuentra construido un punto de medición que cuenta con una macro medidor bridado de 4".

Sin embargo se considera importante la instalación de un equipo URC con dos canales de gasto y un canal de presión para enviar al puesto central información diaria y alarmas relativa a los gastos en los puntos TC-C-1 y TC-C-2 y la presión de salida del tanque Cervera. De esta manera se sugiere facilitar la toma de decisiones para prevenir el vaciado del tanque e implementar acciones que permitan mantener el suministro.

Se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 6.27 l/s en los momentos de mayor demanda.

4.7.2.4 Sector Lomas de Cervera

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura 4.86.

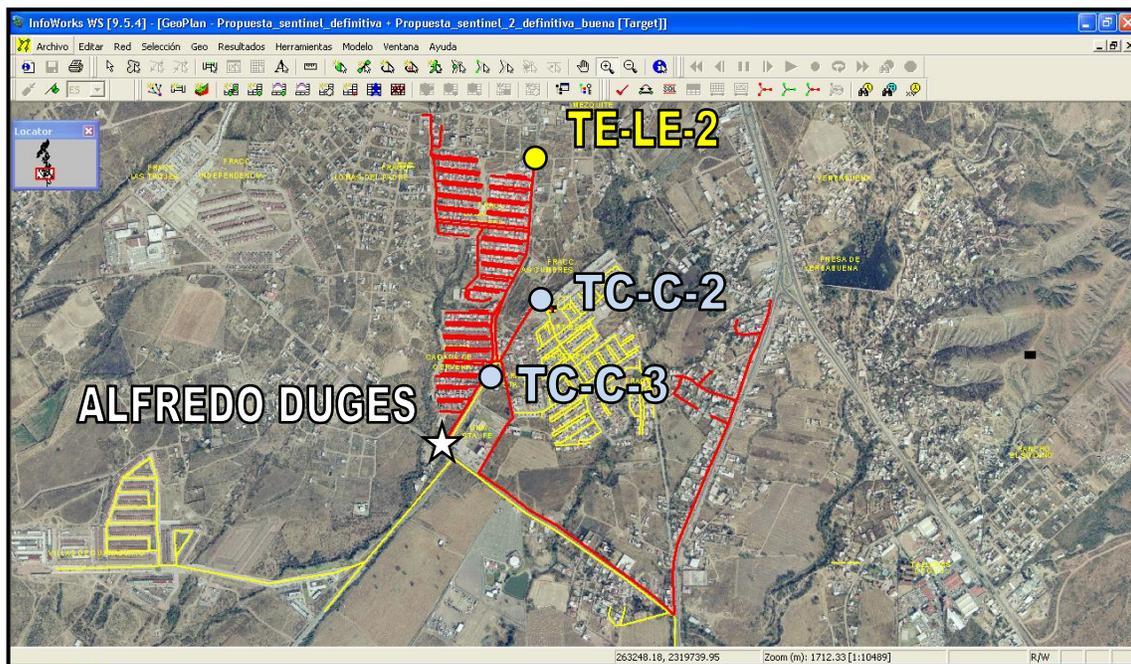


Figura 4.86 Zona de influencia sector Lomas de Cervera

Punto de control TC-C-2

Se ubica en la salida de 8" del tanque Cervera que transcurre por la avenida de la Cañada a una cota de 1,938 msnm.

Actualmente ya se encuentra construido un punto de medición en ese lugar y no parece prioritaria la instalación de válvula de control ni controlador.

Sin embargo se considera necesario la adquisición e instalación de un caudalímetro electromagnético de inserción para el monitoreo permanente del gasto, información que será transmitida remotamente por la URC solicitada para el punto TC-C-1.



Figura 4.87 Ubicación actual TC-C-2

4.7.2.5 Sector Villas de Guanajuato

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:

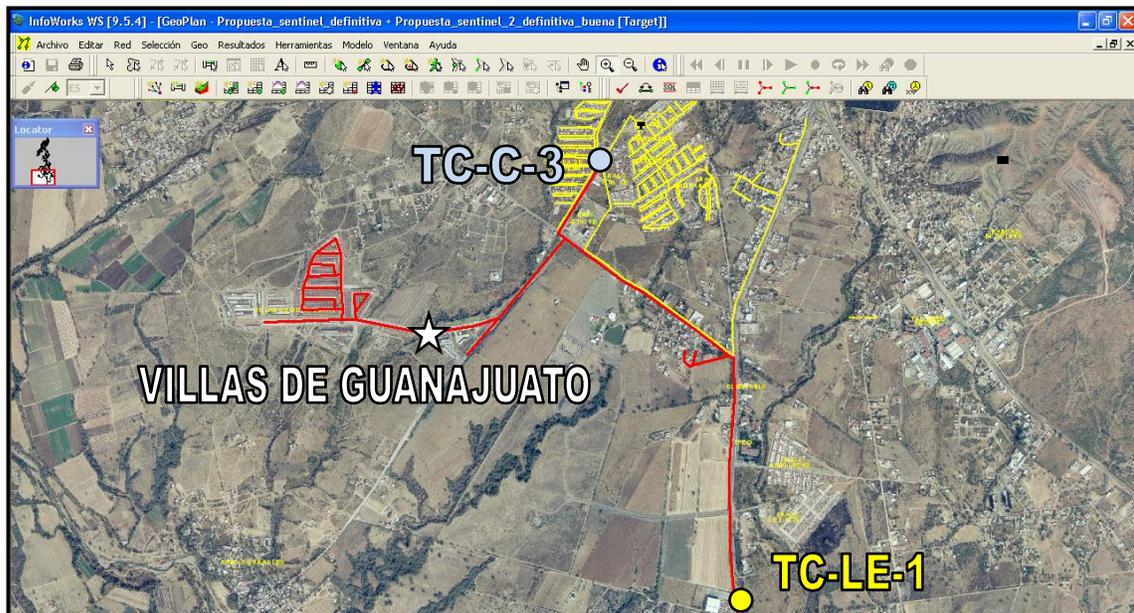


Figura 4.88 Zona de influencia sector Villas de Guanajuato

Punto de control TC-C-3

Se ubica en tubería de 6" que transcurre por calle Alfredo Duges frente al Euroamericano, a una cota de 1,921 msnm.



Figura 4.89 Ubicación propuesta TC-C-3

Actualmente se cuenta con un punto de medición y control instrumentado con una válvula de control multifunción de 6" y un controlador.

Se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 10.8 l/s en los periodos de mayor demanda.



Figura 4.90 Detalle propuesta TC-C-3

La presión actual expresada en mca que se tiene en el punto más crítico del sector (a la entrada del fraccionamiento Villas de Guanajuato a 1,893 msnm) se especifica en la Tabla 4.32.

La válvula instalada en el punto TC-C-3 actúa en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajusta la presión de salida a 5 mca y en los periodos de mayor demanda a 20 mca.

Tabla 4.32 Presiones actuales en el sector Villas de Guanajuato

Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		D↑	Periodo de mayor demanda
		D↑	D↓	D↑	D↓		
Tanque	1,938	18	13	18	13		
TC-C-3	1,921	35	30	20	5		
Entrada Fracc.	1,893	48	33				

Inicialmente se considerará el periodo de mayor demanda entre las 06:00 y las 22:00 horas, aunque éste podrá ser modificado conforme a las necesidades y evolución del sector

Punto de seccionamiento externo TC-LE-1

En la carretera a Puentecillas, a la altura de la cervecera, existe una válvula de 6” que debe permanecer cerrada para aislar el sector Villas de Guanajuato del agua procedente del macro sector Yerbabuena.



Figura 4.91 Ubicación actual TC-LE-1

La entrega de agua a su zona de influencia (Biznagas, Lomas del Marfil 1, Lomas del Marfil 2 y Fraccionamiento Del Arte) se realiza mediante una línea principal de 6" de acero.

La zona presenta desniveles cercanos a los 70 metros desde la salida del tanque al punto más bajo de su zona de influencia, por lo que se recomienda reducir las presiones para proteger la infraestructura existente y reducir las pérdidas por fugas.



Figura 4.93 Tanque Biznagas

4.7.3.2 Mediciones realizadas en campo

Gasto en la línea de 8" procedente del tanque Biznagas

Como resultado de mediciones realizadas en etapas anteriores se cuenta con información relativa al gasto en este punto.

Para establecer la curva de demandas representativa del macro sector se calcularon los promedios de los gastos registrados para cada intervalo de medición.

De esta manera se obtuvo un gasto promedio de 3.77 l/s, un gasto máximo de 5.73 l/s (en torno a las 11:00 horas) y un gasto mínimo de 0.89 l/s (en torno a las 04:30 horas).

Índice de consumo mínimo nocturno

El consumo horario promedio registrado (CHP) en la tubería de 8" es de 3.77 l/s, mientras que el consumo mínimo nocturno (CMN) es de 0.89 l/s. El ICMN para el macro sector Biznagas sería:

$$\text{ICMN} = \text{CMN} / \text{CHP} = 0.89 / 3.77 = 0.24$$

De esta manera se estima que presenta unas pérdidas físicas aproximadas del 24%.

4.7.3.3 Sector Biznagas

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:



Figura 4.94 Zona de influencia sector Biznagas

Punto de control TBI-C-1

Punto ubicado en la línea de 8" a la salida del tanque Biznagas. Actualmente se encuentra instalado un punto de medición que no requiere válvula de control multifunción ni controlador.



Figura 4.95 Punto de medición existente en el tanque Biznagas

Se calcula un gasto máximo por este punto de 5.73 l/s en los momentos de mayor demanda, de los cuales 2.40 l/s alimentarán a los sectores Rocinante y Arte, 0.80 l/s alimentarán al sector Lomas 1, 0.97 l/s abastecerán al sector Mezquite y únicamente 1.56 l/s se quedarán en el sector Biznagas.

4.7.3.4 Sector Mezquite

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la siguiente figura:

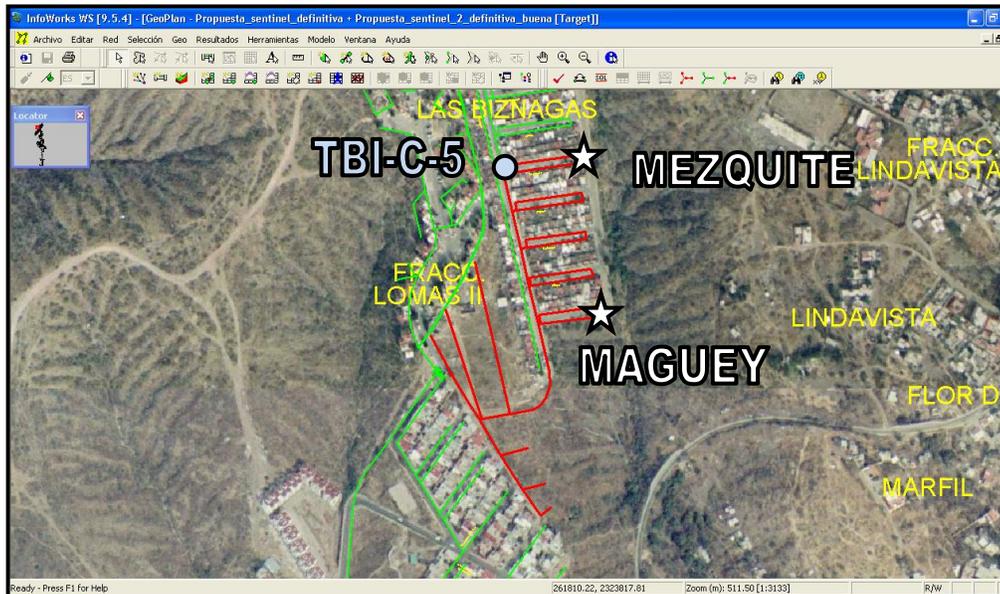


Figura 4.96. Zona de influencia sector Mezquite

Punto de control TBI-C-5

Se ubica en la línea de 4" aguas abajo del tanque Biznagas sobre la calle del mismo nombre, casi esquina con la calle Colorín a una cota de 1,982 msnm.

Actualmente no se cuenta con ningún punto de control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de una válvula de control multifunción.



Figura 4.97. Detalle ubicación TBI-C-5

Se calcula un gasto máximo por este punto de 0.97 l/s en los momentos de mayor demanda.

Las presiones actuales expresadas en mca que se tienen en el punto más crítico del sector (Calle del Maguey 1,960 msnm) se especifican en la Tabla 4.33.

Se sugiere que la válvula instalada en el punto TBI-C-5 actúe en un único nivel de presión de 10 mca, por lo que no se requiere ningún tipo de controlador.

Tabla 4.33 Presiones actuales y propuestas en el sector Mezquite

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
Tanque	2,012	2	2	2	2	Tanque	2,012	2	2	2	2
TBI-C-5	1,982	32	32	32	32	TBI-C-5	1,982	32	32	10	10
Maguey	1,960	54	54			Maguey	1,960	32	32		

D↑	Periodo de mayor demanda
D↓	Periodo de menor demanda
Inicialmente se considerará el periodo de mayor demanda entre las 06:00 y las 22:00 horas, aunque éste podrá ser modificado conforme a las necesidades y evolución del sector	

4.7.3.5 Sector Rocinante

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente.

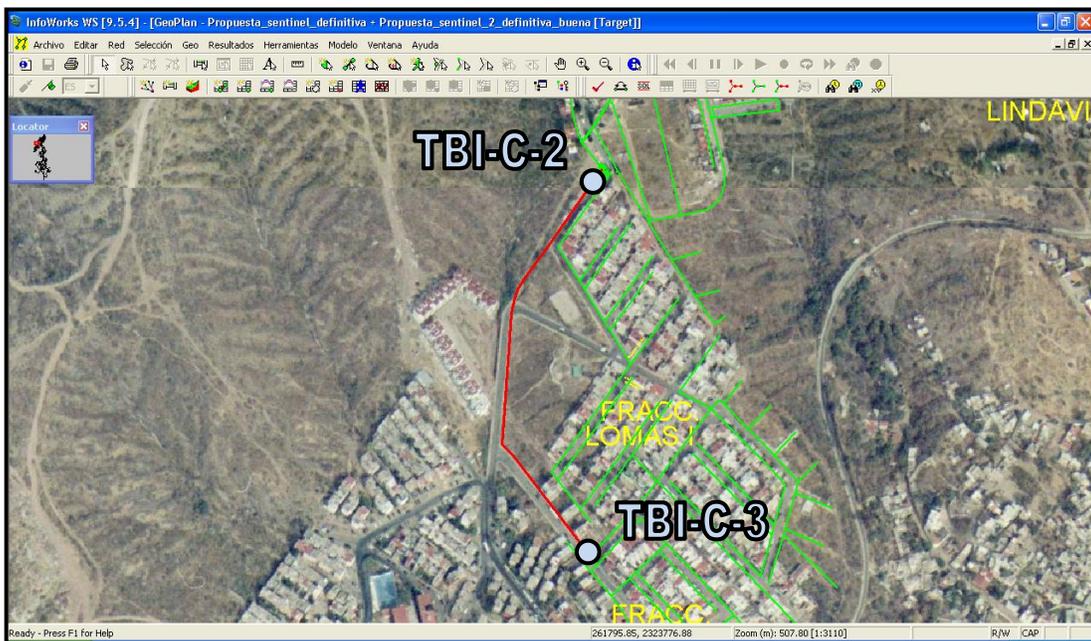


Figura 4.98 Zona de influencia sector Rocinante

Punto de control TBI-C-2

Se ubica en la línea de 3" existente en la calle Rocinante esquina Montañas Rocallosas, a una cota de 1,979 msnm.

Actualmente no se cuenta con ningún punto de control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de una válvula de control multifunción en el lugar que actualmente ocupa una válvula de seccionamiento de 3".

Las presiones actuales expresadas en mca que se tienen en el punto más crítico del sector (TBI-C-3 ubicado en calle Himalaya esquina Arakán a 1,960 msnm) se especifican en la Tabla 41. Se sugiere que la válvula instalada en el punto TBI-C-2

actúe en un único nivel de presión de 10 mca, por lo que no se requiere ningún tipo de controlador.

Tabla 4.34 Presiones actuales y propuestas en el sector Rocinante

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
Tanque	2,012	2	2	2	2	Tanque	2,012	2	2	2	2
TBI-C-2	1,982	32	32	32	32	TBI-C-2	1,982	30	30	10	10
Himalaya	1,960	54	54			Himalaya	1,960	32	32		

Se calcula un gasto máximo por este punto de 2.40 l/s en los momentos de mayor demanda, de los cuales 2.02 l/s alimentarán al sector Arte y únicamente 0.38 l/s abastecerán al propio sector Rocinante.

4.7.3.6 Sector Arte

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que la conforman se indican en la figura siguiente.

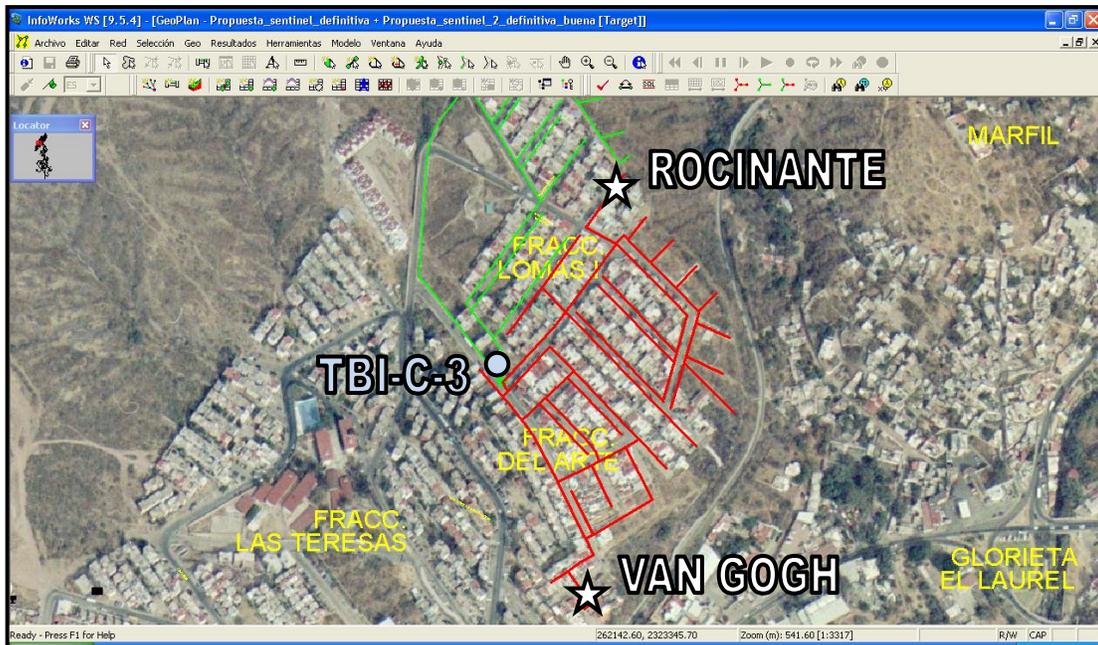


Figura 4.99 Zona de influencia sector Erizo

Punto de control TBI-C-3

Actualmente no se cuenta con ningún punto de control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de una válvula de control multifunción y un controlador automático en la línea de 3" en Himalaya esquina Arakán, a una cota de 1,960 msnm.

Se calcula un gasto máximo por este punto de 2.02 l/s en los momentos de mayor demanda.

Las presiones actuales expresadas en mca que se tienen en los puntos más críticos del sector (Calle Vincent Van Gogh con una cota de 1,943 msnm y Calle Rocinante a una elevación de 1,972 msnm) se especifican en la Tabla 4.35.

Se sugiere que la válvula instalada en el punto TBI-C-3 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 15 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 25 mca.

Tabla 4.35 Presiones actuales y propuestas en el sector Arte

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
TBI-C-2	1,982	32	32	32	32	TBI-C-2	1,982	32	32	10	10
TBI-C-3	1,960	54	54	54	54	TBI-C-3	1,960	32	32	25	15
Rocinante	1,972	42	42			Rocinante	1,972	13	3		
Van Gogh	1,943	71	71			Van Gogh	1,943	42	32		

4.7.3.7 Sector Lomas I

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente.

Punto de control TBI-C-4

Actualmente no se cuenta con ningún punto de control para este sector por lo que se sugiere la instalación y puesta en marcha de una válvula de control multifunción y un controlador automático en la línea de 6" existente en la calle Montañas Rocallosas esquina con calle Rocinante, a una cota de 1,982 msnm.

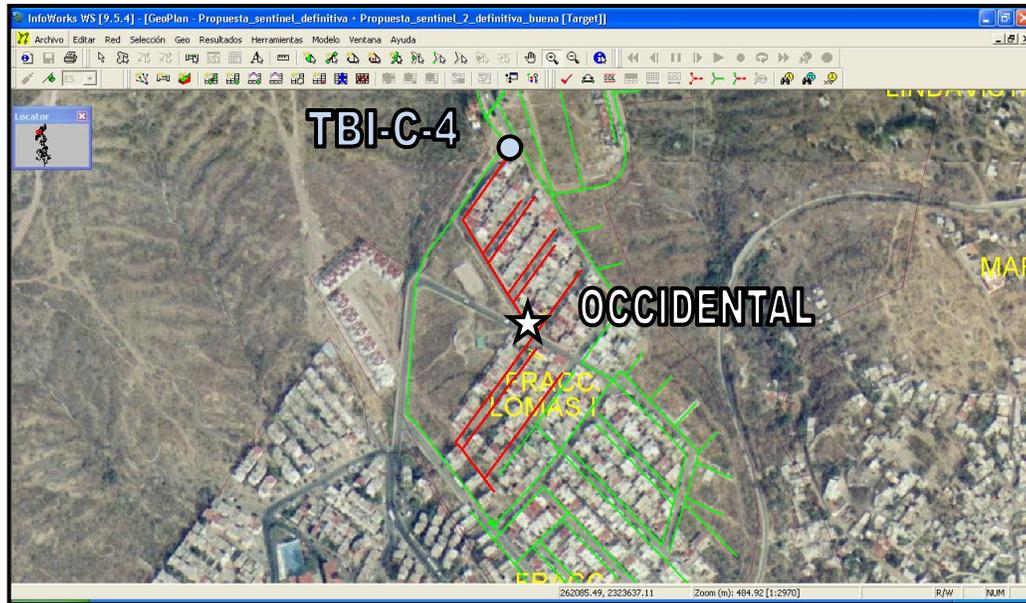


Figura 4.100 Zona de influencia sector Lomas I

Se calcula un gasto máximo por este punto de 0.80 l/s en los momentos de mayor demanda.

Las presiones actuales expresadas en mca que se tienen en el punto más crítico del sector (Sierra Madre Occidental a 1,948 msnm) se especifican en la Tabla 4.36.

Se sugiere que la válvula instalada en el punto TB-C-4 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 10 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 15 mca

Tabla 4.36 Presiones actuales y propuestas en el sector Lomas I

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
Tanque	2,012	2	2	2	2	Tanque	2,012	2	2	2	2
TBI-C-4	1,982	32	32	32	32	TBI-C-4	1,982	32	32	15	10
Occidental	1,948	66	66			Occidental	1,948	49	44		

4.7.3.8 Situación actual y resultados esperados

Como se pudo observar a lo largo de este capítulo, el macro sector Biznagas no cuenta actualmente con la instrumentación necesaria para realizar un buen control activo de presiones.

En las figuras siguientes se indica, por medio de colores, el estado actual de presiones que se registran en este macro sector y las que se esperan conseguir con la recomendación de los puntos de control sugeridos.

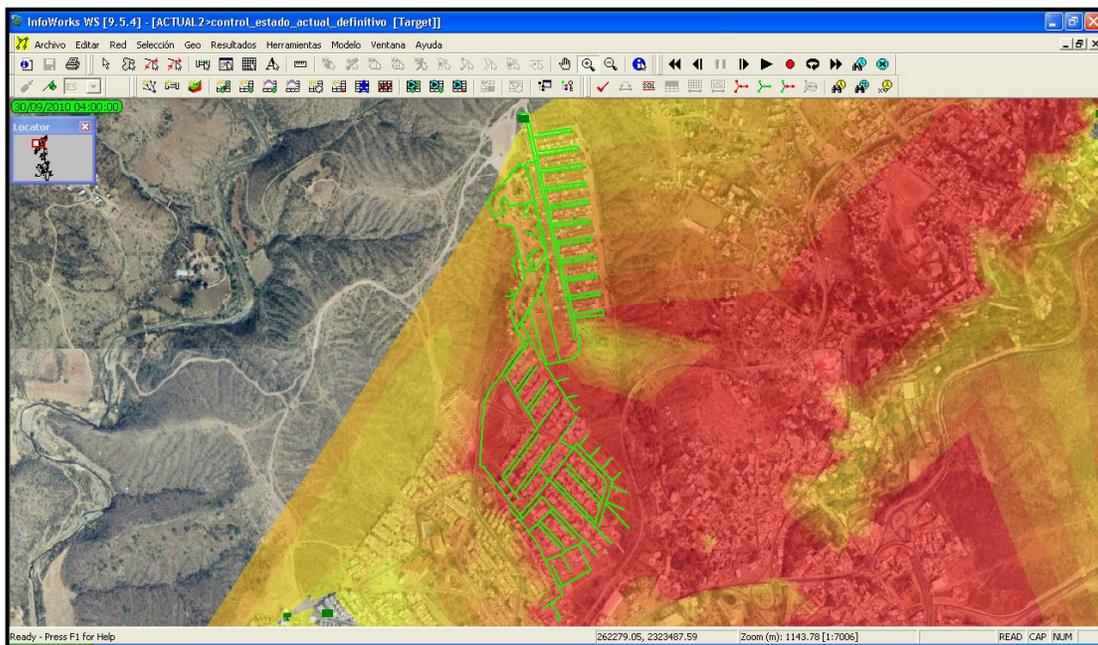
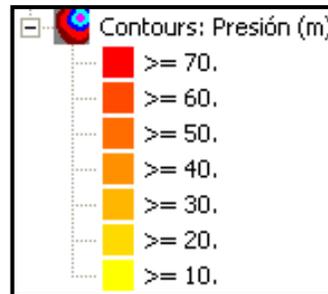


Figura 4.101 Estado actual de presiones en macro sector Biznagas

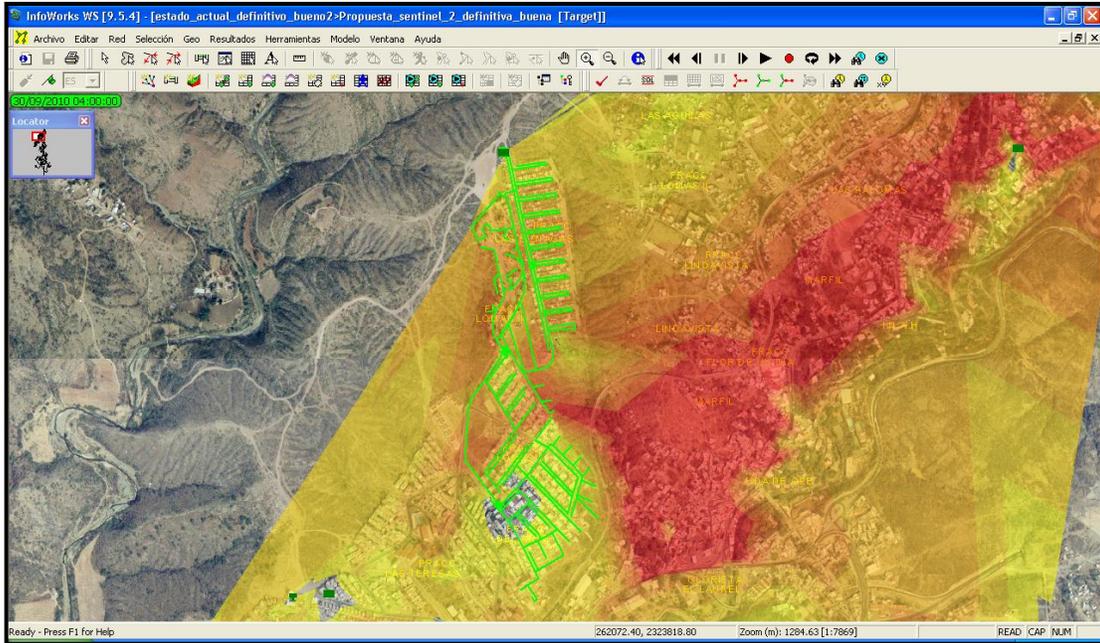


Figura 4.102 Estado recomendado de presiones en macro sector Biznagas

4.7.4 Macro sector Marfil

4.7.4.1 Descripción General

El macro sector Marfil es alimentado por un tanque superficial de 600 m³ al que abastecen tres bombas, una de 30 l/s y dos de 50 l/s. El uso de las bombas depende de la demanda existente. Además de entregar agua al tanque Marfil, las bombas surten a los tanques Teresas y Biznagas y directamente a una parte de la población.

El tanque se ubica a una cota de 2,035 msnm.

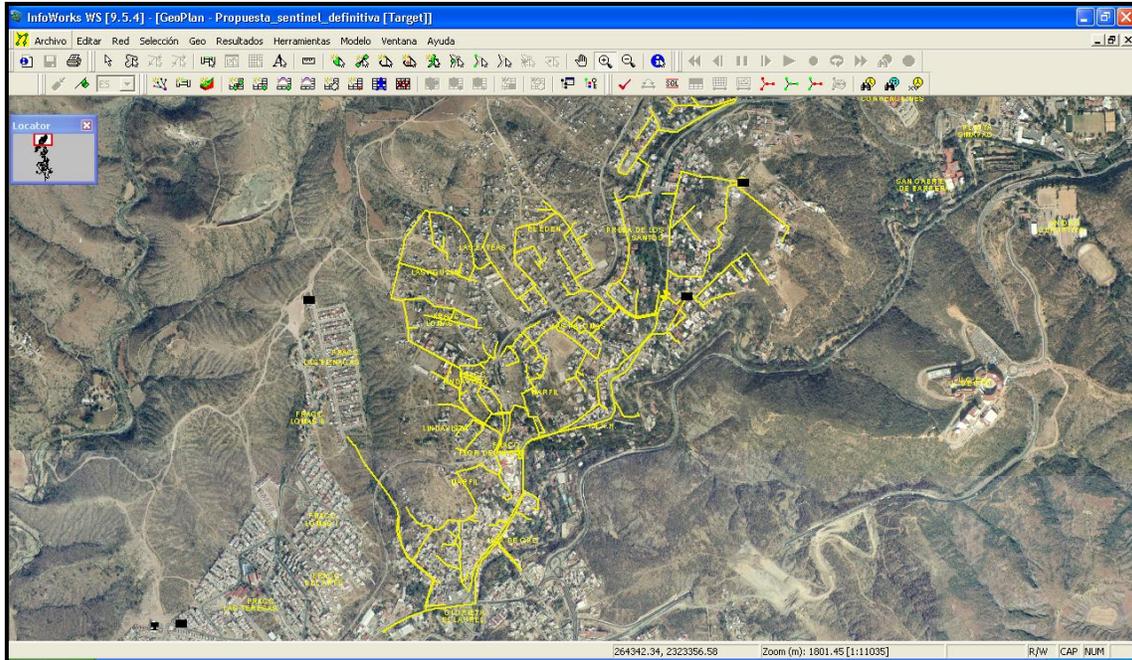


Figura 4.103 Área de influencia macrosector Marfil

4.7.4.2 Mediciones realizadas en campo

Gasto en la línea de 6" procedente del tanque Marfil

Como resultado de mediciones realizadas se cuenta con información relativa al gasto en este punto.

Para establecer la curva de demandas representativa del macro sector se calcularon los promedios de los gastos registrados para cada intervalo de medición.

De esta manera se obtuvo un gasto promedio de 7.75 l/s, un gasto máximo de 11.59 l/s (en torno a las 11:30 horas) y un gasto mínimo de 4.33 l/s (en torno a las 04:00 horas).

Índice de consumo mínimo nocturno

El consumo horario promedio registrado (CHP) en la tubería de 6" es de 7.75 l/s, mientras que el consumo mínimo nocturno (CMN) es de 4.33 l/s. El ICMN para el macrosector sería:

$$\text{ICMN} = \text{CMN} / \text{CHP} = 4.33 / 7.75 = 0.56$$

De esta manera se estima que presenta unas pérdidas físicas aproximadas del 56%.

4.7.4.3 Sector Marfil 1

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente.

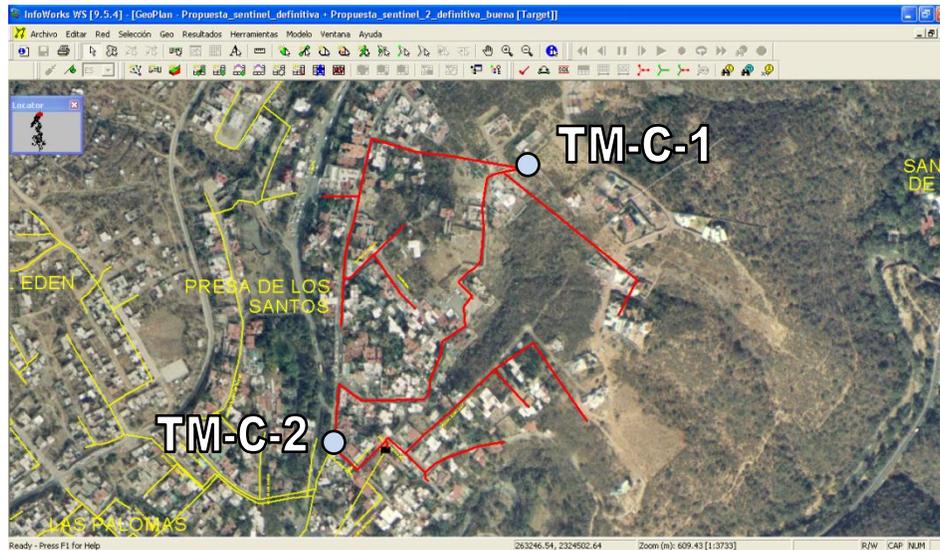


Figura 4.104 Zona de influencia sector Marfil 1

Punto de control TM-C-1

Punto de medición ya existente dentro de las instalaciones del tanque Marfil, a una cota de 2,035 msnm. No requiere válvula de control multifunción ni controlador.

Se estima un gasto máximo por el punto de 11.30 l/s en un horario de máxima demanda.



Figura 4.105 Ubicación TM-C-1

4.7.4.4 Sector Marfil 2

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente.

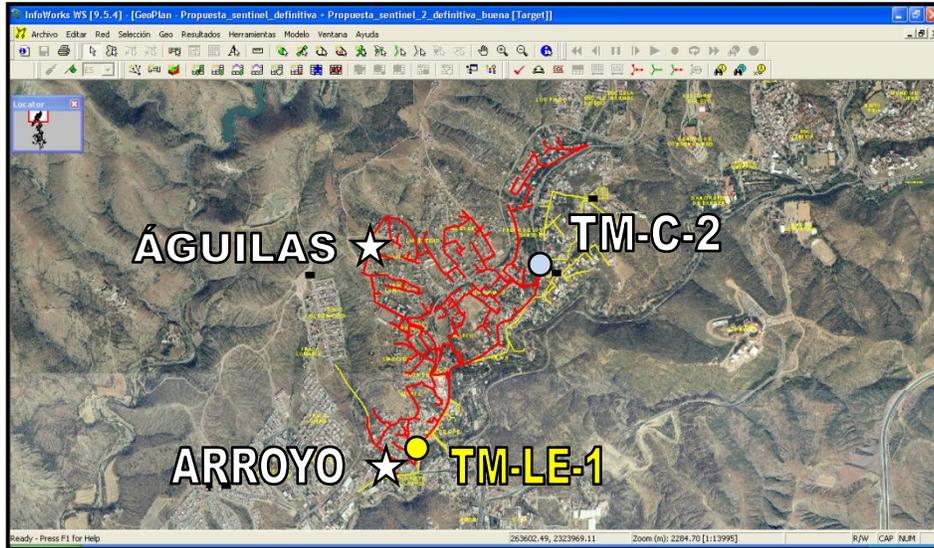


Figura 4.106 Zona de influencia sector Marfil 2.

Punto de control TM-C-2

Se sugiere implementar un punto de control sobre la línea de 6" que transcurre por la calle Mineral de Valenciana esquina con Mineral de Santa Rosa en una cota de 1,958 msnm.

Actualmente no se cuenta con ningún punto de control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de una válvula de control multifunción y un controlador.

Se estima un gasto máximo por el punto de 8.34 l/s en un horario de máxima demanda.

Las presiones actuales expresadas en mca que se tienen en los puntos más críticos del sector (colonia Las Águilas con una cota de 2,014 msnm y calle Arroyo de la Bolsa con una cota de 1,926 msnm) se especifican en la Tabla 4.37.

Tabla 4.37 Presiones actuales y propuestas en el sector Marfil 2

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
Tanque	2,035					Tanque	2,035				
TM-C-2	1,958	77	77	77	77	TM-C-2	1,958	77	77	66	61
Águilas	2,014	21	21			Alto	2,014	10	5		
Arroyo	1,926	109	109			Bajo	1,926	98	93		

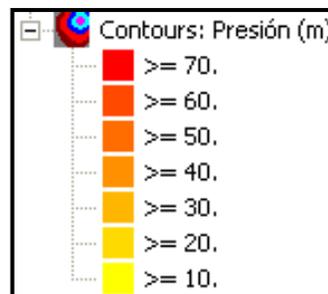
D↑	Periodo de mayor demanda
D↓	Periodo de menor demanda
Inicialmente se considerará el periodo de mayor demanda entre las 06:00 y las 22:00 horas, aunque éste podrá ser modificado conforme a las necesidades y evolución del sector	

Se sugiere que la válvula instalada en el punto TM-C-2 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 61 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 66 mca.

4.7.4.5 Situación actual y resultados esperados

Como se pudo observar a lo largo de este capítulo, el macro sector Marfil no cuenta actualmente con la instrumentación necesaria para realizar un buen control activo de presiones.

En las figuras siguientes se indica, por medio de colores, el estado actual de presiones que se registran en este macro sector y las que se esperan conseguir con la construcción e instrumentación de los puntos de control sugeridos.



4.7.5 Macro sector Las Teresas

4.7.5.1 Descripción General

El macro sector es abastecido por el tanque superficial Las Teresas que cuenta con una capacidad de 400 m³ y se encuentra localizado a una cota de 1,978 msnm.

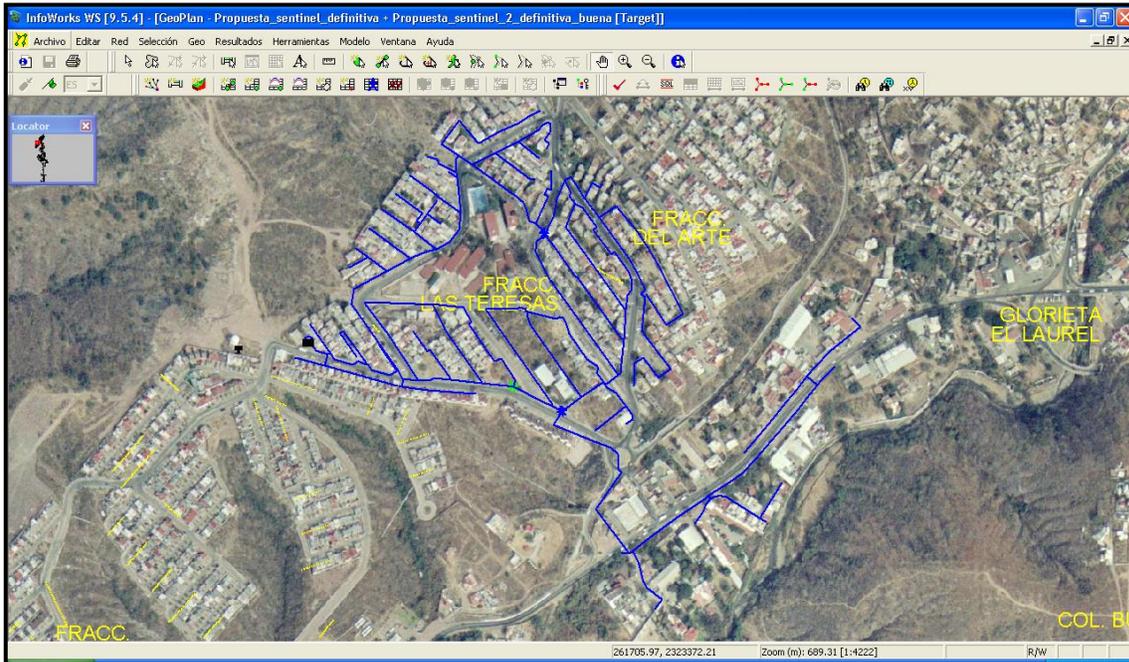


Figura 4.109 Área de influencia Las Teresas

El tanque Las Teresas es abastecido por medio de una derivación existente en la línea que alimenta el tanque Marfil desde el cárcamo Yerbabuena.

Para mejorar la operación de este macro sector se está considerando la implementación de dos puntos de control.

4.7.5.2 Mediciones realizadas en campo

Como complemento a la información disponible entregada, se desarrolló una campaña de medición que abarcó los siguientes puntos:

Gasto y presión en la línea de 8" procedente del tanque Las Teresas

Entre septiembre y octubre de 2012 se realizó tanto la medición permanente del gasto entregado por el tanque Las Teresas a su zona de influencia como la presión a la salida del tanque.

La presión registrada oscila entre los 0 mca y los 10 mca.

Para establecer la curva de demandas representativa del macro sector se calcularon los promedios de los gastos registrados para cada intervalo de medición.

De esta manera se obtuvo un gasto promedio de 6.13 l/s, un gasto máximo de 8.94 l/s (en torno a las 11:45 horas) y un gasto mínimo de 2.15 l/s (en torno a las 03:30 horas).

Es necesario comentar que durante el periodo de medición el tanque se llegó a vaciar en varias ocasiones, interrumpiendo el servicio.

Índice de consumo mínimo nocturno

El consumo horario promedio registrado (CHP) en la tubería de 8" es de 6.13 l/s, mientras que el consumo mínimo nocturno (CMN) es de 2.15 l/s. El ICMN para el macro sector Ex Hacienda Santa Teresa sería:

$$\text{ICMN} = \text{CMN} / \text{CHP} = 2.15 / 6.13 = 0.351$$

De esta manera se estima que presenta unas pérdidas físicas aproximadas del 35.1%.

4.7.5.3 Sector Las Teresas 1

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:

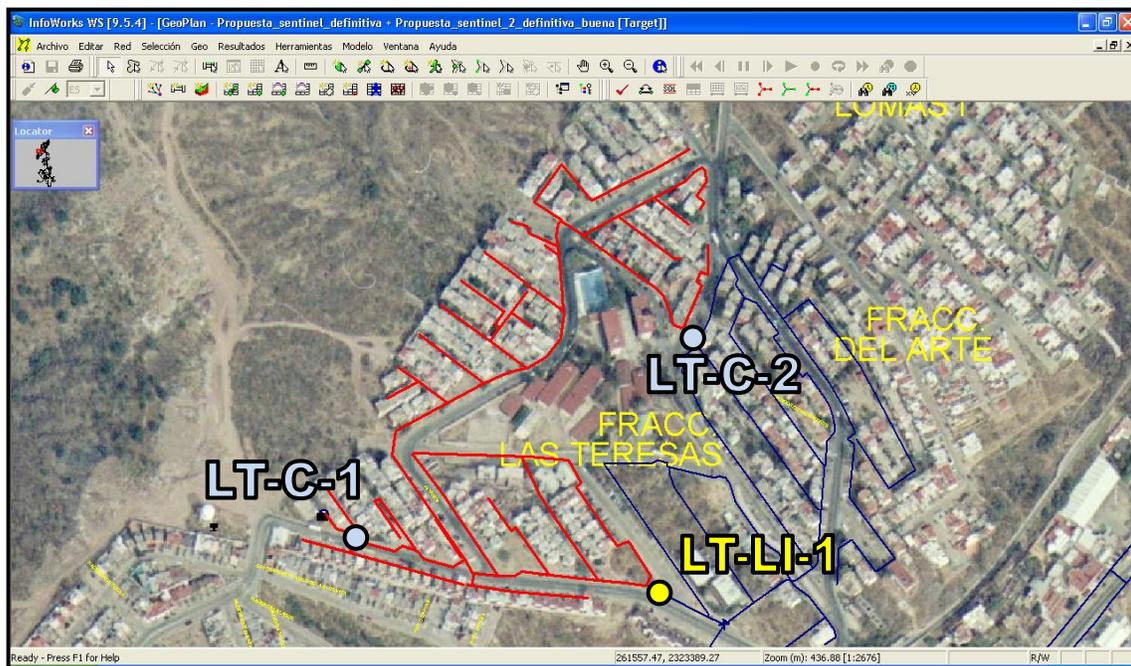


Figura 4.110 Zona de influencia sector Las Teresas 1

Punto de control LT-C-1

Se ubica en la salida de 8" del tanque Las Teresas que transcurre por la calle Conde de Lemos esquina Andador Batanes a una cota de 1,978 msnm.



Figura 4.111 Ubicación actual LT-C-1

Actualmente ya se encuentra construido un punto de medición en esta ubicación.

Dado que el tanque Las Teresas es superficial no se considera necesaria la instalación de válvula de control alguna y por ende tampoco se requiere el uso de controlador.



Figura 4.112 Detalle ubicación LT-C-1

Se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 8.81 l/s en los momentos de mayor demanda.

Punto de seccionamiento interno LT-LI-1

Se propone instalar una válvula de 6" en la tubería que transcurre por la calle Conde de Lemos en la esquina con calle Del Romancero para aislar el sector Las Teresas 1 del sector Las Teresas 2.



Figura 4.113 Ubicación propuesta LT-LI-1

4.7.5.4 Sector Las Teresas 2

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:

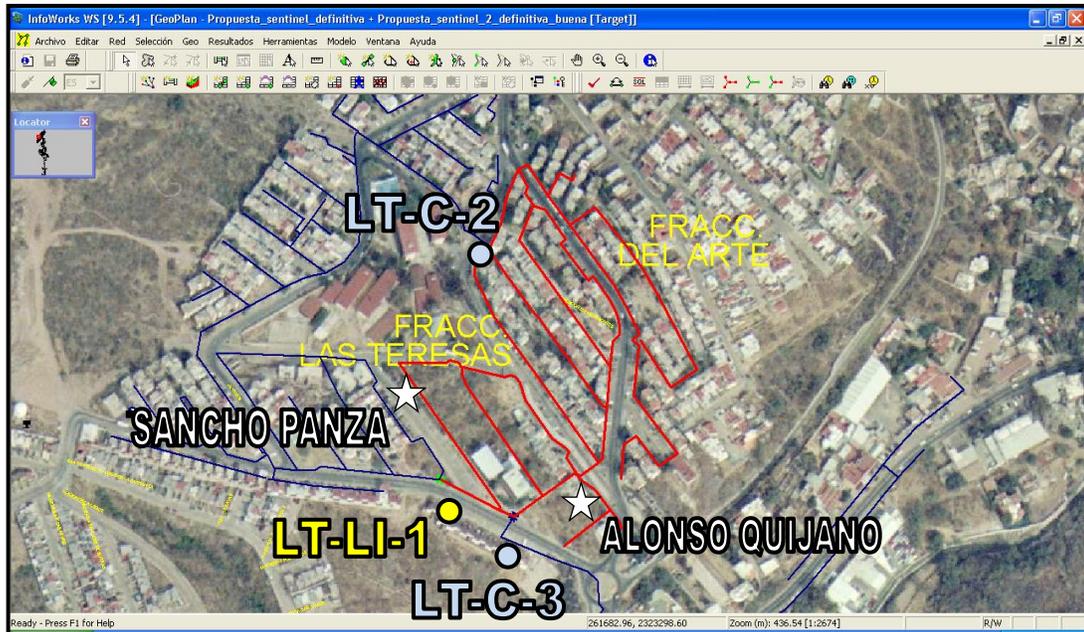


Figura 4.114 Zona de influencia sector Las Teresas 2

Punto de control LT-C-2

Se ubicará en tubería enterrada de 6" que transcurre por la calle Alonso Quijano esquina calle Aldonza Lorenzo a una cota de 1,937 msnm.



Figura 4.115 Ubicación propuesta LT-C-2

Actualmente no se cuenta con ningún punto de medición o control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de un punto de medición, una válvula de control y un controlador automático.



Figura 4.116 Detalle ubicación LT-C-2



Figura 4.117 Detalle tubería LT-C-2

Se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 5.46 l/s en los momentos de mayor demanda.

Las presiones actuales expresadas en mca que se tienen los puntos más críticos del sector (Alonso Quijano esquina Andador Castellano a 1,928 msnm y Sancho Panza esquina los Jayanes 1,960 msnm) se especifican en la Tabla 4.38.

Se sugiere que la válvula instalada en el punto LT-C-2 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 25 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 35 mca.

Tabla 4.38 Presiones actuales y propuestas en el sector Las Teresas 2

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
Tanque	1,978					Tanque	1,978				
LT-C-2	1,937	41	41	41	41	LT-C-2	1,937	41	41	35	25
Panza	1,960	18	18			Panza	1,960	12	2		
Quijano	1,928	50	50			Quijano	1,928	44	34		

D↑	Periodo de mayor demanda
D↓	Periodo de menor demanda
Inicialmente se considerará el periodo de mayor demanda entre las 06:00 y las 22:00 horas, aunque éste podrá ser modificado conforme a las necesidades y evolución del sector	

4.7.5.5 Sector Las Teresas 3

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:



Figura 4.118 Zona de influencia sector Las Teresas 3

Punto de control LT-C-3

Se ubicará en tubería de 3" que transcurre por Prol. Alonso Quijano esquina Glorieta Teresas a una cota de 1,949 msnm.



Figura 4.119 Ubicación propuesta LT-C-3

Se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 2.16 l/s en los momentos de mayor demanda.

Actualmente no se cuenta con ningún punto de medición o control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de un punto de medición, una válvula de control y un controlador automático.



Figura 4.120 Detalle propuesta LT-C-3

Teniendo en cuenta que se trata de una línea de pequeño diámetro no se considera necesario la construcción de un bypass en este punto toda vez que se facilita cualquier tipo de mantenimiento.

La presión actual expresada en mca que se tiene en el punto más crítico del sector (Carretera Guanajuato - Irapuato, frente a la entrada a las Teresas, a 1,923 msnm) se especifica en la Tabla 46.

Se sugiere que la válvula instalada en el punto LT-C-3 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 5 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 25 mca.

Tabla 4.39 Presiones actuales y propuestas en el sector Las Teresas 3

Presiones actuales						Presiones propuestas					
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
Tanque	1,978					Tanque	1,978				
LT-C-2	1,937	41	41	41	41	LT-C-2	1,937	41	41	35	25
LT-C-3	1,949	53	53	53	53	LT-C-3	1,949	47	37	15	5

Carretera	1,923	79	79			Carretera	1,923	41	31		
-----------	-------	----	----	--	--	-----------	-------	----	----	--	--

4.7.5.6 Situación actual y resultados esperados

Como se pudo observar, en el macro sector Las Teresas no se cuenta actualmente con la instrumentación mínima necesaria para realizar un buen control activo de presiones.

Es por ello que se está proponiendo la instalación de 2 válvulas de control y 2 controladores.

En las ilustraciones siguientes se indica, por medio de colores, el estado actual de presiones que se registran en este macro sector y las que se esperan conseguir con la construcción e instrumentación de los puntos de control sugeridos.

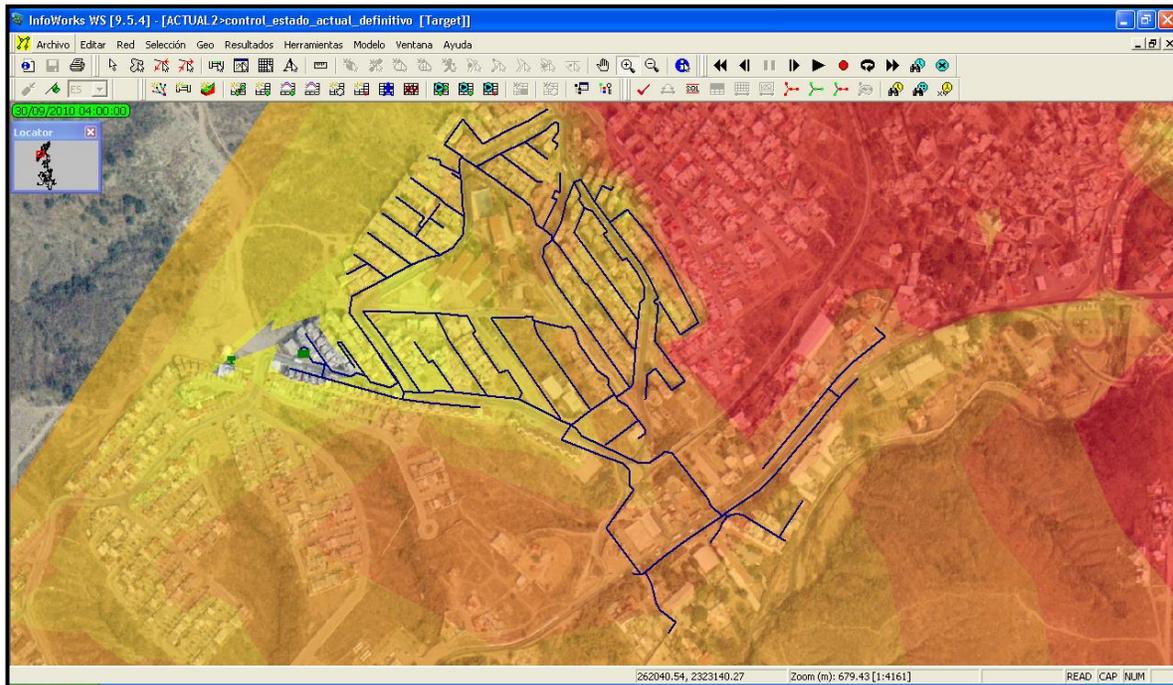
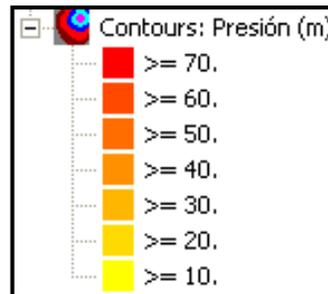


Figura 4.121 Estado actual de presiones macrosector Las Teresas

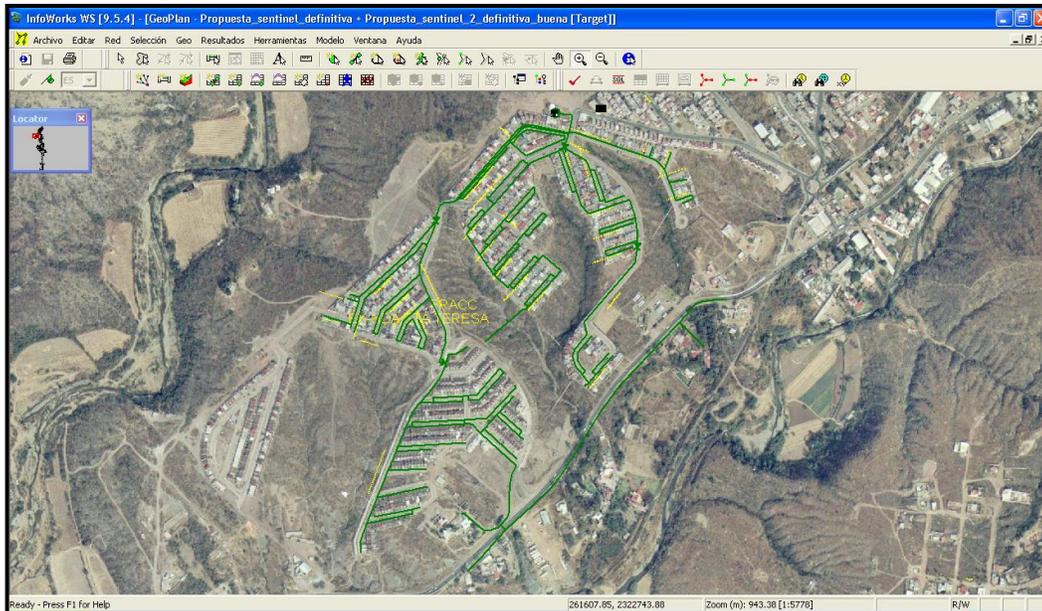


Figura 4.123 Área de influencia Ex Hacienda Santa Teresa

El tanque Ex Hacienda Santa Teresa es abastecido por medio de una derivación existente en la línea que alimenta el tanque Marfil desde el cárcamo Yerbabuena.

Para mejorar la operación de este macro sector se está considerando la implementación de cuatro puntos de control.

4.7.6.2 Mediciones realizadas en campo

Como complemento a la información disponible se realizó una campaña de medición en campo que abarcó los siguientes puntos:

Gasto y presión en la línea de 8" procedente del tanque Ex Hacienda Santa Teresa

Entre septiembre y octubre de 2012 se realizó tanto la medición permanente del gasto entregado por el tanque Ex Hacienda Santa Teresa a su zona de influencia como la presión a la salida del tanque.

La presión registrada oscila entre los 13 mca y los 19 mca.

Para establecer la curva de demandas representativa del macro sector se calcularon los promedios de los gastos registrados para cada intervalo de medición.

De esta manera se obtuvo un gasto promedio de 2.10 l/s, un gasto máximo de 3.24 l/s (en torno a las 10:45 horas) y un gasto mínimo de 0.79 l/s (en torno a las 04:15 horas).

Presión en Ex Hacienda Reoyos #68

En el periodo comprendido entre septiembre y octubre de 2012 se realizó la medición de la presión existente en calle Ex Hacienda Reoyos #68.

La presión oscila entre 50 mca y 80 mca.

Índice de consumo mínimo nocturno

El consumo horario promedio registrado (CHP) en la tubería de 8" es de 2.10 l/s, mientras que el consumo mínimo nocturno (CMN) es de 0.79 l/s. El ICMN para el macro sector Ex Hacienda Santa Teresa sería:

$$\text{ICMN} = \text{CMN} / \text{CHP} = 0.79 / 2.10 = 0.376$$

De esta manera se estima que presenta unas pérdidas físicas aproximadas del 37.6%.

4.7.6.3 Sector Santa Teresa 1

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:

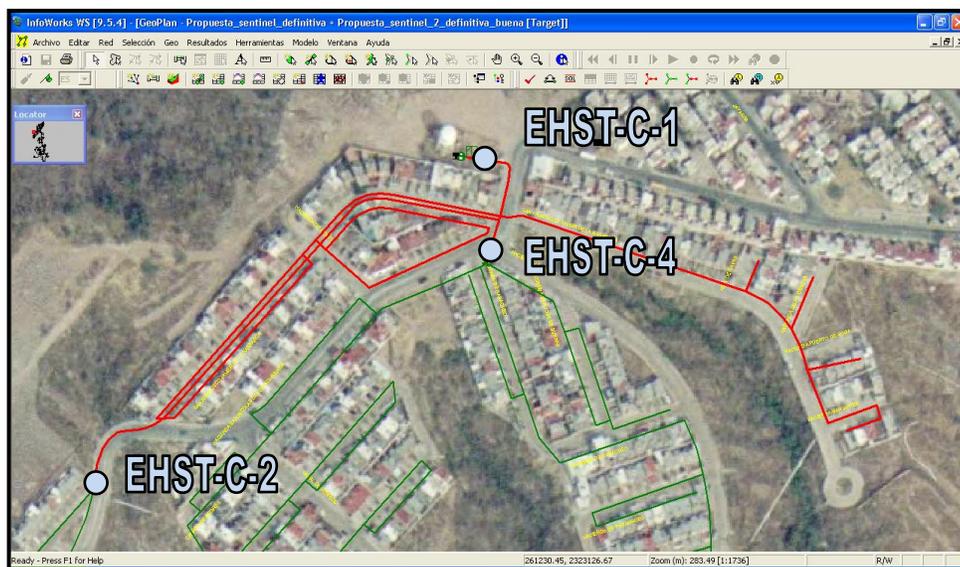


Figura 4.124 Zona de influencia sector Santa Teresa 1

Punto de control EHST-C-1

Se ubica en la salida de 8" del tanque Ex Hacienda Santa Teresa que transcurre por la calle Conde de Lemos esquina Andador Batanes a una cota de 1,978 msnm.



Figura 4.125 Tanque Ex Hda. Sta. Teresa



Figura 4.126 Punto medición EHST-C-1

Actualmente ya se encuentra construido un punto de medición en ese punto y no se considera necesaria ningún tipo de actuación adicional.

Se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 3.24 l/s en los momentos de mayor demanda.

4.7.6.4 Sector Santa Teresa 2

La zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman se indican en la figura siguiente:



Figura 4.127 Zona de influencia sector Santa Teresa 2

Punto de control EHST-C-2

Se ubicará en tubería enterrada de 8" que transcurre por la calle Hacienda San Francisco Javier de la Barranca esquina Hacienda Quiriseo a una cota de 1,962 msnm.



Figura 4.128 Ubicación propuesta EHST-C-2

Actualmente no se cuenta con ningún punto de medición o control para este sector por lo que se sugiere la instalación, instrumentación y puesta en marcha de un punto de medición, una válvula de control de 4" y un controlador automático.

Se estima que por este punto de control podrían circular alrededor de 1.83 l/s en los momentos de mayor demanda.

Las presiones actuales expresadas en mca que se tienen en los puntos más críticos del sector (Hacienda Rincón a 1,966 msnm y Hacienda Reoyos a 1,951 msnm) se especifican en la Tabla 4.40.

Se sugiere que la válvula instalada en el punto EHST-C-2 actúe en dos niveles de presión. En los periodos de menor demanda (horario nocturno) se ajustará la presión de salida a 15 mca y en los periodos de mayor demanda (horario diurno) a 25 mca.

Tabla 4.40 Presiones actuales y propuestas en el sector Santa Teresa 2

Presiones actuales					Presiones propuestas						
Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo		Punto	Cota	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		D↑	D↓	D↑	D↓			D↑	D↓	D↑	D↓
Tanque	1987	15	15	15	15	Tanque	1987	15	15	15	15
EHST-C-2	1,962	40	40	40	40	EHST-C-2	1,962	40	40	25	15
Rincón	1,966	36	36			Rincón	1,966	21	11		
Reoyos	1,951	51	51			Reoyos	1,951	36	26		

D↑	Periodo de mayor demanda
D↓	Periodo de menor demanda

5 SECTOR PILOTO

5.1 Trabajos preliminares

El sector “Euquerio Guerrero”, perteneciente al macro sector Tres estrellas, es abastecido a su vez por el cárcamo Yerbabuena mediante dos equipos de bombeo de 55 l/s. la figura 5.1 indica la zona de influencia aproximada y los elementos más importantes que lo conforman (TE-C-8, TE-C-9, TE-C-11 y TE-LE-3)

El punto de control TE-C-8 cuenta con válvula de control de 6”, controlador inteligente y punto de medición.

El punto TE-LE-3 consiste en una válvula de seccionamiento externa existente de 6” que aunque habitualmente está cerrada puede apoyar ocasionalmente a la zona de Yerbabuena.

Dado que el apoyo se realiza a una zona de cota más baja que la del propio sector Euquerio Guerrero, en ese momento podrían presentarse problemas de baja presión en las zonas de mayor cota (principalmente en el fraccionamiento Cúpulas y el fraccionamiento Terrazas).

Por ello, y a pesar de que el sector se encuentra funcionando desde mayo de 2010 con resultados muy favorables, se pensó en reducir su zona de influencia alimentando los fraccionamientos Terrazas, Cúpulas, Los Picachos y Mineral de la Hacienda con agua procedente del nuevo tanque Cúpulas.

Sin embargo existen casas en proceso de construcción en una cota superior a la del propio tanque Cúpulas, por lo que la carga del tanque no es suficiente para abastecer toda la zona.

Esta situación sugiere buscar una nueva alternativa para que las zonas más altas del sector Euquerio Guerrero no se despresuricen durante el apoyo a Yerbabuena.

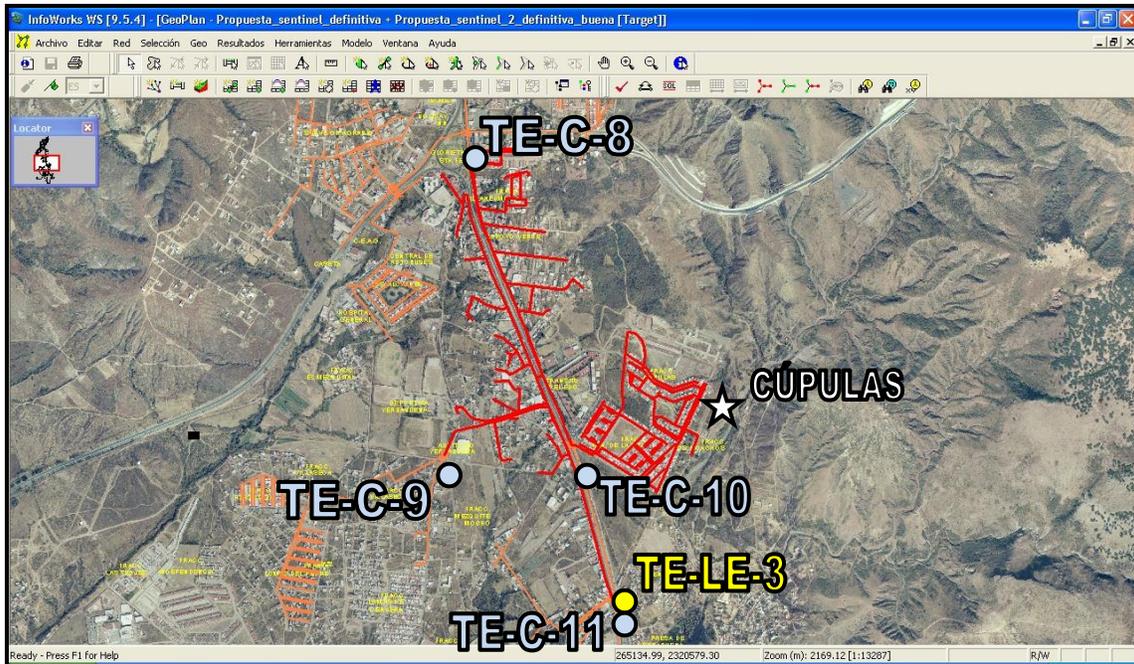


Figura 5.1 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero

Punto de control TE-C-10

Por lo tanto se ubicará en tubería enterrada de 6" que transcurre por Boulevard Euquerio Guerrero, colonia Mineral de la Hacienda, a una cota de 1,959 msnm aguas abajo del punto de control TE-C-8.



Figura 5.2 Zona de influencia sector Euquerio Guerrero

Durante las campañas de medición, de mayo a agosto de 2012, se pudo observar la zona de influencia, teniendo el modelo calibrado y la base de datos de medición se concluyó que los puntos mas alejados tienen una presión nocturna promedio de 5 kg/cm², por lo que es necesario disminuir la presión en este punto con la instalación de un controlador inteligente. En la figura siguiente se aprecia el registro de presión durante el periodo de medición.

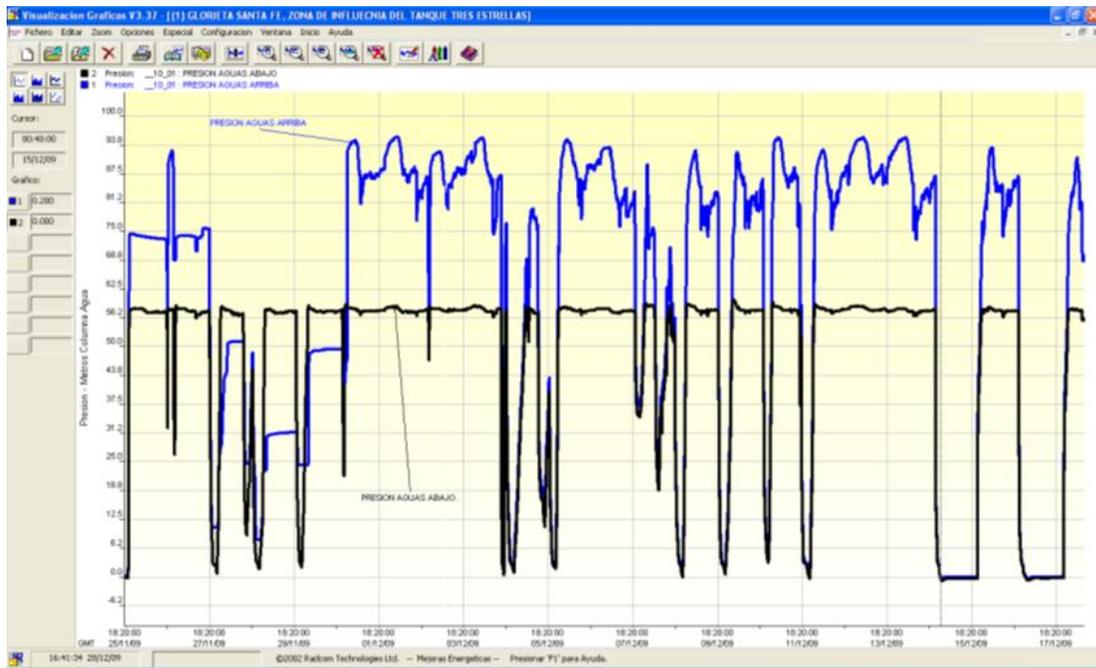


Figura 5.3 Mediciones en la tubería de 6” (Euquerio Guerrero)

La tubería de alimentación que llega a este punto tuvo un caudal promedio de 32 l/s, y un porcentaje de agua no contabilizada del 55%, (ver tabla 5.1), aunque este valor solo es un parámetro que da la idea de cómo estaba el agua no contabilizada en esa zona. Con ayuda del modelo calibrado se concluyó que un 75% del agua que sale del tanque Tres estrellas por la tubería de 8” fluye por el punto de medición, por tal motivo se propuso instalar el controlador inteligente en el punto cercano.

Tabla 5.1 Resumen de resultados de la medición

INDICADOR	SIMBOLO	VALOR
Consumo Total	CT	2768.77
Consumo Horario Promedio	CHP	32.046
		115.365
Consumo Horario Maximo	CHM	46.625
		167.850
Consumo Mínimo Nocturno	CMN	18.369
		66.1284
Indice de consumo de mínimo nocturno	ICMN	0.573
Indice de consumo maximo horario	ICHM	1.455

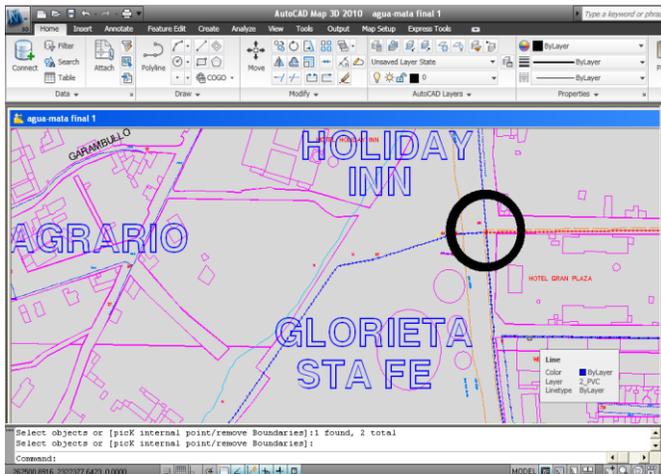


Figura 5.4 Punto propuesto para instalar el controlador inteligente

5.2 Mediciones primera etapa

En esta etapa se colocó un caudalímetro electromagnético de inserción y un registrador de datos, en el punto propuesto con la finalidad de obtener el valor de caudal y de presión aguas (arriba y abajo) de la válvula reguladora de presión, con la finalidad de adquirir valores que se puedan comparar después de instalar el controlador.

El periodo de medición fue del 30 de abril al 24 de junio.



Figura 5.5 Gráfico en la primera Etapa de Medición

En esta etapa, el valor promedio del consumo mínimo nocturno fue de 14.58 l/s, el intervalo considerado para el valor anterior fue de 12:00 p.m a 5:00 a.m.

En la gráfica siguiente se muestra el comportamiento de un día de medición, el patrón se repite en los demás días para la demanda en horario nocturno.

La gráfica fue seleccionada al azar, en ese día el caudal promedio fue de 23.51 l/s y el caudal de agua no contabilizada fue de 14.22 l/s



Figura 5.6 Gráfica de demanda

Al realizar el análisis de los datos, se concluye que el caudal promedio durante la medición fue de 23.83 l/s, el volumen por día de 2057.87 m³ y el caudal de agua no

contabilizada promedio fue de 14.58 l/s. En la tabla siguiente se muestran los resultados por día.

Tabla 5.2 Resumen de resultados de la medición

Fecha	Caudal Promedio(l/s)	Volumen diario (m ³)	Fecha	Caudal Promedio(l/s)	Volumen diario (m ³)
30/04/2012	25.108	2169.329	01/06/2012	24.448	2112.289
01/05/2012	25.446	2198.505	02/06/2012	25.555	2207.922
02/05/2012	22.674	1959.058	03/06/2012	21.203	1831.911
03/05/2012	25.639	2215.213	04/06/2012	26.182	2181.476
04/06/2012	26.182	2262.152	05/06/2012	24.057	2078.507
05/05/2012	25.106	2169.122	06/06/2012	22.603	1952.913
06/05/2012	25.218	2178.876	07/06/2012	23.580	2037.289
07/05/2012	26.360	2277.518	08/06/2012	24.825	2144.915
08/05/2012	25.970	2243.837	09/06/2012	24.613	2126.555
09/05/2012	23.514	2031.643	10/06/2012	24.731	2136.784
10/05/2012	23.139	1999.169	11/06/2012	23.907	2065.559
11/05/2012	24.341	2103.051	12/06/2012	22.375	1933.211
12/05/2012	23.031	1989.843	13/06/2012	19.699	1702.028
13/05/2012	24.693	2133.437	14/06/2012	22.402	1935.509
14/05/2012	24.904	2151.684	15/06/2012	22.920	1980.318
15/05/2012	26.169	2261.033	16/06/2012	24.120	2083.934
16/05/2012	21.802	1883.684	17/06/2012	22.648	1956.800
17/05/2012	24.260	2096.091	18/06/2012	20.473	1768.851
18/05/2012	25.328	2188.370	19/06/2012	22.583	1951.198
19/05/2012	24.064	2079.131	20/06/2012	21.075	1820.908
20/05/2012	22.658	1957.622	21/06/2012	22.686	1960.088
21/05/2012	27.158	2346.426	22/06/2012	23.908	2065.664
22/05/2012	25.022	2161.878	23/06/2012	22.818	1971.471
23/05/2012	23.484	2028.998	24/06/2012	23.923	2066.942
24/05/2012	26.011	2247.349			
25/05/2012	23.175	2002.357			
26/05/2012	26.468	2286.846			
27/05/2012	26.174	2261.457			
28/05/2012	25.123	2170.650			
29/05/2012	25.905	2238.207			
30/05/2012	22.251	1922.506			
31/05/2012	25.286	2184.667			

5.3 Instalación y configuración del controlador

Se realizó la instalación del controlador en la tubería de 4" que proviene del tanque Cervera.



Figura 5.7 Instalación del controlador inteligente

Con base en los puntos críticos de la zona de influencia del tanque, se establecieron los parámetros de configuración del controlador, de tal manera que los usuarios ubicados en la periferia de la cobertura de la tubería de 6" y en la parte con mayor elevación topográfica tengan un suministro de agua potable adecuado.

Con base en el comportamiento de la curva de demanda, se propuso la siguiente configuración, donde el termino bajo corresponde a una presión de 4 Kg/cm^2 y alto es igual a 5 Kg/cm^2 .



Figura 5.8 Curva de demanda típica

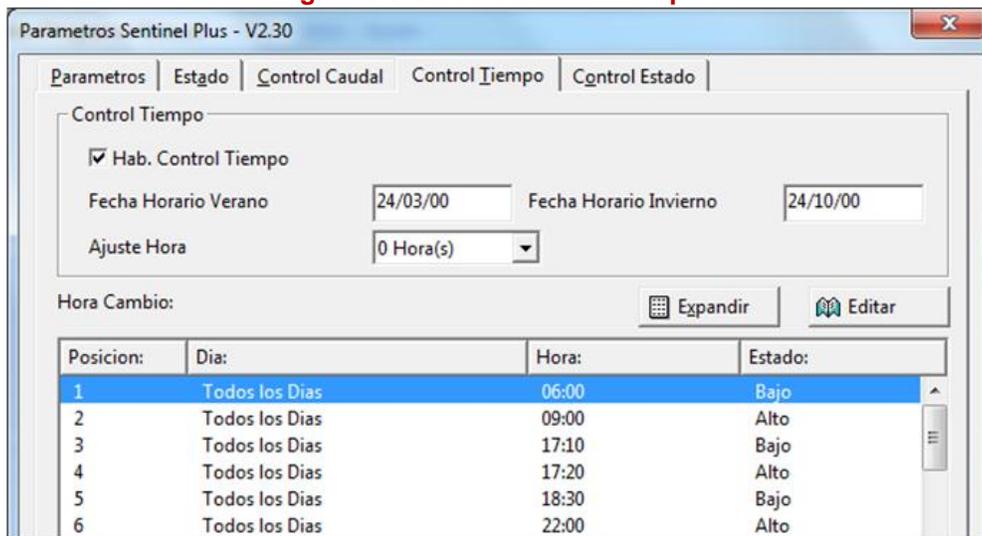


Figura 5.9 Parámetros del controlador

Teniendo todo el equipo instalado y configurado, el controlador inició los cambios programados en la válvula reguladora de presión, tal como se aprecia en la figura siguiente;

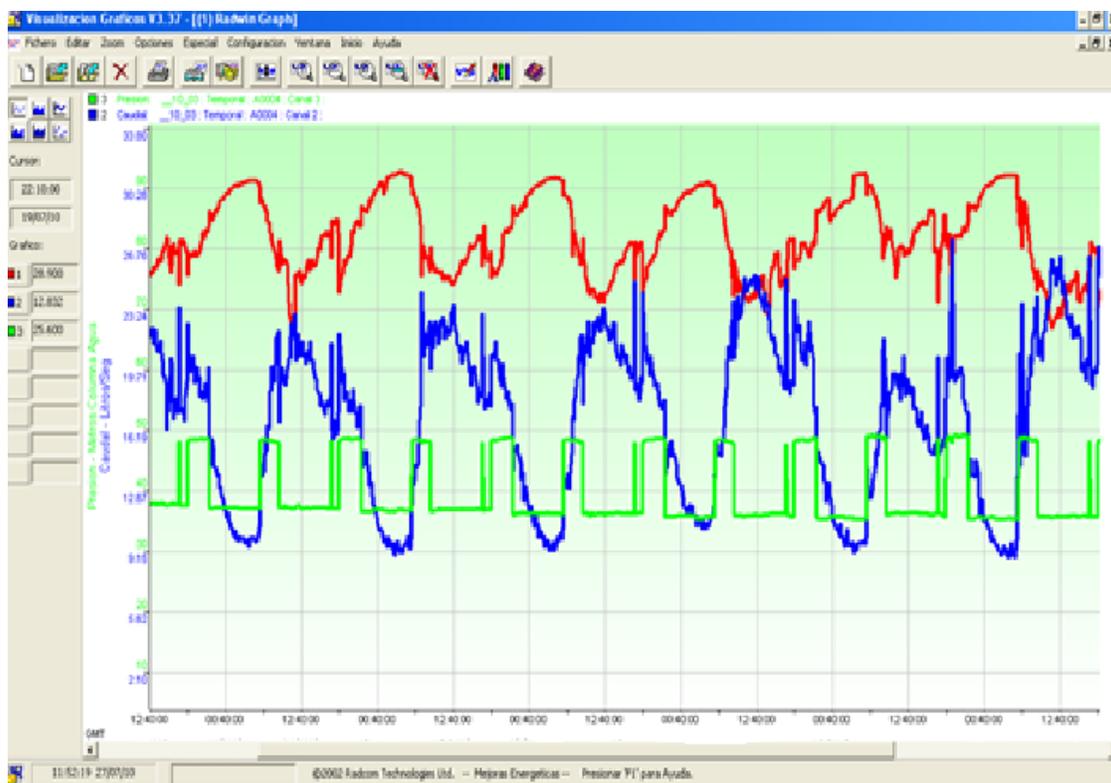


Figura 5.10 Cambios que realiza el controlador inteligente

5.4 Mediciones segunda etapa

Teniendo los controladores instalados y configurados se procedió a dejar 21 días de medición para poder cuantificar los beneficios.

El periodo de medición fue del 13 de julio al 02 de agosto

Tabla 5.3 Resumen de resultados de la medición

Fecha	Caudal Promedio(l/s)	Volumen diario (m ³)
13/07/2012	16.423	1418.951
14/07/2012	16.227	1402.029
15/07/2012	16.921	1461.957
16/07/2012	17.013	1469.934
17/07/2012	18.211	1573.394
18/07/2012	15.313	1323.059
19/07/2012	18.095	1563.378
20/07/2012	18.485	1597.104
21/07/2012	18.107	1564.442
22/07/2012	16.877	1458.181

23/07/2012	16.302	1408.452
24/07/2012	16.331	1411.017
25/07/2012	14.416	1245.529
26/07/2012	16.534	1428.511
27/07/2012	16.854	1456.179
28/07/2012	17.369	1500.705
29/07/2012	17.673	1526.942
30/07/2012	17.502	1512.164
31/07/2012	15.667	1353.586
01/08/2012	16.904	1460.524
02/08/2012	16.352	1412.771

Como resultados de este periodo se tiene un caudal promedio de 16.84 l/s y un volumen diario de 1454.71 m³. Se puede observar que comparado los resultados de la primera y segunda etapas de medición, estos últimos son menores.

En la figura siguiente se aprecia el comportamiento de la demanda durante el período de medición.



Figura 5.11 Gráfica de la demanda durante el periodo de medición

En la figura siguiente se muestra un comparativo antes y después de la instalación del controlador inteligente, donde se aprecia como el comportamiento es diferente,

en esta comparación el caudal promedio en la primera etapa fue de 23.83 l/s y en la segunda etapa de 16.84 l/s; también se observa cómo el área bajo la curva disminuye (volumen del día), por otro lado el caudal mínimo nocturno disminuye también de un valor registrado en la primera etapa de 14.58 l/s a 9 l/s obtenido después de la instalación del controlador.

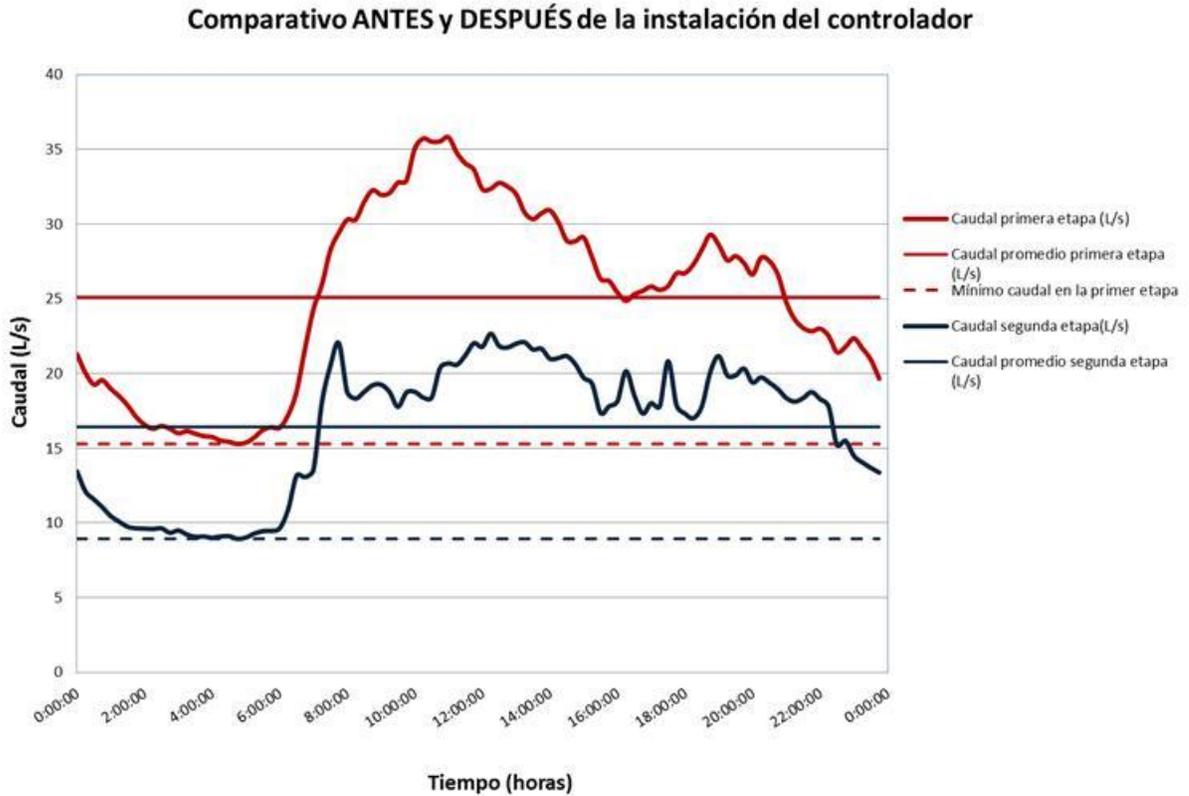


Figura 5.12 Gráfica antes y después de la instalación del controlador

5.5 Recuperación de caudal

El controlador instalado en el punto de control del sector Euquerio Guerrero, es un claro ejemplo del potencial que tiene el controlador inteligente, pero sobre todo la importancia que implica para este trabajo la recuperación del caudal y por ende el incremento en la eficiencia física del sector, motivo de esta tesis.

De acuerdo a las condiciones iniciales antes de instalar el controlador fueron:

$$Q_{\text{prom}} = 23.83 \text{ l/s, que indica un Volumen diario} = 2057.87 \text{ m}^3$$

Después de instalar el equipo se presentó un escenario completamente diferente, debido a que el gasto promedio que se obtuvo fue:

$$Q_{\text{prom}} = 16.84 \text{ l/s, que indica un Volumen diario} = 1454.71 \text{ m}^3$$

La diferencia de volumen antes y después de la instalación del controlador es de 603 m³, lo que equivale a recuperar 6.99 l/s, y agua no contabilizada promedio de 5.03 l/s

De esta manera, la eficiencia física antes de instalar el controlador en la VRP, de acuerdo a las mediciones y al índice de consumo mínimo nocturno, resultaba de:

- ICMN = 57.30, por lo tanto la eficiencia física es de 42.68%, garantizando el aislamiento con el análisis del macro sector.

Una vez instalado el controlador inteligente, la eficiencia física resultó de:

- ICMN = 48.27, por lo tanto la eficiencia física es de 51.72%.

Por lo anterior, la recuperación de más de 600 m³, se traduce en un incremento de casi 10 puntos porcentuales. La figura siguiente muestra la gráfica del comportamiento después de instalado el controlador. Se observa que el valor del consumo mínimo nocturno de 8.74.

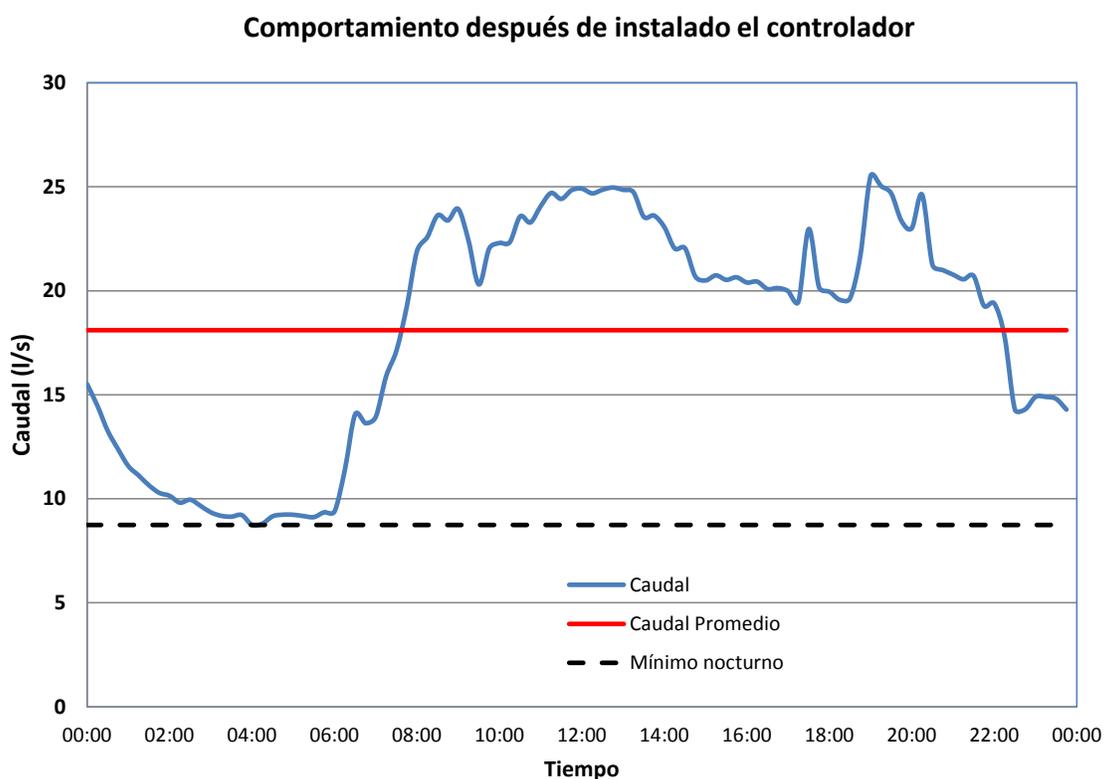


Figura 5.13 Gráfica después de la instalación del controlador

Es importante comentar que la instalación del controlador se logró sin afectar la calidad del servicio, debido a que los usuarios satisfacían sus necesidades como

antes de la instalación del controlador. Además durante este tiempo las presiones disminuyeron aproximadamente en 2 kg/cm^2 en la zona dejando de alimentar fugas y bajando la presión de trabajo, lo que evita que se estrese las tuberías y aparición de nuevas fugas.

6 TRABAJOS FUTUROS

Los resultados obtenidos en el sector piloto Euquerio Guerrero es una clara muestra del éxito del control activo de presiones por medio de controladores inteligentes instalados en las válvulas reductoras de presión.

Es evidente entonces la importancia de implementar esta campaña en otros sectores de la red de agua, tanto de la zona sur como en la zona centro. La aplicación de los trabajos de recuperación de pérdidas de agua debe realizarse de manera sistemática, programada y consistente con beneficios y costos

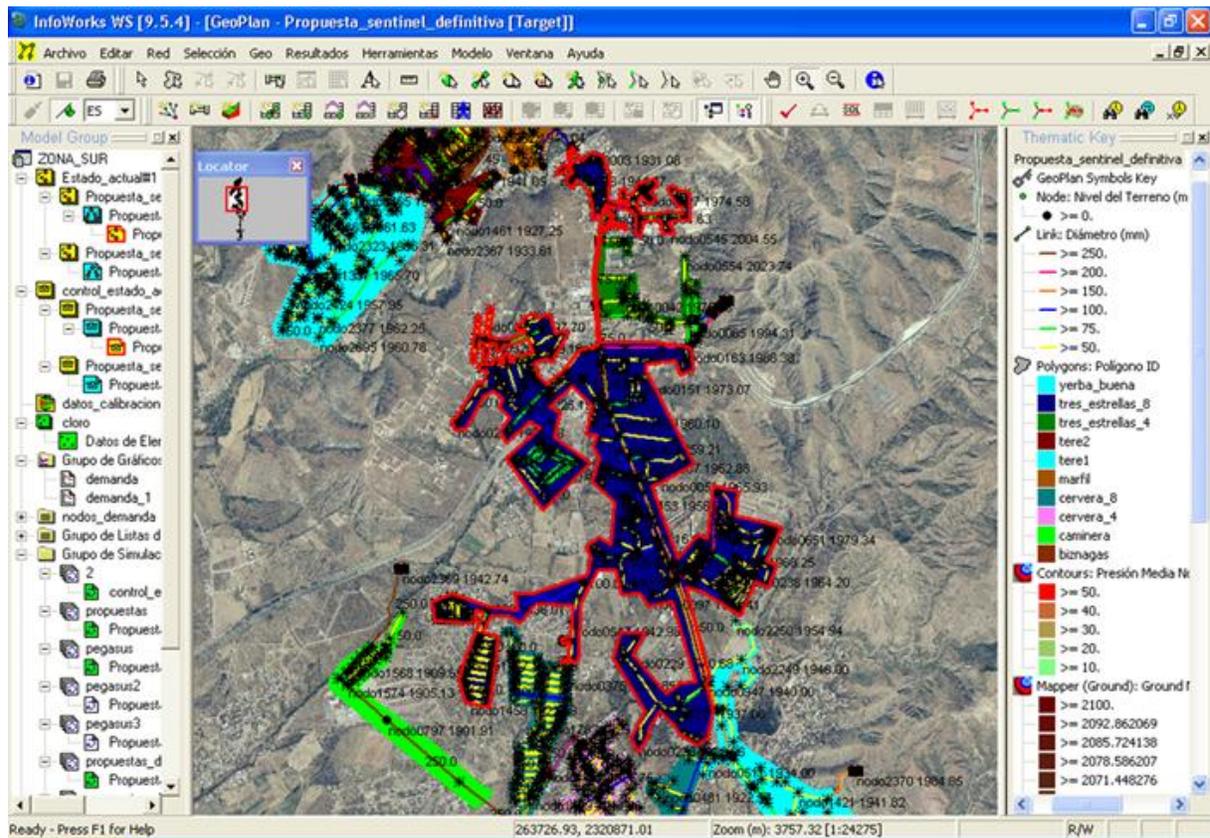


Figura 6.1 Propuesta de macro sectores zona sur

El contorno de presiones de la zona sur es el que se muestra en la figura siguiente.

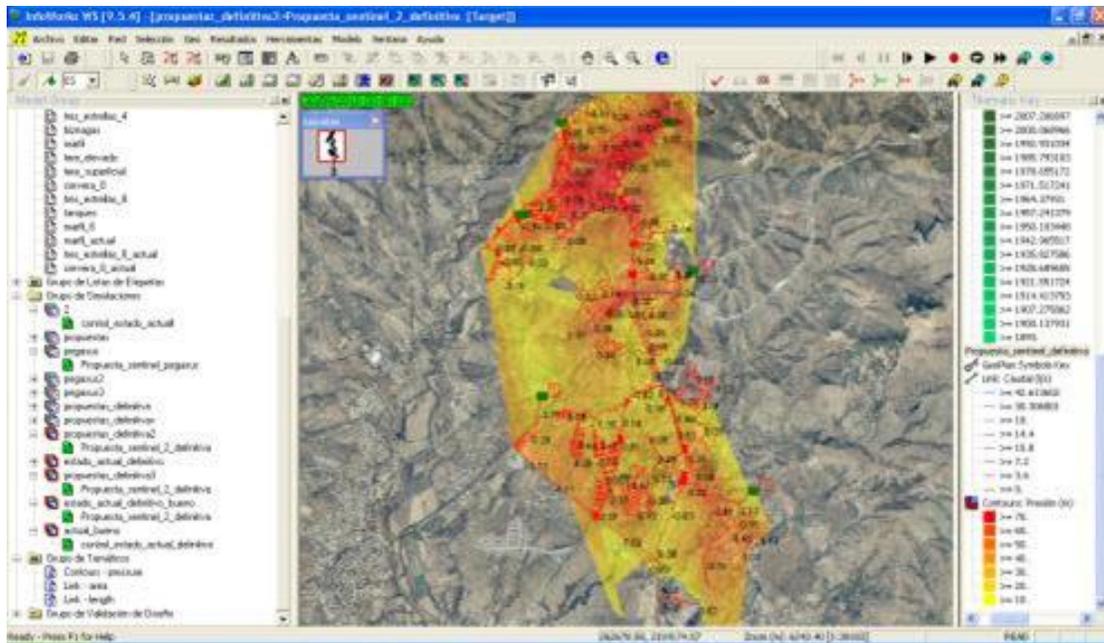


Figura 6.2 Contorno de presiones propuesto para la zona sur

Para lograr el contorno de presiones que se muestra será necesario instalar estratégicamente 17 puntos de control, en la figura siguiente se aprecia la ubicación.

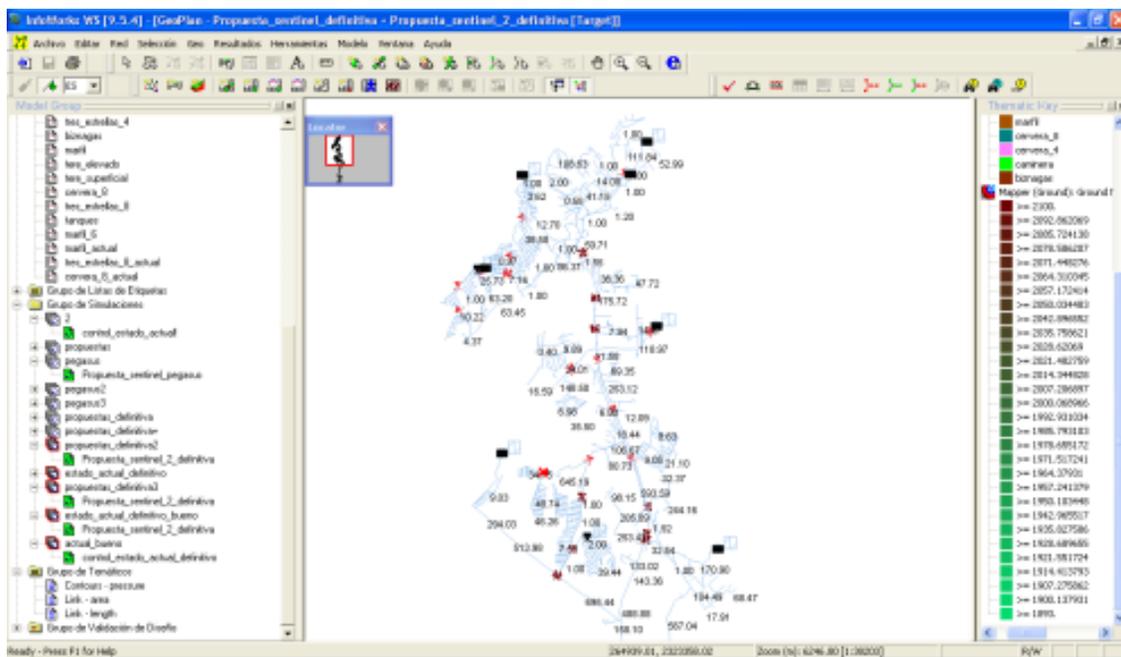


Figura 6.3 Propuesta de puntos de control para zona sur

Al tener los puntos de control se tendrá el control activo de presiones en los macro sectores de la red de agua potable, implicando los siguientes beneficios.

- Incremento de la eficiencia física.
- Disminución del volumen de pérdidas físicas.
- Disminución del costo de energía eléctrica, debido a que al ahorrar agua, ésta se queda en las fuentes.
- Contar con un monitoreo y registro de las tuberías que salen de los tanques.
- Contar con el registro, monitoreo y envío permanente de información de presiones y en algunos el caudal que pasa por las válvulas reguladoras de presión
- Se tendrán los macro sectores y se podrá analizar la disponibilidad de agua potable incorporando zonas de futuro crecimiento
- Evitar fatiga de la red al tener el control activo de presiones.
- Se evitarán problemas sociales que provoca el tener fugas en una ciudad catalogada como Patrimonio Cultural de la Humanidad.

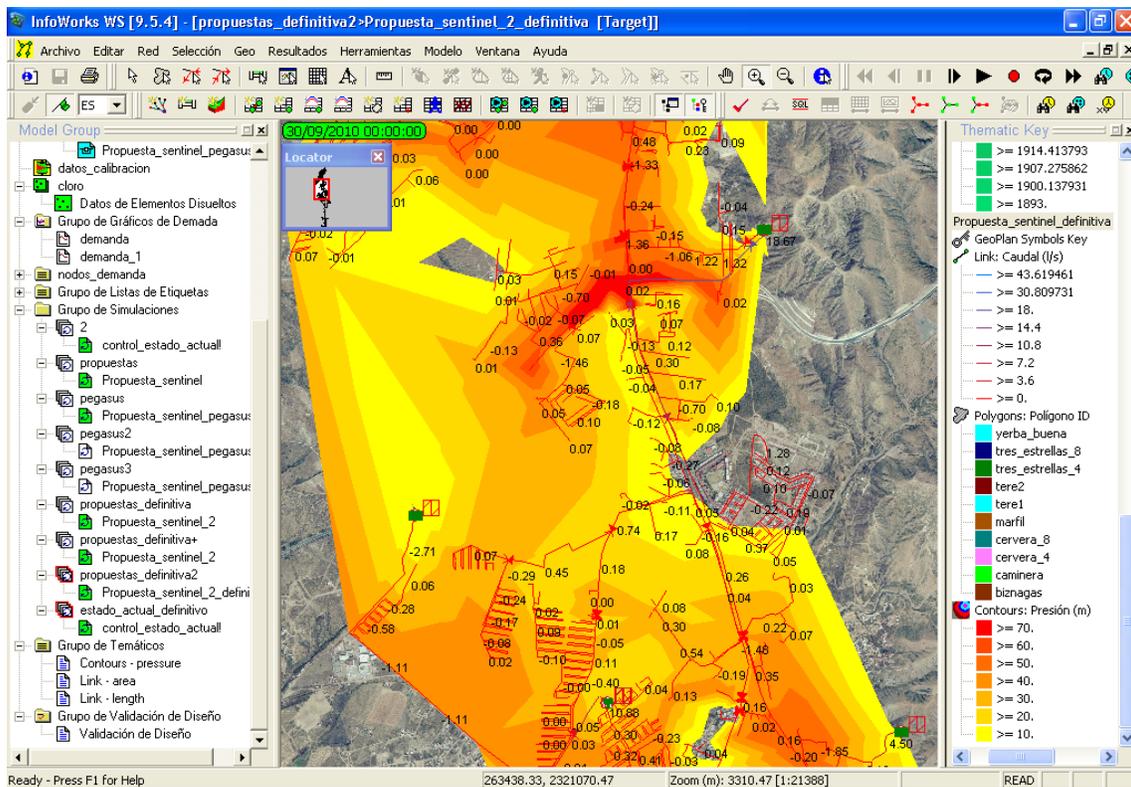


Figura 6.4 Propuesta a futuro para zona sur, presiones entre 15 y 35 mca

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se presentan mediciones realizadas en el sector Euquerio Guerrero de la red de agua potable, zona sur, de la ciudad de Guanajuato se utilizaron para determinar el incremento de la eficiencia física, la cual se obtuvo de manera indirecta y se sustenta en una metodología establecida por la AWWA, sin embargo se deberá verificar que el Índice de Consumo Mínimo Nocturno (ICMN) corresponda a fugas; en caso de tratarse de un consumo entonces se estaría considerando un incremento en la eficiencia física. Para confirmar lo anterior será importante apoyarse de recorridos de campo en la zona de estudio en un horario de 12:00 am a 5:00 am con equipo especializado en detección de fugas como geófonos y correladores.

Con la instalación del controlador en las válvulas reductoras de presión (VRP) se reduce la presión nocturna en las tuberías, minimizando el volumen de fuga y reduciendo el riesgo de rotura de tuberías en los periodos de bajo consumo.

Además el controlador es un claro ejemplo de la eficacia del dispositivo para incrementar la eficiencia física de la red, debido a que en las condiciones iniciales el volumen diario era de 2057.87 m³ ($Q_{prom} = 23.83$ l/s) y después de instalar el equipo se presentó un escenario completamente diferente con un volumen de 1454.71 m³ ($Q_{prom} = 16.84$ l/s) recuperando un volumen de 603 m³/día, equivalente a 7 l/s. Lo anterior se logró sin afectar la calidad del servicio, debido a que con el monitoreo de la presión en los puntos con mayor elevación topográfica, se registró una presión mínima de 15 mca.

La eficiencia física antes de instalar el controlador en la VRP, de acuerdo a las mediciones y al ICMN, resultaba de:

- ICMN = 57.30, por lo tanto la eficiencia física es de 42.70%

Una vez instalado el controlador inteligente en la VRP, la eficiencia física resultó de:

- ICMN = 48.27, por lo tanto la eficiencia física es de 51.73%.

Es importante comentar que el restante 48.27% se pierde principalmente debido a la deficiente infraestructura, es decir, fugas en las tuberías primarias y secundarias, en tomas domiciliarias, en cajas, derrame en tanques y usos clandestinos.

Generalmente durante la noche (menor consumo), la presión dentro de las tuberías de agua tiende a incrementar, por lo que al controlar la presión disminuye el volumen de fuga. Precisamente al controlar la presión se evitará la fatiga constante de las tuberías incrementando su vida útil.

El control activo de presiones resulta fundamental en la implementación de una campaña de recuperación de caudales. Reducir la presión a la entrada de un sector

o en una tubería representa la manera más sencilla y efectiva de reducir los caudales perdidos por fugas.

El control activo de presiones contribuirá a aumentar la vida útil de las tuberías, debido a que se evitará el estrés en las tuberías. Entre las acciones que se sugieren realizar al sector para incrementar la eficiencia física y tener el control de la distribución del caudal, son las siguientes:

- Realizar la micro y macro medición
- Rehabilitación de motores y equipo eléctrico en pozos
- Control de presiones
- Optimización de la capacidad de almacenamiento para disminuir el pago de energía eléctrica en horas pico
- Detección y reparación de fugas

Finalmente es importante decir que cualquiera que sea el origen del agua perdida, ésta podrá reducirse notablemente en la medida en que se lleve a cabo el control de presiones sobre una óptima sectorización, ya que de este proceso se derivará el balance hidráulico y la detección de las zonas con mayores problemas de pérdidas. La decisión de sectorizar y controlar las presiones en una red ofrece excelentes resultados, inclusive aún antes de cualquier reparación sobre la red.

REFERENCIAS

Bourguett O., Alcocer, Víctor., Mariano, C. (2001). Agua No Rentable, control activo de presión en empresas de agua. IMTA. SEMARNAT.

(<http://www.pigoo.gob.mx/pdf/Articulo.pdf>)

Capella, A. (2001). Control de presiones y reducción de fugas en la red de agua potable del poniente de la ciudad de México. PP.89

(<http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Recuperacion%20de%20Caudales/Sectorizacion%20en%20el%20D.F.%20Casos%20de%20estudio%20.pdf>)

Contreras F. (2006). Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución.

(http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/CO02045_Garzon_Contreras.pdf)

Ochoa A., Bourguett O. (2001). Reducción Integral de pérdidas de Agua potable. IMTA. SEMARNAT.

PIGOO – Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores
www.pigoo.gob.mx

Memoria Institucional 2000-2006 de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), Septiembre 2006.

BIBLIOGRAFIA

Arreguín, C. (1994). Uso eficiente del agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, CNA. (http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/cap3.html)

Bourguett O., Alcocer, Víctor., Mariano, C. (2001). Agua No Rentable, control activo de presión en empresas de agua. IMTA. SEMARNAT.

(<http://www.pigoo.gob.mx/pdf/Articulo.pdf>)

Capella, A. (2001). Control de presiones y reducción de fugas en la red de agua potable del poniente de la ciudad de México. PP.89

(<http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Recuperacion%20de%20Caudales/Sectorizacion%20en%20el%20D.F.%20Casos%20de%20estudio%20.pdf>)

CONAGUA-SEMARNAT, (2007). Sectorización en redes de agua potable. Julio de 2007.

CONAGUA-SEMARNAT, (2007). Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable. (2010). PP.194

Contreras F. (2006). Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución.

(http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/CO02045_Garzon_Contreras.pdf)

Feliciano G. D., (2005). Tesis de Maestría “Análisis y Caracterización Estocástica del consumo de Agua Potable en viviendas de Culiacán, Sinaloa”,

Fuentes M., Sánchez B., (1997). Método para calcular Redes en tubos y su empleo para detectar fugas en ellas. Series del Instituto de Ingeniería. D-41. Octubre de 1997. ISSN 0185-5735. Instituto de Ingeniería de la UNAM. PP.24.

Guía para la reducción de las pérdidas de agua. Un enfoque en la gestión de la presión. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (2011). PP.236

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) Ver. 2007. Modelación hidráulica y de Calidad del Agua en redes de Agua potable. PP.262

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) Ver. 2007. Redes de Distribución. PP.242

Manual del usuario Software Infoworks WS

Mott R, (2006) Mecánica de fluidos, México 2006. P.P. 647

Ochoa L., Bourguett V., (2001). Reducción Integral de Pérdidas de Agua Potable. SEMARNAT, IMTA. México 2001. PP-278

Palacios F, A. (2007) Tesis de Maestría ”Revisión Hidráulica y Sectorización de una red de distribución de agua potable y su aplicación a la zona poniente de la ciudad de Tepic, Nayarit”

Plan Estatal de Desarrollo 2030. Estado de Guanajuato PP. 230

WaterGy, (2003). Alliance to Save Energy International Programs.

(<http://www.watergy.org/resources/publications/Watergy-Spanish.pdf>)