

INFORME FINAL

**DIAGNÓSTICO, MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE
SECTORES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA
POTABLE DE CHIHUAHUA, CHIHUAHUA**

**(PARTE 2. MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE
SECTORES)**

CONVENIO DE COLABORACIÓN JMAS/IMTA/HC-0751

Noviembre del 2008

INFORME PARCIAL

DIAGNÓSTICO, MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE SECTORES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE CHIHUAHUA, CHIHUAHUA

(PARTE 2. MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE SECTORES)

CONVENIO DE COLABORACIÓN JMAS/IMTA/HC-0751

Elaboró:

Por El IMTA

M. en I. José Manuel Rodríguez Varela
Dr. Víctor Hugo Alcocer Yamanaka
M. en I. Víctor Bourguett Ortiz
Dr. Velitchko Tzatchkov
Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Coordinación de Hidráulica

Revisó y participó en las actividades de este proyecto:

Por la JMAS

Ing. y MAC Salvador Rubalcaba Mendoza, Director Técnico
Ing. Carlos Ballesteros Rivas, Coordinador de Operación
M en I Carmen Julia Navarro Gómez, Coordinación de Planeación.
Ing. Jorge Macías Armendáriz, Jefe Departamento de Planeación e Ingeniería.
Ing. David Muñoz Holguín, Jefe Departamento de Red Hidráulica.
Ing. Marco Antonio Velazco Báez, Jefe Departamento Suministro
Ing. Mario Loya Olivas, Coordinación de Operación
Ing. Rafael Domínguez, Coordinación de Operación
Ing. Rafael Fonseca Corral, Coordinación de Operación
Ing. Ángel Hugo Gameros Estrada, Jefe Departamento de Sucursales.

Por la JCAS

Ing. Miguel Ángel Jurado Márquez, Presidente
Ing Jorge Gilberto Olivas Mendoza, Director Técnico
Ing. Eduardo Issa Bolos, Subdirector de Ingeniería

Noviembre del 2008

DIAGNÓSTICO, MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE SECTORES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE CHIHUAHUA, CHIHUAHUA

(PARTE 2. MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE SECTORES)

ÍNDICE

1.	RESUMEN EJECUTIVO	14
2.	INTRODUCCIÓN.....	15
2.1	Objetivos.....	15
2.1.1	Objetivo general de la modelación de la red de distribución	16
2.2	Metodología.....	16
2.3	Recopilación y análisis de la información disponible	16
2.4	Conclusiones y Recomendaciones	17
3.	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DEL ÁREA DE SIMULACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE.....	17
3.1	Justificación.....	17
3.2	Objetivo general del área de simulación de redes	18
3.2.1	Objetivos específicos.....	18
3.2.2	Organigrama	18
3.3	Perfiles del personal.....	19
3.3.1	Jefatura de Área	19
3.3.2	Analista.....	20
3.3.3	Supervisor.....	20
3.3.4	Proyectista	21
3.3.5	Relación con las diferentes áreas de la JMAS.....	22
3.3.6	Recursos materiales	22
3.3.7	Jefe del área y Analista.....	22
3.4	Conclusiones.....	23
4.	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	24

4.1	Modelo de simulación	24
4.2	Detección de inconsistencias (Primera etapa)	26
4.3	Detección de inconsistencias (Segunda etapa)	28
4.4	Introducción de planimetría dentro del modelo de simulación	30
4.4.1	Incorporación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) al modelo de simulación.....	31
4.5	Conclusiones.....	32
5.	CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA RED.....	34
5.1	Evaluación de la simulación del modelo hidráulico	34
5.2	Precalibrado del modelo.....	36
5.3	Calibrado fino del modelo	36
5.4	Análisis de sensibilidad	37
5.5	Calibración del modelo de simulación de la red de Chihuahua (precalibrado)..	37
5.6	Ajuste de parámetros para la calibración de la red de Chihuahua.....	41
5.7	Conclusión.....	47
5.8	Referencias	48
6.	ANÁLISIS DE LOS MACROSECTORES DE LAS DIVERSAS ZONAS DE INFLUENCIA	49
6.1	Análisis espacial de la distribución de caudales y áreas de influencia de las conducciones	49
6.2	Análisis de los sectores.....	51
6.2.1	Tanque Colina	51
6.2.2	Tanque Panamericana.....	51
6.2.3	Pozo Revolución.....	55
6.2.4	Tanque Norte 1 y Norte 2 y Pozo Villas del Rey	55
6.2.5	Tanque Loma Larga.....	56
6.2.6	Tanque Chihuahua 2000 y Arroyos.....	57

6.2.7	Tanques Cerro Grande, Santa Rita, San Jorge y Pozo Rancherías.....	58
6.2.8	Pozo Cipres.....	59
6.2.9	Pozos Sacramentos Viejos, Nombre de Dios de Arriba y No. 7, Tanque Nombre de Dios y rebombeo Paso del Norte	59
6.2.10	Tanques Misiones, Jardines y Saucito y Conducción El Sáuz Mesquites.....	61
6.2.11	Tanques Haciendas del Valles, Cubres, Campanario I y II, Tanques No 1 y No 2 y Pozo Quintas.....	62
6.2.12	Zona de influencia de los Pozos No 8, CIMA, FFCC y Conv., San Felipe, Tanques No. 4 y Coronel y Rebombes Cerro Prieto y Sacramento.	63
6.2.13	Zona de influencia de los Tanques A, B, Filtros, No 7 y Tanque A y Conducción El Sáuz y Pozo Cerro de la Cruz.	65
6.2.14	Áreas de influencia de LA Conducción Tabalaopa Aldama, El León, Planta Tratadora Sur, Pozos Jardines de Oriente, Robinson, Concordia, Aeropuerto 1, 2 y 3, Rebombeo X1 y Tanque 2 de Octubre.	66
6.2.15	Áreas de influencia de la Conducción Ojos de Chuviscar, Rebombeo Ánimas, Zootecnia y Tanque Esperanza.....	69
6.3	Conclusiones y recomendaciones.....	69
7.	DISEÑO DE DISTRITOS HIDROMÉTRICOS EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA DE TANQUES Y POZOS.....	71
7.1	Distritos hidrométricos en el Tanque Colina.....	71
7.2	Distritos hidrométricos del Tanque Panamericana.....	73
7.3	Distritos hidrométricos del Pozo Ciprés.....	74
7.4	Distritos Hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios y Tanque Nombre de Dios Abajo.....	76
7.5	Pozo Revolución.....	79
7.6	Distritos Hidrométricos en la zona de influencia de Pozos Sacramentos Viejos	80
7.7	Distritos hidrométricos de la zona de influencia del pozo Nombre de Dios de Arriba.	80

7.8	Distritos hidrométricos del Tanque Santa Rita.....	81
7.9	Distritos hidrométricos del Tanque San Jorge.....	83
7.10	Pozo Rancherías	85
7.11	Distritos hidrométricos del Tanque Cerro Grande	86
8.	Análisis hidráulico preliminar de la conducción “El Sauz”- Chihuahua, Chih..	88
8.1	Antecedentes.....	88
8.2	Recopilación de información.....	88
8.3	Generación de escenarios	97
8.4	Escenario SAZ03-4QA.....	98
8.5	Escenario SAZ03-0@.....	99
8.6	Escenario SAZ03-0I.....	99
8.7	Escenario SAZ03-0J.....	100
8.8	Escenario SAZ03-0K.....	101
8.9	Escenario SAZ03-4	101
8.10	Escenario SAZ03-4@.....	102
8.11	Escenario SAZ03-4I	102
8.12	Escenario SAZ03-4J.....	103
8.13	Escenario SAZ03-4K.....	104
8.14	Escenario SAZ03-4Q.....	104
8.15	Escenario SAZ03-4R.....	105
8.16	Escenario SAZ03-4S	106
8.17	Escenario SAZ03-4U.....	106
8.18	Escenario SAZ03-6	107
8.19	Escenario SA03-6@	108
8.20	Escenario SAZ03-6I	108
8.21	Escenario SAZ03-6J.....	109

8.22	Escenario SAZ03-7	110
8.23	Escenario SA03-7@	111
8.24	Escenario SA03-7I.....	111
8.25	Escenario SAZ03-7J.....	112
8.26	Escenario SAZ03-7K.....	113
8.27	Conclusiones y Recomendaciones del análisis preliminar	113
8.28	Análisis hidráulico definitivo en flujo permanente de la conducción “El Sauz” 120	
8.29	Escenario SAZ03-R1	122
8.30	Escenario SAZ03-R2	122
8.31	Escenario SAZ03-R3, definitivo	123
8.32	Análisis transitorio de la conducción “El Sauz”, tramo Rebombeo – Tanques Loma Larga.....	125
8.33	Ubicación de dispositivos de protección	125
8.34	Momento Inercia y celeridad de la onda	127
8.35	Curvas Características	128
8.36	Análisis hidráulico en estado transitorio	129
8.37	Escenario SAZ-R5.....	129
8.38	Escenario SAZ-R6.....	131
8.38.1	Consideraciones	132
8.38.2	Análisis de flujo permanente	132
8.39	Análisis transitorio, escenario SAZ-R6.....	138
8.40	ANEXO 1	141
8.41	ANEXO 2. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA ESCENARIO SAZ03-R3	145
8.42	ANEXO 3. CURVAS CARACTERÍSTICAS EMPLEADAS EN EL CÁLCULO HIDRÁULICO CONSIDERANDO FLUJO TRANSITORIO.	164

8.43 ANEXO 4. TÉRMINOS DE REFERENCIA – ANÁLISIS HIDRÁULICO
ACUEDUCTO EL SAUZ, TRAMO REBOMBEO – TANQUES LOMA LARGA. . 173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Conjunto mínimo de propiedades necesarias para el modelo de componentes de una red de distribución.....	25
Tabla 4.2. Relación de inconsistencias localizadas por el IMTA (Parte uno).....	26
Tabla 4.3. Relación de inconsistencias localizadas por el IMTA (Parte dos).....	27
Tabla 5.1. Criterios de calibración hidráulica aplicados a redes de agua potable [ref. 9.2]	35
Tabla 5.2. Nivel de detalle de lecturas de precisión [ref. 5.2].....	35
Tabla 5.3. Errores en el cálculo del caudal y presión en los pozos profundos.....	37
Tabla 5.4. Errores en el cálculo del caudal y presión en los pozos profundos.....	39
Tabla 5.5. Errores en el cálculo del caudal y presión en los pozos profundos.....	40
Tabla 5.6. Errores en el cálculo del caudal y presión en los pozos profundos.....	41
Tabla 6.1. Distribución de caudales de las Conducciones y pozos profundos.....	50
Tabla 6.2. Características de las zonas de influencia.....	52
Tabla 6.3. Características de las zonas de influencia.....	54
Tabla 6.4. Características de las zonas de influencia.....	55
Tabla 7.1. Tubería nueva en al zona de influencia del Tanque Colina.....	72
Tabla 7.2. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del tanque Panamericana.....	74
Tabla 7.3. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del pozo Ciprés.....	76
Tabla 7.4. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios	79
Tabla 7.5. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios Abajo	79
Tabla 7.6. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Pozo Nombre de Dios Arriba.....	80
Tabla 7.7. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Tanque Santa Rita.....	82
Tabla 7.8. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Tanque San Jorge.....	83
Tabla 1 Curva característica para Bombas 1, 2 y 3.....	89
Tabla 2 Curva característica para Bomba 4.....	90
Tabla 3 Curva característica para Bomba 5.....	90
Tabla 4. Datos de los nodos que serán introducidos en el programa AH [®]	91
Tabla 5. Datos de los tramos de la conducción.....	94
Tabla 6 Descripción de los escenarios considerados.....	97
Tabla 7 Características hidráulicas, administrativas y constructivas de los.....	117
Tabla 8. Relación de nuevos pozos por incorporar a la conducción “El Sauz”, (JMAS, 2008).....	121
Tabla 9 Ubicación de válvulas de admisión y expulsión de aire en el.....	126
Tabla 10 Cálculo del momento de inercia de los equipos ubicados en el sitio conocido como “Rebombeo”- acueducto El Sauz, así como de pozos ubicados en el tramo analizado.....	128
Tabla 11 Resultados en tramos correspondientes al escenario SAZ-R6.....	134
Tabla 12 Resultados en nodos correspondientes al escenario SAZ-R6.....	136

ÍNDICE DE LÁMINAS

Lámina 4.1. Ejecución del trazo por conectividad con fines de detección de inconsistencias	29
Lámina 4.2. Ejemplo de una inconsistencia (red separada y no conectada a una fuente de abastecimiento).....	30
Lámina 4.3. Inconsistencia detectada por conectividad	30
Lámina 4.4. Introducción de planimetría al modelo de simulación en formato InfoWorks®	31
Lámina 4.5. Modelo digital de elevaciones dentro del modelo de simulación en formato InfoWorks®	32
Lámina 5.1. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).....	43
Lámina 5.2. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).....	44
Lámina 5.3. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).....	45
Lámina 5.4. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).....	46
Lámina 5.5. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).....	47
Lámina 6.1. Áreas de influencia de las Conducciones y de los pozos profundos	50
Lámina 6.2. Áreas de influencia actual de Tanques, Pozos y Rebombes.....	52
Lámina 6.3. Zona de Influencia del Tanque Loma Larga	57
Lámina 6.4. Áreas de influencia de los Tanques Cerro Grande, Santa Rita, San Jorge y del Pozo Rancherías.....	59
Lámina 6.5. Áreas de influencia del Tanque Nombre de Dios, Pozos Sacramentos Viejos, Revolución, Nombre de Dios de Arriba y no. 7.....	60
Lámina 6.6. Áreas de influencia de los Tanques Misiones, Jardines y Saucito y de la conducción El Sáuz – Mezquites.....	61
Lámina 6.7. Zonas de influencia de los Tanques Haciendas del Valle, Cumbres, Campanario I y II, Tanques No 1 y No 2 y Pozo Quintas.....	63
Lámina 6.8. Zona de influencia de los Pozos No 8, CIMA, FFCC y Conv., San Felipe, Tanques No. 4 y Coronel y Rebombes Cerro Prieto y Sacramento.	64
Lámina 6.9. Zona de influencia de los Tanques A, B, Filtros, No 7 y Tanque A y Conducción El Sáuz y Pozo Cerro de la Cruz.....	66
Lámina 6.10. Áreas de influencia de LA Conducción Tabalaopa Aldama, El León, Planta Tratadora Sur, Pozos Jardines de Oriente, Robinson, Concordia, Aeropuerto 1, 2 y 3, Rebombeo X1 y Tanque 2 de Octubre.	68
Lámina 6.11. Áreas de influencia de la Conducción Ojos de Chuvistar, Rebombeo Ánimas, Zootecnia y Tanque Esperanza.	69
Lámina 7.1. Distritos hidrométricos en la zona de influencia del Tanque Colina	71
Lámina 7.2. Distritos hidrométricos en el Tanque Colina.....	72
Lámina 7.3. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Panamericana	73
Lámina 7.4. Distritos hidrométricos del tanque Panamericana	74
Lámina 7.5. Distritos hidrométricos del Pozo Ciprés.....	75
Lámina 7.6. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del pozo Ciprés.....	76

Lámina 7.7. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios.....	77
Lámina 7.8. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios Abajo.....	77
Lámina 7.9. Tubería nueva e hidrómetros en la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios.....	78
Lámina 7.10. Tubería nueva e hidrómetros en la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios abajo	78
Lámina 7.11. Zona de influencia del pozo Revolución.....	79
Lámina 7.12. Distritos Hidrométricos de la zona de influencia de Pozos Sacramentos Viejos.....	80
Lámina 7.13. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del pozo Nombre de Dios de Arriba.....	81
Lámina 7.14. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Santa Rita..	82
Lámina 7.15. Tubería nueva e hidrómetros en la zona de influencia del Tanque Santa Rita	83
Lámina 7.16. Distritos Hidrométricos de la zona de influencia del Tanque San jorge..	84
Lámina 7.17. Tubería nueva e hidrómetros en la zona de influencia del Tanque San Jorge	85
Lámina 7.18. Zona de influencias del Pozo Rancherías.....	86
Lámina 7.19. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Cerro Grande	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Perfil del tramo “El Rebombero – Tanques Loma Larga”	89
Ilustración 2 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SA03-4QA.....	98
Ilustración 3 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-0@.....	99
Ilustración 4 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-0I.....	100
Ilustración 5 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-0J.....	100
Ilustración 6. Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-0K.....	101
Ilustración 7 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4.....	101
Ilustración 8 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4@.....	102
Ilustración 9 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4I.....	103
Ilustración 10 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4J.....	103
Ilustración 11 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4K.....	104
Ilustración 12. Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SA03-4Q.....	105
Ilustración 13 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4R.....	105
Ilustración 14 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4S.....	106
Ilustración 15 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4U.....	106
Ilustración 16 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-6.....	107
Ilustración 17 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-6@.....	108
Ilustración 18 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-6I.....	109
Ilustración 19 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-6J.....	110
Ilustración 20 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-7.....	110
Ilustración 21 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-7@.....	111
Ilustración 22 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-7I.....	112
Ilustración 23 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SA03-7J.....	112
Ilustración 24 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-7K.....	113
Ilustración 25. Perfil del tramo analizado “Rebombero – Tanque Loma Larga” – Conducción “El Sauz”	114
Ilustración 26 Perfil del tramo analizado “Rebombero – Tanque Loma Larga” – Conducción “El Sauz”, incluye líneas de cargas piezométricas proyectadas.....	115
Ilustración 27 Niveles reportados por el personal de la JMAS en la Torre de oscilación del tramo Rebombero – Tanque Loma Larga	115
Ilustración 28. Niveles reportados por el personal de la JMAS en el Tanque Unidireccional del tramo Rebombero – Tanque Loma Larga	116
Ilustración 29 Vista en planta de los pozos por incorporar a la conducción El Sauz – Última Propuesta	120
Ilustración 30 Detalle de la vista en planta de los pozos por incorporar, incluye Riberas del Sacramento #7 al #18 y JCAS #6 al #11.	121
Ilustración 31 Envoltorio de presiones máximas, tramo Rebombero – Tanques Loma Larga.....	123
Ilustración 32 Presión dentro de la tubería, Tramo Rebombero – Tanques Loma Larga.	124
Ilustración 33 Envoltorio de presiones máximas vs Resistencia de la tubería, tramo Rebombero – Tanques Loma Larga.....	124
Ilustración 34 Perfil del tramo analizado “Rebombero – Tanque Loma Larga” – Conducción “El Sauz” (ilustración repetida para fines didácticos para el lector).	125
Ilustración 35 Ventana de trabajo del programa de cómputo ARIETE®, desarrollado por el IMTA	127

Ilustración 36 Envoltentes de presión máximas y mínimas presentadas en el tramo analizado. Escenario	129
Ilustración 37 Distribución espacial de los pozos por incorporar al acueducto en operación El Sauz	132
Ilustración 38 Envoltente de presión bajo condiciones de flujo permanente	133
Ilustración 39 Evolución de la presión a lo largo de la conducción El Sauz.....	133
Ilustración 40 Envoltentes de presión máxima, mínima y normal (permanente) producto del análisis transitorio en el tramo Rebombeo – Tanques Loma Larga de la conducción El Sauz.....	138

**DIAGNÓSTICO, MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE SECTORES EN LA
RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE CHIHUAHUA,
CHIHUAHUA**

(PARTE 2. MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE SECTORES)

1. RESUMEN EJECUTIVO

DIAGNÓSTICO, MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE SECTORES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE CHIHUAHUA, CHIHUAHUA

(PARTE 2. MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE SECTORES)

2. INTRODUCCIÓN

La JMAS realizó un convenio de prestación de servicios con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para llevar a cabo el estudio del “Diagnóstico, Modelación y Planificación de Sectores en la Red de Distribución de Agua Potable” y con ello contar con un análisis cuantitativo y cualitativo de la infraestructura con lo que se pretende dirigir la necesidad de inversión en forma jerarquizada.

En esta segunda parte del proyecto “Modelación y Planificación de Sectores” se analiza la situación actual y se proponen soluciones prácticas, económicas y de implementación a corto y mediano plazo, con fines de alcanzar: un funcionamiento óptimo de la red, la reducción de fugas, la redistribución de caudales y presiones, todo ello con un enfoque integral hacia el mejoramiento del servicio de agua a los usuarios y el aprovechamiento óptimo de la infraestructura existente.

2.1 Objetivos

Implementar mediante el uso del programa Infoworks WS, un análisis hidráulico de la red de distribución, que permita evaluar diferentes escenarios de simulación, y con ello definir mejores políticas de operación alcanzando una mayor eficiencia en la infraestructura. Estas simulaciones permiten analizar diversas acciones para mejorar el funcionamiento hidráulico del sistema de agua potable de la ciudad de Chihuahua, así como recuperar y controlar las pérdidas de agua

Además permite delinear esquemas y políticas en cuanto al crecimiento de la red y la mejora de la operación de la misma mediante la división de la red de distribución en sectores definidos (aislados) con lo que se puede cuantificar y en su caso controlar tanto los caudales de entrada y de salida del mismo, lo que facilita la mejora de las eficiencias físicas y comerciales permitiendo optimizar el servicio de distribución de agua potable. Es en este informe en donde se aborda de manera detallada la segunda de las cuatro fases que a continuación se mencionan:

- Primera fase, Diagnostico del sistema
- Segunda fase, Modelación y propuesta de sectorización, plan de acciones para el control y reducción de pérdidas físicas y monitoreo de gastos entre otros
- Tercera fase, Implementación y operación de los sectores definidos
- Cuarta fase, Monitoreo y control del diseño hidráulico propuesto

El desarrollo de las cuatro fases para lograr una mejora en el servicio de agua potable es fundamental, en este proyecto los alcances considera la puesta en marcha de las fases primera y segunda, dejando para una etapa siguiente la implementación de las fases tres y cuatro..

2.1.1 Objetivo general de la modelación de la red de distribución

- Construir un modelo de simulación (INFORWORKS WS), que permite disponer de una herramienta práctica y eficiente para simular el funcionamiento hidráulico de la red de distribución bajo diferentes condiciones operativas actuales y futuras.
- Mejorar el funcionamiento hidráulico de la red de distribución de la ciudad; proponer soluciones prácticas, económicas de implementación a corto plazo, que mejoren el servicio de agua a los usuarios.
- Disponer de un plan con las especificaciones necesarias para la implementación de la sectorización de la red, diseñado con el modelo de simulación.
- Determinar las áreas de influencia de cada una de las fuentes de abastecimiento y regularización del sistema.
- Proponer acciones para la reducción y control de pérdidas volumétricas.
- Conocer los costos y beneficios de las acciones necesarias para implementar el plan de sectorización.
- Plantear recomendaciones y conclusiones.
- Capacitación al personal en el manejo de la herramienta de simulación Infoworks WS.

2.2 Metodología

Construcción del modelo de simulación hidráulica de la red de distribución

Con la ayuda del modelo calibrado de la red de distribución, desarrollado en la plataforma de Infoworks WS, analizar a nivel de zona de influencia de tanques y/o pozos que suministran directo a red, a través de mediciones de campo de presión y de caudal, lo siguiente:

- Funcionamiento de la red de distribución de agua potable, en flujo permanente con la finalidad de proponer cambios en la operación y mejorar la distribución caudales y presiones.
- Análisis del flujo transitorio de la conducción El Sáuz mediante el programa de simulación ARIETE, con la finalidad de proponer medidas de protección contra este fenómeno transitorio, además de evaluar el impacto de nuevas incorporaciones de pozos profundos en la misma.
- Determinación de la viabilidad técnica-económica de algunas medidas para la optimización hidráulica y física del sistema de agua potable.

2.3 Recopilación y análisis de la información disponible

Para la construcción del modelo de la red de distribución se recopiló la información existente de las diferentes áreas técnicas como del área comercial de la JMAS de la ciudad de Chihuahua. Esta información se analizó para conocer con mayor detalle el funcionamiento del sistema en su conjunto, además de las características particulares y puntos críticos del sistema. El IMTA recopiló de los archivos de la JMAS, la información listada a continuación:

- Plano digital en planta de Líneas de Conducción y Distribución de la red hidráulica de Agua Potable (todos los diámetros y longitudes). elaborado por la JMAS, actualizado a diciembre de 2007 en formato de autocad.
- Plano digital de Localización de pozos, tanques y rebombes elaborado por la JMAS, actualizado a enero del 2008.
- Plano digital de Tandeos por zonas de influencia elaborado por la JMAS, actualizado a enero del 2008.
- Curvas de operación de 90 equipos de bombeo de los 133 equipos de bombeo.
- Base de datos en formato Excel del catastro de tanques incluye: nombre, tipo, coordenadas UTM, ubicación con calle y colonia, elevación sobre el nivel del mar en que se localiza el tanque, material de construcción, geometría, diámetros de las tuberías de entrada y salida del tanque, con dicha información el IMTA calculó la curva elevaciones capacidades de cada tanque.
- Base de datos en formato Excel de los rebombes incluye: nombre, tipo, coordenadas UTM, ubicación con calle y colonia, elevación sobre el nivel del mar y características de los equipos de bombeo.
- Base de datos en formato Excel de los equipos de bombeo de pozos profundos que incluye: nombre, gasto reducido, nivel estático y dinámico del acuífero, columna, sumergencia, gasto promedio, presión de suministro a la red, gasto específico, abatimiento, subestación, HP, amperes, kwh, potencia de operación, eficiencia actual, factor de potencia, fecha en que se realizó el análisis del equipo y eficiencia de la bomba.

2.4 Conclusiones y Recomendaciones

Se contó con información suficiente para la construcción del modelo de simulación, aunque en algunos pozos profundos no se detalla su área de suministro ya que éstos quedan dentro de la zona de influencia de algún tanque superficial, como es el caso del pozo CTU Chichontepec, Panamericana 6 que quedan dentro de la zona del Tanque Panamericana o del Pozo XX aniversario 1 que está dentro de la zona del Tanque Chihuahua 2000. De las curvas de operación de los pozos profundos, algunas de ellas habían cambiado por lo que fue necesario construirlas con la herramienta del Infoworks WS (es decir se propuso una curva de operación teórica).

3. MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DEL ÁREA DE SIMULACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE.

3.1 Justificación

Como parte de los trabajos y resultados obtenidos del convenio de colaboración JMAS/IMTA/HC0751, denominado Diagnóstico, modelación y planificación de sectores en la red de distribución de agua potable de Chihuahua, Chihuahua, llevado a cabo entre la JMAS y el IMTA, se realizó la construcción del modelo de la red de distribución de la ciudad de Chihuahua, este modelo se simula bajo la plataforma de Infoworks WS, uno de los softwares más avanzados en la simulación de redes.

Dentro de los alcances de dicho convenio la JMAS adquirió una licencia del software para nudos ilimitados con lo que es necesario que se conforme un área dentro de la Junta para que opere y actualice el modelo desarrollado por el IMTA, con la finalidad que este sirva como referencia para simular nuevas incorporaciones de redes y fuentes de suministro a la red de distribución y conocer con anticipación cuál será el impacto en la misma

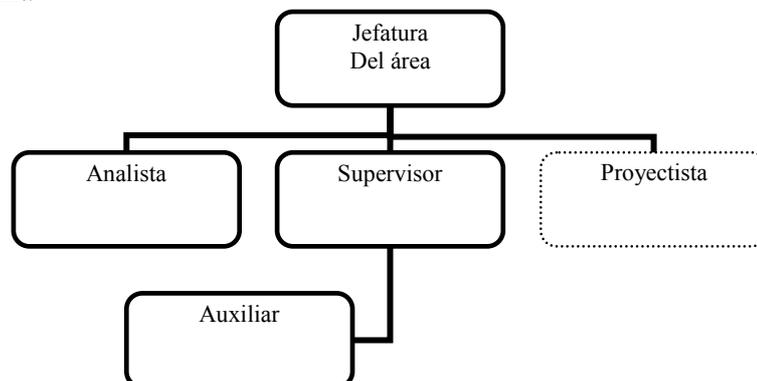
3.2 Objetivo general del área de simulación de redes

Actualizar y operar el modelo de la red de distribución creado en Infoworks WS, para conocer el impacto que se tendrá en el sistema de agua potable, la incorporación de nuevas fuentes de suministro y nuevas zonas de la ciudad.

3.2.1 Objetivos específicos.

- Conocer el impacto de la incorporación de las nuevas fuentes de suministro a la red de distribución.
- Diseñar los diámetros de las tuberías nuevas que se vayan a instalar en la red.
- Supervisar y mejorar las zonas de baja presión localizadas en la ciudad.
- Mantener actualizado el modelo de simulación de la red en Infoworks WS.
- Evaluar las capacidades de los tanques de regulación y almacenamiento nuevos.
- Diseñar o evaluar la capacidad de los cárcamos de bombeo y booster nuevos.

3.2.2 Organigrama



3.3 Perfiles del personal.

3.3.1 Jefatura de Área

Tendrá la responsabilidad de la actualización del modelo de simulación, así como de analizar y proponer escenarios de funcionamiento.

Así como la comunicación con los departamentos de Suministro, Red Hidráulica, Planeación e Ingeniería, y Coordinación de Planeación.

Deberá presentar revisiones periódicas (estacional)

Conocimientos básicos

- a) Hidráulica de conductos a presión (redes de agua potable).
- b) Funcionamiento de equipos de bombeo (comprensión de la curva característica de una bomba).
- c) Diseño de redes de agua potable (cálculo de diámetros, pérdidas de carga, etc.).

Conocimiento del sistema de agua potable.

- a) Conocimiento sobre la conformación de la red de agua potable, de las diferentes zonas de operación (norte, centro, presas y sur).
- b) Conocimiento detallado sobre la forma en que se opera la red desde el centro de control (apertura y cierre de válvulas, niveles en los tanques, gastos de suministro a la red, gastos en las Conducciones y sus puntos de entrega).
- c) Conocimiento de la infraestructura de la red de agua potable tanto de la que esta en operación como de la que se tiene fuera de operación (Tanques y sus características, pozos profundos, baterías de pozos, estaciones y cárcamos de bombeo y boosters).

Conocimientos generales.

- a) Capacitación en Infoworks WS (en proceso a impartirse por parte del IMTA y depende de la persona que seleccione la JMAS).
- b) En Simulación de redes de agua potable por medio de EPANET, SCADRED u otro paquete de simulación de redes de agua potable, esto facilita la comprensión y el manejo de Infoworks WS.
- c) Conocimiento de Autocad, en el manejo de layers, líneas, polígonos, etc.
- d) Conocimiento de nivel medio de Arc View, en el manejo de puntos, líneas, polígonos, bases de datos, para la interfase del sistema de información geográfica que maneja el Infoworks WS.

3.3.2 Analista

Tendrá la responsabilidad de integrar la información de operación y la de proyecto, en la actualización del modelo de simulación, verificando con el Supervisor las inconsistencias que resulten en gabinete.

La información será proporcionada por los departamentos de Suministro, Red Hidráulica, Planeación e Ingeniería, y Coordinación de Planeación.

En forma periódica para su integración (15 días) en fechas establecidas, con la finalidad de los siguientes 15 días contar con una revisión hidráulica de la integración de esa información.

Conocimientos básicos

- a) Hidráulica de conductos a presión (redes de agua potable).
- b) Funcionamiento de equipos de bombeo (comprensión de la curva característica de una bomba).
- c) Diseño de redes de agua potable (cálculo de diámetros, pérdidas de carga, etc

Conocimiento del sistema de agua potable.

- a) Conocimiento sobre la conformación de la red de agua potable, de las diferentes zonas de operación (norte, centro, presas y sur).
- b) Conocimiento detallado sobre la forma en que se opera la red desde el centro de control (apertura y cierre de válvulas, niveles en los tanques, gastos de suministro a la red, gastos en las Conducciones y sus puntos de entrega).

Conocimientos generales.

- a) Capacitación en Infoworks WS (en proceso a impartirse por parte del IMTA y depende de la persona que seleccione la JMAS).
- b) En Simulación de redes de agua potable por medio de EPANET, SCADRED u otro paquete de simulación de redes de agua potable, esto facilita la comprensión y el manejo de Infoworks WS.
- c) Conocimiento de Autocad, en el manejo de layers, líneas, polígonos, etc.
- d) Conocimiento de nivel medio de Arc View, en el manejo de puntos, líneas, polígonos, bases de datos, para la interfase del sistema de información geográfica que maneja el Infoworks WS.

3.3.3 Supervisor

Tendrá la responsabilidad de revisar y proporcionar información detallada de campo, de los cambios en la operación de la red de distribución, al Analista para integrarla al modelo de simulación.

Debido a la complejidad del sistema se recomienda que el Supervisor cuente con la ayuda de un auxiliar para que apoye en las actividades de actualización en los procesos de operación de la red de distribución y cambios que se sucedan debido a problemas de fugas o paros en el sistema.

El supervisor trabajará de manera conjunta con los departamentos de Suministro, Red Hidráulica, y Construcción para obtener la información necesaria sobre la operación de la red y esta será integrada al modelo de simulación.

Conocimientos básicos:

- a) Hidráulica de conductos a presión (redes de agua potable).
- b) Conocimiento sobre la conformación de la red de agua potable, de las diferentes zonas de operación (norte, centro, presas y sur).
- c) Conocimiento detallado sobre la forma en que se opera la red desde el centro de control (apertura y cierre de válvulas, niveles en los tanques, gastos de suministro a la red, gastos en las Conducciones y sus puntos de entrega).
- d) Conocimiento de la infraestructura de la red de agua potable tanto de la que esta en operación como de la que se tiene fuera de operación (Tanques y sus características, pozos profundos, baterías de pozos, estaciones y cárcamos de bombeo y boosters

3.3.4 Proyectista

El objetivo principal es de proyectar, analizar y verificar de manera conjunta con el departamento de Plantación e Ingeniería los proyectos de redes nuevas, ampliaciones y cambios de diámetros de tuberías, capacidad e instalación de equipos de bombeos nuevos y cálculo de la capacidad y dimensiones de tanques superficiales y elevados.

La información de los proyectos deberá ser proporcionada por el departamento de Plantación e Ingeniería de manera rutinaria para que estos sean integrados y evaluados dentro del modelo de simulación Infoworks WS.

Conocimientos básicos

- d) Hidráulica de conductos a presión (redes de agua potable).
- e) Funcionamiento de equipos de bombeo (comprensión de la curva característica de una bomba).
- f) Diseño de redes de agua potable (cálculo de diámetros, pérdidas de carga, etc).
- g) Manual de diseño de redes de la CNA.

Conocimiento del sistema de agua potable.

- c) Conocimiento sobre la conformación de la red de agua potable, de las diferentes zonas de operación (norte, centro, presas y sur).
- d) Conocimiento detallado sobre la forma en que se opera la red desde el centro de control (apertura y cierre de válvulas, niveles en los tanques, gastos de suministro a la red, gastos en las Conducciones y sus puntos de entrega).
- e) Conocimiento de los proyectos que se planean realizar en la Red de distribución, esta actividad se debe llevar a cabo de manera conjunta con el Departamento de Plantación e Ingeniería de la JMAS.

Conocimientos generales.

- e) Capacitación en Infoworks WS (en proceso a impartirse por parte del IMTA y depende de la persona que seleccione la JMAS).
- f) En Simulación de redes de agua potable por medio de EPANET, SCADRED u otro paquete de simulación de redes de agua potable, esto facilita la comprensión y el manejo de Infoworks WS.
- g) Conocimiento de Autocad, en el manejo de layers, líneas, polígonos, etc.
- h) Conocimiento de nivel medio de Arc View, en el manejo de puntos, líneas, polígonos, bases de datos, para la interfase del sistema de información geográfica que maneja el Infoworks WS.

3.3.5 Relación con las diferentes áreas de la JMAS

- La Coordinación de Planeación, para planificar los nuevos crecimientos urbanos dentro de la ciudad de Chihuahua y calcular la factibilidad de construcción de nuevas Conducciones o incorporación de nuevas fuentes de suministro.
- La coordinación de Operación, con la finalidad de calcular o evaluar cambios en la manera de operar algún nuevo sector de la ciudad, en la instalación y construcción de cárcamos de bombeo, en el impacto que tendrá en la ciudad la falla de una fuente de suministro, etc.
- El Departamento de planeación e ingeniería, para contar con los planos de la red de distribución en Autocad actualizados, la planimetría de la ciudad, e incorporación de nuevas zonas urbanas al modelo de simulación o para ayudar en el diseño de tubería nueva que se instalará en alguna zona de la ciudad.
- El Departamento de suministro, para conocer los gastos de suministro a la red, los horarios de operación de los equipos de bombeo, la incorporación de nuevas fuentes de suministro a la red, los consumos de energía eléctrica en los pozos y cárcamos de bombeo.
- El Departamento de Red Hidráulica, para actualizar el catastro de la red, corregir en el Infoworks, los cambios que se lleven a cabo en la red de distribución, operación de válvulas de seccionamiento y de regulación de presión.
- Departamento Comercial, para determinar el número de usuarios por sector comercial y con esto contar con una mejor distribución de agua en la ciudad.

3.3.6 Recursos materiales

- Un vehiculo para el área como mínimo (verificación y reconocimiento de campo)
- Dos computadora con capacidad mínima de dos gigas de memoria ram y un procesador Intel duo core o similar de 1.8 ghz. Ya que por le tamaño del archivo que contiene el modelo de la red de distribución (420000 Kb), es necesario una computadora con dicha capacidad.
- Acceso a Internet para una mejor comunicación con las diversas áreas de la JMAS o con el personal del IMTA.

3.3.7 Jefe del área y Analista

- Una oficina donde se instale el personal designado por la JMAS.
- Acceso a las mediciones de campo que realiza el departamento de suministro tanto de (caudal, presión).

- Acceso a la información generada en el Centro de Control de operación de válvulas, registro de niveles en tanques, caudales y presiones en el sistema de agua potable.

3.4 Conclusiones

Debido a las dimensiones del modelo de simulación y que con base en éste se definirá la sectorización de la red de distribución, además de la gran cantidad de información que es necesario conocer y manejar, la JMAS deberá crear el departamento de modelación de redes con las características antes descritas, en las que se incluya la adquisición de computadoras, al menos dos.

La persona encargada de dicho departamento deberá capacitarse en el manejo del software Infoworks WS, licencia que la JMAS ya adquirió y plataforma en la que esta construido su modelo de simulación.

4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

4.1 Modelo de simulación

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 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, y la aparición de los modelos de calidad del agua en redes de distribución a finales de la década de los ochentas.

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

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

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

Cesario (1991) estudió distintos modelos de simulación hidráulica en redes de distribución utilizados en distintos rubros como la planificación y la ingeniería, a continuación citan algunos ejemplos de ello:

1. Modelos de simulación en redes de distribución empleados para analizar el monto de las inversiones que se requerirán para abastecer consumidores adicionales y mantener los servicios existentes en el futuro. También son empleados para la renovación de componentes específicos del sistema, como tanques y estaciones de bombeo.
2. Modelos de simulación de redes que se utilizan para localizar y determinar las dimensiones de componentes, como nuevas tuberías, tanques de almacenamiento, estaciones de bombeo, etc.
3. Control de bombas, análisis del rendimiento de tanques ó depósitos, y optimización energética.
4. La extensión a los modelos hidráulicos permiten analizar un conjunto de aspectos relacionados con la calidad del agua. Se puede determinar cómo el agua de fuentes diferentes, se mezcla a través de la red (p.e. modelación de la red de Chihuahua, Chih), también cómo ciertos cambios de operación pueden reducir el tiempo de residencia del agua dentro de la red de distribución, y qué pasos pueden tomarse para mantener

suficiente cloro residual, sin excesivos niveles de formación de subproductos de desinfección a través del sistema.

5. Estudios de caudales para incendios (fireflows), para determinar si existen caudales y presiones adecuados para los objetivos que disminuyan y erradiquen los incendios.

6. Los estudios de vulnerabilidad se utilizan para investigar la susceptibilidad de una red ante incidentes no deseados y desconocidos en el futuro, como son, pérdida de potencia eléctrica y rotura de colectores principales.

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

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

En la Tabla 4.1 se describe los elementos o componentes mínimos que se requiere en la construcción de un modelo de simulación. En ocasiones no se requerirán de todos los descritos en la tabla debido a la operación actual de la red por analizar, por ejemplo la omisión de tanques y depósitos, al existir únicamente bombeo directo a través de pozos.

Tabla 4.1. Conjunto mínimo de propiedades necesarias para el modelo de componentes de una red de distribución

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

Para el caso del proyecto de modelación hidráulica de la red de distribución de la ciudad de Chihuahua (JMAS). La Junta contribuyó con la siguiente información:

- Información general de la zona (población, consumo, ubicación de las fuentes de abastecimiento, etc).
- Planos digitales en AutoCAD[®] de la zona de estudio con el trazo de la red.

- Datos operacionales de las bombas.
- Registros históricos de los caudales.

Con base en la información proporcionada por la Junta Municipal de Agua Potable y Saneamiento (JMAS), se analizaron los datos hidráulicos y geométricos de la red de distribución. Enseguida se describirá con detalle cada uno de los puntos mencionados con anterioridad:

Planos digitales en AUTOCAD®

Una vez recopilada la información general proporcionada por la JMAS, se procedió a obtener los planos digitales del catastro de la red que representarán la red de distribución de agua potable de la ciudad.

La actualización de los planos de la red del sistema de agua potable se realiza con el análisis de los planos digitales proporcionados por JMAS, se encontró que los planos consideran coordenadas arbitrarias lo que dificulta el manejo de los mismos. Por lo que se recomienda a la JMAS cambiarlos a coordenadas UTM, lo que permite ligar los mismos con información disponible de otras dependencias como: INEGI o IMPLAN, entre otros.

Con el apoyo la oficina de Fotogrametría de la JMAS se obtuvo la planimetría georeferenciada de la ciudad de Chihuahua. Previamente a la introducción de la planimetría dentro del modelo de simulación, personal del IMTA desarrolló un algoritmo para localizar tuberías encimadas o tramos de tuberías sin conexión a una fuente de abastecimiento. Esto se realizó con el objetivo de introducir información al modelo de simulación con la mayor confiabilidad posible.

4.2 Detección de inconsistencias (Primera etapa)

Con base en la primera revisión al plano de la red de distribución de la ciudad de Chihuahua, Uno de los problemas encontrados en la actualización de los planos de la red, ha sido que la integración de las zonas nuevas y modificación de tramos de red al plano, se tienen algunos errores de enlace.

En esta primera revisión se ubicaron un total de 105 inconsistencias. La mayoría de ellas se deben a tuberías encimadas, válvulas sin conexión, tramos o redes separadas (sin conexión a la posible fuente de abastecimiento), tubería inconclusa (falta colocar simbología de tapa ciega), incertidumbre sobre la ubicación exacta de válvulas y tramos de tubería.

Derivado de esta actividad el IMTA entregó un plano ubicando las inconsistencias a Oficina de Fotogrametría, esto con el objetivo de esclarecer cada una de ellas. De forma posterior, esto se aclaró y corrigió más del 50% de los detalles encontrados por el IMTA (ver Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Relación de inconsistencias localizadas por el IMTA (Parte uno)

#	Inconsistencia	Turnado A	#	Inconsistencia	Turnado A
1	1	Corregido por Fotogrametría	32	62	Corregido por Fotogrametría
2	2	Corregido por Fotogrametría	33	63	Corregido por Fotogrametría

3	3	Corregido por Fotogrametría	34	64	Corregido por Fotogrametría
4	4	Corregido por Fotogrametría	35	66	Corregido por Fotogrametría
5	5	Corregido por Fotogrametría	36	67	Corregido por Fotogrametría
6	6	Corregido por Fotogrametría	37	68	Corregido por Fotogrametría
7	7	Corregido por Fotogrametría	38	69	Corregido por Fotogrametría
8	8	Corregido por Fotogrametría	39	70	Corregido por Fotogrametría
9	9	Corregido por Fotogrametría	40	71	Corregido por Fotogrametría
10	10	Corregido por Fotogrametría	41	72	Corregido por Fotogrametría
11	11	Corregido por Fotogrametría	42	74	Corregido por Fotogrametría
12	13	Corregido por Fotogrametría	43	75	Corregido por Fotogrametría
13	14	Corregido por Fotogrametría	44	77	Corregido por Fotogrametría
14	15	Corregido por Fotogrametría	45	78	Corregido por Fotogrametría
15	17	Corregido por Fotogrametría	46	79	Corregido por Fotogrametría
16	23	Corregido por Fotogrametría	47	81	Corregido por Fotogrametría
17	35	Corregido por Fotogrametría	48	82	Corregido por Fotogrametría
18	38	Corregido por Fotogrametría	49	84	Corregido por Fotogrametría
19	48	Corregido por Fotogrametría	50	85	Corregido por Fotogrametría
20	49	Corregido por Fotogrametría	46	86	Corregido por Fotogrametría
21	50	Corregido por Fotogrametría	47	89	Corregido por Fotogrametría
22	51	Corregido por Fotogrametría	48	93	Corregido por Fotogrametría
23	52	Corregido por Fotogrametría	49	95	Corregido por Fotogrametría
24	53	Corregido por Fotogrametría	50	97	Corregido por Fotogrametría
25	54	Corregido por Fotogrametría	51	98	Corregido por Fotogrametría
26	55	Corregido por Fotogrametría	52	102	Corregido por Fotogrametría
27	56	Corregido por Fotogrametría	53	103	Corregido por Fotogrametría
28	58	Corregido por Fotogrametría	54	104	Corregido por Fotogrametría
29	59	Corregido por Fotogrametría	55	105	Corregido por Fotogrametría
30	60	Corregido por Fotogrametría	56	39	Nada que Corregir
31	61	Corregido por Fotogrametría			

El resto de las inconsistencias que no fue posible corregirlas en gabinete por la oficina de Fotogrametría, debido principalmente a que no se debían a errores en gabinete, fueron turnadas al departamento de Red Hidráulica de la propia JMAS (ver Tabla 4.3), para su verificación en campo.

Tabla 4.3. Relación de inconsistencias localizadas por el IMTA (Parte dos)

#	Inconsistencia	Turnado A	#	Inconsistencia	Turnado A
1	12	Corregir por Red Hidráulica	24	42	Corregir por Red Hidráulica
2	16	Corregir por Red Hidráulica	25	43	Corregir por Red Hidráulica
3	18	Corregir por Red Hidráulica	26	44	Corregir por Red Hidráulica
4	19	Corregir por Red Hidráulica	27	45	Corregir por Red Hidráulica
5	20	Corregir por Red Hidráulica	28	46	Corregir por Red Hidráulica

6	21	Corregir por Red Hidráulica	29	47	Corregir por Red Hidráulica
7	22	Corregir por Red Hidráulica	30	57	Corregir por Red Hidráulica
8	24	Corregir por Red Hidráulica	31	65	Corregir por Red Hidráulica
9	25	Corregir por Red Hidráulica	32	73	Corregir por Red Hidráulica
10	26	Corregir por Red Hidráulica	33	76	Corregir por Red Hidráulica
11	27	Corregir por Red Hidráulica	34	80	Corregir por Red Hidráulica
12	28	Corregir por Red Hidráulica	35	83	Corregir por Red Hidráulica
13	29	Corregir por Red Hidráulica	36	87	Corregir por Red Hidráulica
14	30	Corregir por Red Hidráulica	37	88	Corregir por Red Hidráulica
15	31	Corregir por Red Hidráulica	38	90	Corregir por Red Hidráulica
16	32	Corregir por Red Hidráulica	39	91	Corregir por Red Hidráulica
17	33	Corregir por Red Hidráulica	40	92	Corregir por Red Hidráulica
18	34	Corregir por Red Hidráulica	41	94	Corregir por Red Hidráulica
19	36	Corregir por Red Hidráulica	42	96	Corregir por Red Hidráulica
20	37	Corregir por Red Hidráulica	43	99	Corregir por Red Hidráulica
21	38	Corregir por Red Hidráulica	44	100	Corregir por Red Hidráulica
22	40	Corregir por Red Hidráulica	45	101	Corregir por Red Hidráulica
23	41	Corregir por Red Hidráulica			

- Actualmente la JMAS está realizando los levantamientos de los inventarios de ubicación georeferenciada de todas las estructuras como son tanques, rebombeos, pozos etc, esto mediante el uso de un “gps” estático cuyo sistema de referencia es el wgs84 en coordenadas UTM.
- Se dispone de la base de datos proporcionada por la JMAS, de cuya información se obtuvieron las estadísticas anuales de volúmenes entregados a la red de distribución.
- Se tuvieron datos de las curvas de operación de los equipos de bombeo de los pozos que suministran agua a la ciudad.

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

4.3 Detección de inconsistencias (Segunda etapa)

Una vez esclarecidas las inconsistencias detectadas en la primera etapa, personal del IMTA realizó una segunda revisión al plano de la red de distribución.

La metodología a seguir en esta etapa es la siguiente:

- Traslado de la información contenido en el plano de la red en formato *.DWG (AutoCAD), al modelo Infoworks WS[®] (ver Lámina 4.1).
- Aplicación de la herramienta de trazo por conectividad dentro del programa InfoWorks[®] (ver Lámina 4.2).

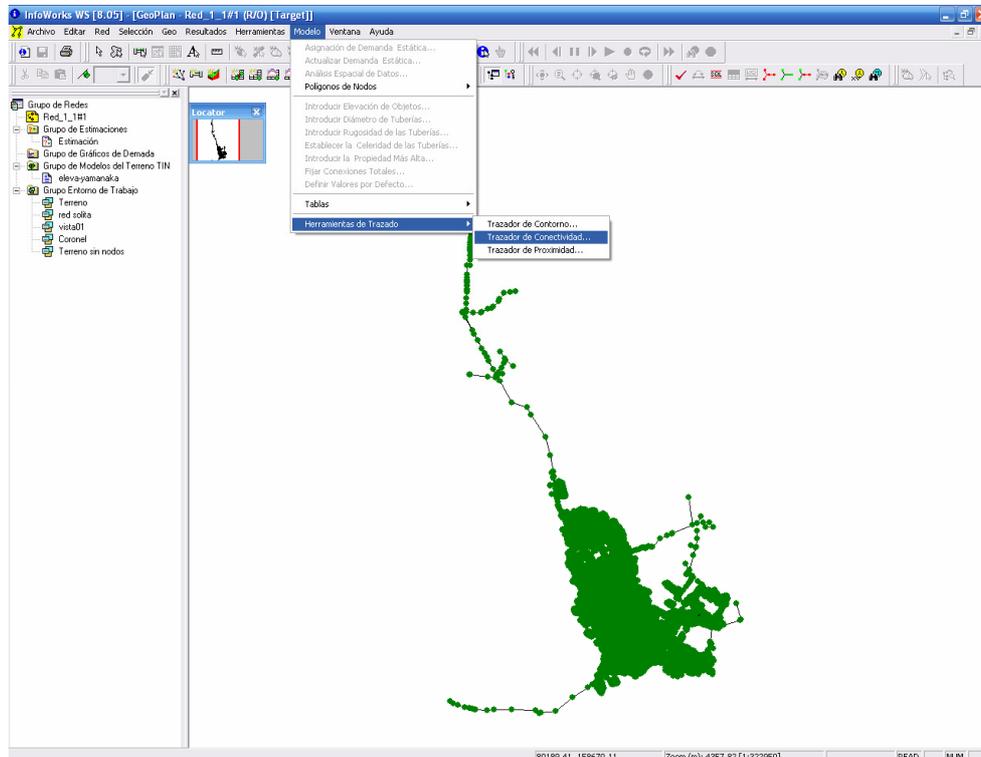


Lámina 4.1. Ejecución del trazo por conectividad con fines de detección de inconsistencias

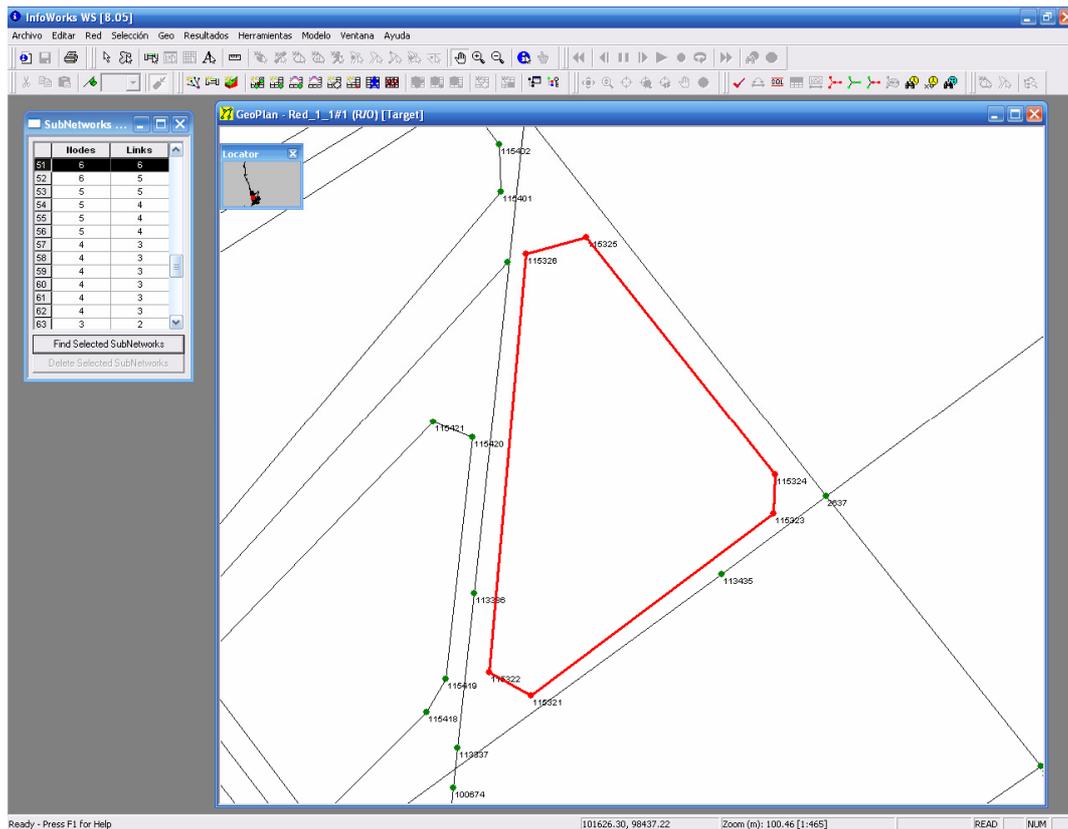


Lámina 4.2. Ejemplo de una inconsistencia (red separada y no conectada a una fuente de abastecimiento)

Con base en ello en la segunda etapa se detectaron un total de 73 inconsistencias (ver Lámina 4.3), la mayoría de ellas debido al trazo impreciso de la red de distribución.

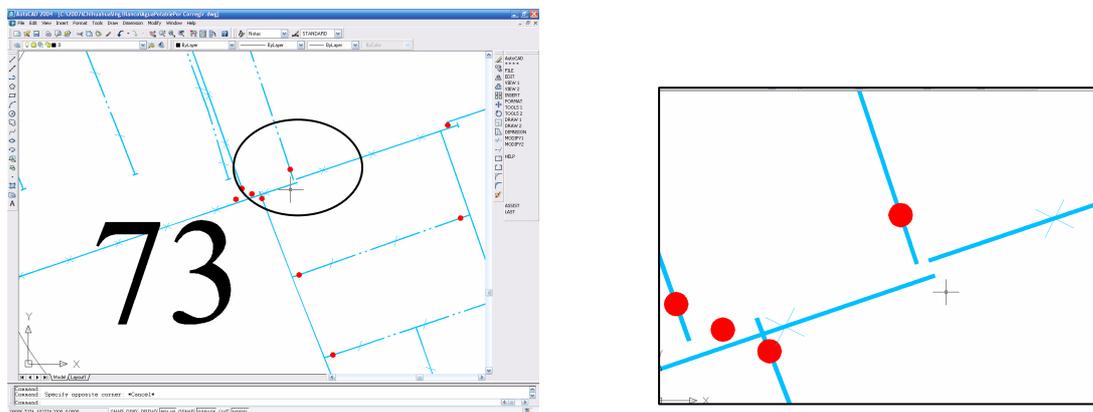


Lámina 4.3. Inconsistencia detectada por conectividad

Es importante mencionar que el 100% de las inconsistencias encontradas por el IMTA en la segunda etapa fueron atendidas y resueltas por el departamento de Fotogrametría.

4.4 Introducción de planimetría dentro del modelo de simulación

El trazo de la red de distribución de la ciudad de Chihuahua se incorporó dentro del sistema InfoWorks® desarrollado por la empresa Wallingford Software (ver Lámina

4.4). Posteriormente, se revisan las interconexiones de la red, así como la detección de posibles errores o inconsistencias en el plano otorgado por el organismo operador. La red de agua se conformó por 40465 tramos y 35829 nodos. En cada tramo se tiene el diámetro, longitud y coeficiente de rugosidad.

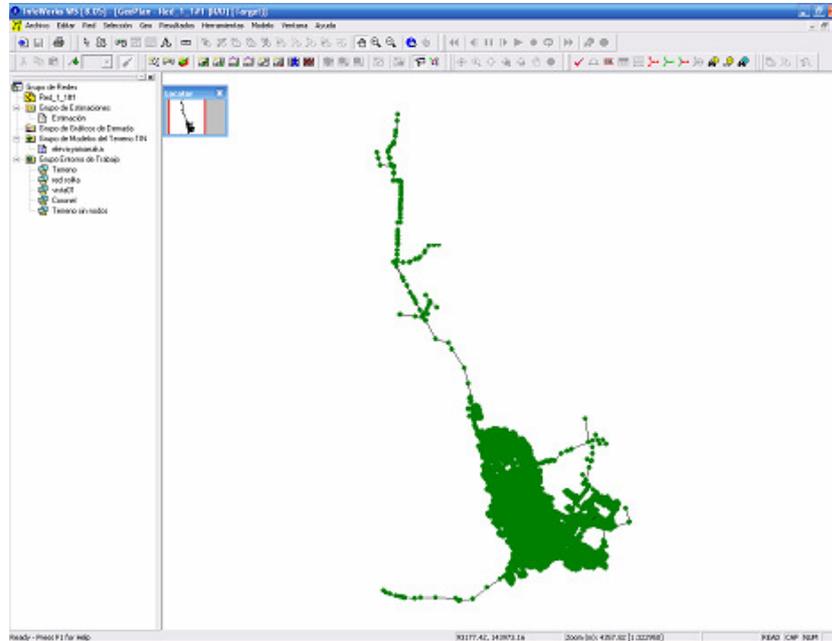


Lámina 4.4. Introducción de planimetría al modelo de simulación en formato InfoWorks®

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

Introducida la topología de la red de distribución en el modelo de simulación, compuesta por tramos y nodos, el siguiente paso es colocar la elevación correspondiente a cada uno de los nodos que componen la red. Para ello nuevamente con el apoyo del departamento de Fotogrametría se obtuvo un plano con las curvas de nivel a cada cinco metros.

Empleando los programas de cómputo ArcView® y GISRED® el plano con curvas de nivel se transformó en un archivo con formato TIN, el cual representa el modelo digital de elevaciones (MDE). A partir de ello se realiza la interpolación entre curvas y con ello el cálculo directo de la elevación en cada uno de los nodos (ver Lámina 4.5).

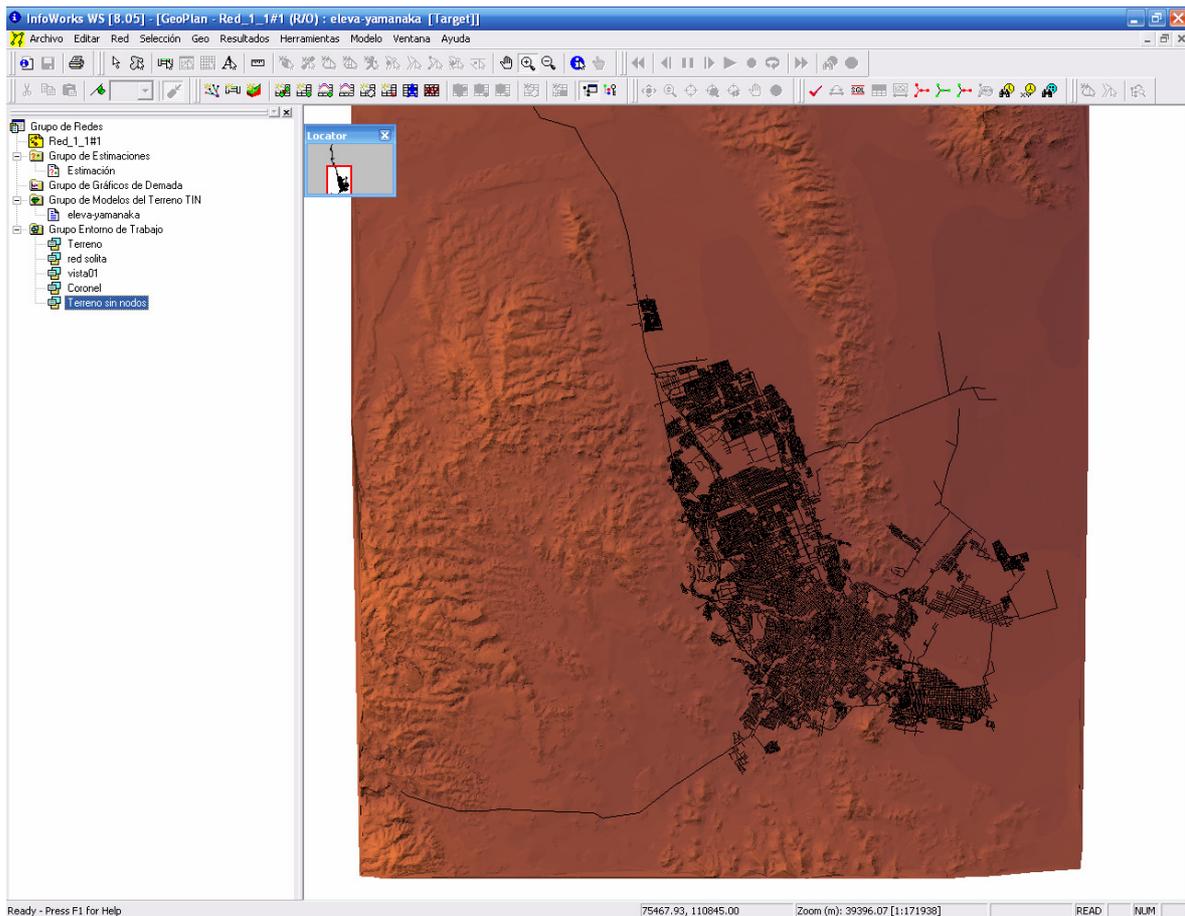


Lámina 4.5. Modelo digital de elevaciones dentro del modelo de simulación en formato InfoWorks®

4.5 Conclusiones

Se introdujo el total de la planimetría (nodos y tramos) dentro del modelo de simulación en formato InfoWorks WS®. El modelo cuenta con 35,829 nodos y 40,465 tramos, lo que lo convierte en el modelo de simulación implementado con mayor dimensión en México y uno de los más grandes a nivel Mundial.

Se construyó el modelo digital de elevaciones (MDE), lo que permite contar con la topografía con isótopas a cada 50 centímetros.

Este MDE permite incorporar la elevación sobre el nivel del mar en cada nodo del modelo de manera automática, lo que permite un ahorro en el tiempo de captura del modelo.

Se detectaron y corrigieron 105 inconsistencias (primera etapa) en el plano de la red de distribución de agua de la ciudad de Chihuahua. El 50% de las inconsistencias fueron atendidas por el departamento de Fotogrametría, el resto por el departamento de Red Hidráulica.

Se detectaron de 73 inconsistencias (segunda etapa) las cuales fueron atendidas y resueltas en su totalidad por el departamento de Fotogrametría.

Como conclusión final, se cuenta con el modelo de simulación de la red de distribución completo, incluye la totalidad de: tramos y nodos de la red, tanques elevados y superficiales, pozos profundos, curvas características de las bombas, nivel dinámico y estático de pozos, horarios de operación de los equipos de bombeo, zonas de tandeo, y llenado y vaciado de tanques.

5. CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA RED

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

De forma resumida se puede describir el proceso de calibración hidráulica de la forma siguiente [ref. 9.1]:

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

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

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

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

5.1 Evaluación de la simulación del modelo hidráulico

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

En los Estados Unidos, se ha sugerido una serie de criterios mínimos para la calibración hidráulica, esto es de acuerdo al objetivo que se presente (Ver Tabla 5.1); **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En la Tabla 5.2 se describe el nivel de detalle.

Tabla 5.1. Criterios de calibración hidráulica aplicados a redes de agua potable [ref. 9.2]

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

Tabla 5.2. Nivel de detalle de lecturas de precisión [ref. 5.2]

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

Es importante mencionar que los criterios expuestos en las Tabla 5.1 y Tabla 5.2 no son normas sino sugerencias como la ha mencionado el comité de aplicaciones computacionales de la ingeniería (Engineering computer application committee).

En general en Estados Unidos, por ejemplo, no existen estándares en cuanto a modelación se refiere. Algunos expertos en modelación coinciden y determinan que de acuerdo al objetivo que se requiera será el nivel de modelación, como lo presentado en la Tabla 5.2.

Las diferencias entre los resultados del modelo y las mediciones se puede deber a múltiples factores, entre los que se pueden citar algunos [ref. 5.3]:

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

Los errores en los equipos de medición y en las lecturas pueden ser minimizados desarrollando un cuidadoso programa de mediciones. Sin embargo, la mayoría de los factores que afecta los resultados del modelo requieren de la aplicación de las fases del proceso de calibración: 1) Precalibrado del modelo, 2) Ajuste fino del modelo y 3) Análisis de sensibilidad [ref. 5.1].

5.2 Precalibrado del modelo.

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

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

Para el precalibrado, se realizó en conjunto con la JMAS, la actualización de; catastro de la red y situación de las válvulas de seccionamiento, operación y localización de válvulas reductoras de presión, horarios de operación de válvulas On-Off, horario de llenado de tanques y zonas de tandeo de la ciudad (éstos se muestran en el diagnóstico del sistema).

5.3 Calibrado fino del modelo

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

Este ajuste se orientan hacia los dos tipos de simulación: la estática y la de periodos extendidos. Para el caso de la calibración en la simulación estática los parámetros del modelo se ajustan para que se cumplan las presiones y caudales asociados a observaciones puntuales en el tiempo. Por el contrario para la calibración en simulación de periodos extendidos, los parámetros se ajustan para que se verifiquen las presiones y caudales cuando estos son variables en el tiempo, así como las trayectorias en los niveles de los tanques o depósitos.

El cambio de las rugosidades tiene un impacto más importante en la calibración para la simulación estática. En cambio, las demandas en los nodos, tendrá un impacto más importante en la calibración de la simulación en periodos extendidos.

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

También se seleccionaron 400 puntos para medición de presiones en toda la ciudad, se registró su variación en periodos de 15 minutos durante 24 horas, estas mediciones se dieron de alta en el modelo de simulación INFOWORKS WS, que sirvieron como referencia para la calibración fina del mismo.

5.4 Análisis de sensibilidad

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

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

5.5 Calibración del modelo de simulación de la red de Chihuahua (precalibrado)

Como una primera parte se realizó el precalibrado de la red en la que se ajustaron los caudales y presiones de todos los pozos profundos localizados tanto en las baterías de pozos como los que se encuentran dentro de la red de distribución, para el ajuste de los caudales y presiones se consideró su zona de influencia, de acuerdo a lo señalado por el departamento de Red hidráulica y a los datos proporcionados de caudales y presiones por el Departamento de Suministro de la JMAS.

En las Tabla 5.3 a Tabla 5.6, se muestran los valores de los caudales y presiones simulados en el Infoworks y los medidos en campo por el departamento de Suministro de la JMAS, en general el error promedio para todos los pozos en cuanto al caudal es del 22% y para la presión es del 20%. Estos errores son aceptables si se considera el tamaño de la red que se esta simulando y la gran cantidad de infraestructura con que cuenta la JMAS, en este caso se tienen 123 pozos profundos que suministran agua algunos de ellos a tanques y otros a la red de distribución.

Para el precalibrado se consideró un error en el caudal menor al 20% y en la presión a la salida de pozos un error del 9.5 mca, en la Tabla 5.3, se muestran los pozos que están dentro del ajuste considerado, en total el 69.5 de los pozos se ajusta a la presión y el 60% de los mismos se ajusta al caudal.

Tabla 5.3. Errores en el cálculo del caudal y presión en los pozos profundos

No.	Pozo	Simulado en Infoworks		Medido En campo		Error del caudal			Error en Presión		
		Caudal (l/s)	Presión (mca)	Caudal (l/s)	Presión	(l/s)	(%)	Dentro del	(mca)	(%)	Dentro del

					(mca)				error			error
1	Aeropuerto 1	7.87	29.1	16.52	20	9	52%			9.1	46%	Ajuste
2	Aeropuerto 3	14.79	31.86	20	27	5	26%			4.86	18%	Ajuste
3	Arroyos 1	19.24	52.22	22.54	48	3	15%	Ajuste		4.22	9%	Ajuste
4	Arroyos 2	19.06	37.56	32.18	27	13	41%			10.56	39%	
5	Arroyos 3	34.43	26.48	31.57	32	3	9%	Ajuste		5.52	17%	Ajuste
6	Arroyos 4	37.23	44.46	35.94	49	1	4%	Ajuste		4.54	9%	Ajuste
7	Campus Universitario	5.6	47.66	5.62	50	0	0%	Ajuste		2.34	5%	Ajuste
8	Centro de Convenciones	32.61	37.3	66.629	38	34	51%			0.7	2%	Ajuste
9	Cerro de la Cruz	19.22	23.56	17.71	30	2	9%	Ajuste		6.44	21%	Ajuste
10	Chuviscar	24.91	41	21.23	38	4	17%	Ajuste		3	8%	Ajuste
11	CIMA	15.19	16.74	13.7	33	1	11%	Ajuste		16.26	49%	
12	Cipres No 2	36.39	25.08	36.33	35	0	0%	Ajuste		9.92	28%	
13	Concordia	30.49	69	41	66	11	26%			3	5%	Ajuste
14	CTU Chicontepec	5.7	58.98	33.56	45	28	83%			13.98	31%	
15	CTU Izalco	19.14	68.97	27.5	60	8	30%			8.97	15%	Ajuste
16	CTU Saucito	13.83	94.37	16.71	88	3	17%	Ajuste		6.37	7%	Ajuste
17	Estacion Terrazas 1	87.75	41	63.91	46	24	37%			5	11%	Ajuste
18	Estacion Terrazas 2	161.72	25	107.6	33	54	50%			8	24%	Ajuste
19	Ferrocarril	53	32.07	48.96	40	4	8%	Ajuste		7.93	20%	Ajuste
20	Haciendas del Valle 1	2.18	51.7	31.73	34	30	93%			17.7	52%	
21	Haciendas del Valle 2	3.37	49.77	21.56	34	18	84%			15.77	46%	
22	Impulso	17.25	20.54	16.65	24	1	4%	Ajuste		3.46	14%	Ajuste
23	La Salle	6.57	8.81	4.73	48	2	39%			39.19	82%	
24	Laguna 1	12.38	41.01	21.53	41	9	42%			0.01	0%	Ajuste
25	Leon 3	66.98	48.42	69.67	49	3	4%	Ajuste		0.58	1%	Ajuste
26	Leon	26	37.17	26.93	25	1	3%	Ajuste		12.17	49%	
27	Los Arcos	32.22	46.96	19.61	21	13	64%			25.96	124%	
28	Mirador 2	11.84	13.84	13.69	13	2	14%	Ajuste		0.84	6%	Ajuste
29	Nombre de Dios 2	27.29	20.41	23.93	30	3	14%	Ajuste		9.59	32%	

Tabla 5.4. Errores en el cálculo del caudal y presión en los pozos profundos

No .	Pozo	Simulado en Infoworks		Medido En campo		Error del caudal			Error en Presión		
		Caudal (l/s)	Presión (mca)	Caudal (l/s)	Presión (mca)	(l/s)	(%)	Dentro del error	(mca)	(%)	Dentro del error
30	Palacio del Sol	13.27	41.24	23.29	38	10	43%		3.24	9%	Ajuste
31	Panamericana 4	34.45	54.08	45.21	48	11	24%		6.08	13%	Ajuste
32	Panamericana 5	22.17	57.87	26.05	53	4	15%	Ajuste	4.87	9%	Ajuste
33	Panamericana 6	11.16	16	11.16	16	0	0%	Ajuste	0	0%	Ajuste
34	Panamericana 7	54.04	67.24	56.76	67	3	5%	Ajuste	0.24	0%	Ajuste
35	Panamericana 8	30.67	15	30.67	15	0	0%	Ajuste	0	0%	Ajuste
36	Paseos de la Concordia 1	45.43	38.8	34.21	52	11	33%		13.2	25%	
37	Paseos de la Concordia 2	39.65	46.02	41	66	1	3%	Ajuste	19.98	30%	
38	Picacho 1	4.24	48.57	22.34	34	18	81%		14.57	43%	
39	Picacho 2	14	63.15	19.26	39	5	27%		24.15	62%	
40	Picacho 3	9.44	51.89	16.36	40	7	42%		11.89	30%	
41	Picacho 5	19.77	32.76	25.19	28	5	22%		4.76	17%	Ajuste
42	Pozo 300	70.89	65.66	52.39	69	19	35%		3.34	5%	Ajuste
43	Pozo No. 5	107.71	26	93.97	30	14	15%	Ajuste	4	13%	Ajuste
44	Pozo No. 6	87.03	27	72.45	31	15	20%		4	13%	Ajuste
45	Quintas del Sol	42.89	46.11	57.35	41	14	25%		5.11	12%	Ajuste
46	Rancharía de Juárez 1	15.02	36.82	18.86	41	4	20%		4.18	10%	Ajuste
47	Revolución	13.66	47.21	11.81	60	2	16%	Ajuste	12.79	21%	
48	Riveras de Sacramento 1	30	37	31.21	35	1	4%	Ajuste	2	6%	Ajuste
49	Riveras de Sacramento 2	17.37	43.33	30.88	38	14	44%		5.33	14%	Ajuste
50	Riveras de Sacramento 3	11.38	11.01	25.75	9	14	56%		2.01	22%	Ajuste
51	Riveras de Sacramento 4	23.21	37.23	24.78	37	2	6%	Ajuste	0.23	1%	Ajuste
52	Riveras de Sacramento 5	20.96	37.92	28.21	38	7	26%		0.08	0%	Ajuste
53	Riveras de Sacramento 6	21.35	54.5	36.17	57	15	41%		2.5	4%	Ajuste
54	Robinson 1	28.81	21.29	34.07	20	5	15%	Ajuste	1.29	6%	Ajuste
55	Robinson II	9.24	30.44	29.47	20	20	69%		10.44	52%	
56	Robinson III	17.7	45.9	16.49	52	1	7%	Ajuste	6.1	12%	Ajuste
57	Sacramento 4	13.54	7	13.37	10	0	1%	Ajuste	3	30%	Ajuste
58	Sacramento 5	35.27	13.7	22.37	43	13	58%		29.3	68%	
59	Sacramento 6	61.01	36.61	56.59	49	4	8%	Ajuste	12.39	25%	
60	Sacramento 7	29.12	55.89	26.35	65	3	11%	Ajuste	9.11	14%	Ajuste
61	Sacramento 8	30	75.07	34.31	92	4	13%	Ajuste	16.93	18%	
62	Sacramento Norte 1	16.84	69.89	14.8	71	2	14%	Ajuste	1.11	2%	Ajuste
63	Sacramento Norte 2	40.32	47.14	36.78	52	4	10%	Ajuste	4.86	9%	Ajuste
64	Sacramento Norte 3	40.16	25.91	37.91	34	2	6%	Ajuste	8.09	24%	Ajuste

Tabla 5.5. Errores en el cálculo del caudal y presión en los pozos profundos

No .	Pozo	Simulado en Infoworks		Medido En campo		Error del caudal			Error en Presión		
		Caudal (l/s)	Presión (mca)	Caudal (l/s)	Presión (mca)	(l/s)	(%)	Dentro del error	(mca)	(%)	Dentro del error
65	Sacramento Norte 9	38.33	86.26	38.72	81	0	1%	Ajuste	5.26	6%	Ajuste
66	Sacramento Viejo 1	21.98	19.34	44.78	11	23	51%		8.34	76%	Ajuste
67	Sacramento Viejo 2	43.46	18.8	46.86	18	3	7%	Ajuste	0.8	4%	Ajuste
68	Sacramento Viejo 3	19.46	12.86	25.41	13	6	23%		0.14	1%	Ajuste
69	Sacramento Viejo 5	35.32	15.85	34.6	19	1	2%	Ajuste	3.15	17%	Ajuste
70	San Felipe	3.6	17.24	12.97	11	9	72%		6.24	57%	Ajuste
71	Siaz	32.79	39.95	30.88	47	2	6%	Ajuste	7.05	15%	Ajuste
72	Sierra Azul	36.45	31.74	29.15	20	7	25%		11.74	59%	
73	Urueta	26.63	68.12	26.91	69	0	1%	Ajuste	0.88	1%	Ajuste
74	Villa Dorada	31.91	43.4	29.88	50	2	7%	Ajuste	6.6	13%	Ajuste
75	Villa	21.33	28.75	31.77	23	10	33%		5.75	25%	Ajuste
76	Villas del Rey	31.88	35.6	27.01	49	5	18%	Ajuste	13.4	27%	
77	Virreyes	40.1	82.31	51.84	79	12	23%		3.31	4%	Ajuste
78	XX Aniversario 1	5	29.94	9.13	18	4	45%		11.94	66%	
79	Zona Centro no 7	35.01	35.39	55.51	30	21	37%		5.39	18%	Ajuste
80	Zona Centro No 8	17.44	44.17	51.07	36	34	66%		8.17	23%	Ajuste
81	El Sáuz 1	10.67	20	10.66	20	0	0%	Ajuste	0	0%	Ajuste
82	El Sáuz 10	17.03	8	17.03	8	0	0%	Ajuste	0	0%	Ajuste
83	El Sáuz 11	45	12	46.51	11	2	3%	Ajuste	1	9%	Ajuste
84	El Sáuz 12	50	23	55.26	21	5	10%	Ajuste	2	10%	Ajuste
85	El Sáuz 16	22.53	45.88	20.69	33	2	9%	Ajuste	12.88	39%	
86	El Sáuz 17	24.16	52.53	25.03	39	1	3%	Ajuste	13.53	35%	
87	El Sáuz 18	60.24	58.25	32.24	44	28	87%		14.25	32%	
88	El Sáuz 2	13	32	12.27	32	1	6%	Ajuste	0	0%	Ajuste
89	El Sáuz 24	39.45	51.55	36	35	3	10%	Ajuste	16.55	47%	
90	El Sáuz 25	29.41	57.4	36.7	44	7	20%	Ajuste	13.4	30%	
91	El Sáuz 26	29.87	61.84	34.5	49	5	13%	Ajuste	12.84	26%	
92	El Sáuz 27	59.56	70.22	40.79	57	19	46%		13.22	23%	
93	El Sáuz 28	28.26	75.73	42.74	62	14	34%		13.73	22%	
94	El Sáuz 29	27.97	80.02	33.81	66	6	17%	Ajuste	14.02	21%	
95	El Sáuz 3	24.1	5.43	24.51	28	0	2%	Ajuste	22.57	81%	
96	El Sáuz 30	42.86	83.78	36	72	7	19%	Ajuste	11.78	16%	
97	El Sáuz 31	35.3	86.58	38.85	75	4	9%	Ajuste	11.58	15%	
98	El Sáuz 4	10	6	11.01	6	1	9%	Ajuste	0	0%	Ajuste
99	El Sáuz 5	22	1.19	24.93	2	3	12%	Ajuste	0.81	41%	Ajuste

Tabla 5.6. Errores en el cálculo del caudal y presión en los pozos profundos

No.	Pozo	Simulado en Infoworks		Medido En campo		Error del caudal			Error en Presión		
		Caudal (l/s)	Presión (mca)	Caudal (l/s)	Presión (mca)	(l/s)	(%)	Dentro del error	(mca)	(%)	Dentro del error
100	El Sáuz 6	13	5.8	12.4	6	1	5%	Ajuste	0.2	3%	Ajuste
101	El Sáuz 7	25	0.8	23.57	1	1	6%	Ajuste	0.2	20%	Ajuste
102	El Sáuz 8	19	10	20.78	9	2	9%	Ajuste	1	11%	Ajuste
103	El Sáuz 9	38	10	38.78	10	1	2%	Ajuste	0	0%	Ajuste
104	Tab. Nombre de Dios 1	37	87.74	35.71	88	1	4%	Ajuste	0.26	0%	Ajuste
105	Tab. Nombre de Dios 2	25	60	20.8	64	4	20%		4	6%	Ajuste
106	Tab. Nombre de Dios 3	35	77	29.453	83	6	19%	Ajuste	6	7%	Ajuste
107	Tab. Nombre de Dios 4	20	72	17.52	79	2	14%	Ajuste	7	9%	Ajuste
108	Tab. Nombre de Dios 6	30.83	74.18	30.83	74	0	0%	Ajuste	0.18	0%	Ajuste
109	Tab. Nombre de Dios 7	79	55	71.09	59	8	11%	Ajuste	4	7%	Ajuste
110	Tabaloapa Aldama 1	36	47	37.34	48	1	4%	Ajuste	1	2%	Ajuste
111	Tabaloapa Aldama 3	55	41.37	49.58	27	5	11%	Ajuste	14.37	53%	
112	Tabaloapa Aldama 4	17.06	28	17.06	28	0	0%	Ajuste	0	0%	Ajuste
113	Tabaloapa Aldama 5	21.75	43	17.63	49	4	23%		6	12%	Ajuste
114	Tabaloapa Aldama 6	27.67	50	25.33	54	2	9%	Ajuste	4	7%	Ajuste
115	Tabaloapa Aldama 7	28	40	21.71	48	6	29%		8	17%	Ajuste
116	Tabaloapa Aldama 8	20	42	17.05	45	3	17%	Ajuste	3	7%	Ajuste
117	Tabaloapa Aldama 9	12.13	44	19.23	39	7	37%		5	13%	Ajuste
118	Puerta Chihuahua 1	80.37	70.95	60.01	57	20	34%		13.95	24%	
119	Puerta Chihuahua 2	93.2	58.21	64.02	49	29	46%		9.21	19%	Ajuste
120	Puerta Chihuahua 3	85.29	45.18	78.02	39	7	9%	Ajuste	6.18	16%	Ajuste
121	Puerta Chihuahua 4	84.07	51.69	77.23	46	7	9%	Ajuste	5.69	12%	Ajuste
122	Puerta Chihuahua 5	78.14	54.82	71.6	55	7	9%	Ajuste	0.18	0%	Ajuste
123	Puerta Chihuahua 6	76.48	71.25	70.93	61	6	8%	Ajuste	10.25	17%	
Promedio en el error							22%	74	20%	85	
							60%			69%	

5.6 Ajuste de parámetros para la calibración de la red de Chihuahua.

Para el ajuste fino de la red se modificó la variación de la demanda de agua, y se comparó los resultados del modelo con los resultados de la medición de presiones en la red realizada en 400 puntos (ver diagnóstico del sistema).

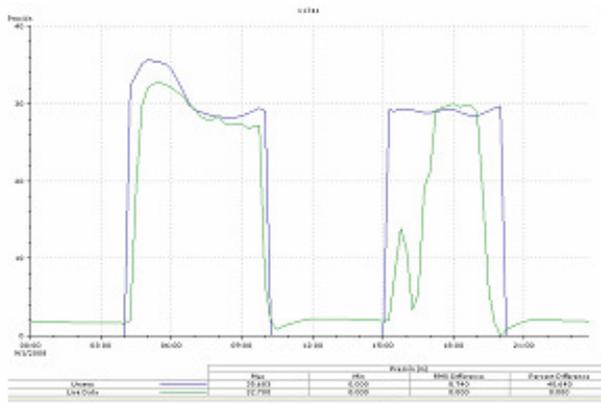
En las Lámina 5.1 a Lámina 5.5 se muestra una comparación de las variaciones de las presiones medidas en campo con las presiones calculadas con el modelo de simulación, en general se representan de forma semejante ambas variaciones, sobre todo las

presiones máximas. En algunos casos las presiones registradas en campo caen a cero, esto se debe a que algunos usuarios desconectaban el registrador de presión con lo que se perdía dicha información.

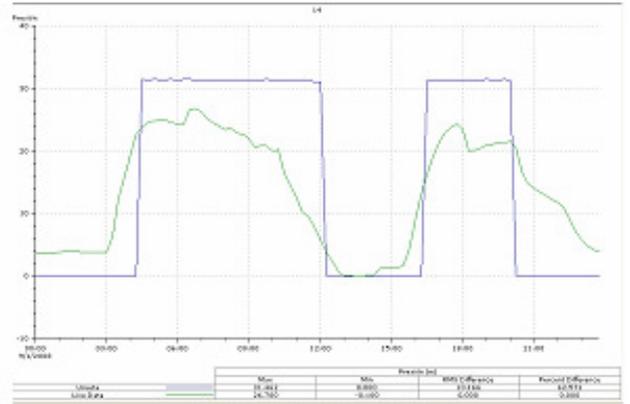
En algunas zonas de influencia la variación de presión registrada en campo difiere de la presión calculada con el modelo, por ejemplo El Tanque Santa Rita, en esta zona de influencia se consideró que no tiene aportaciones de agua hacia el tanque Cerro Grande, lo que al parecer en la realidad no es así.

En general el modelo de simulación representa con buen ajuste los resultados medidos en campo, de los 400 puntos en donde se registró la presión, el modelo simula las presiones máximas con un error menor a 10 mca y errores menores al 15% en 193 puntos (lo que representa un 48.25 % de la muestra en campo). En el resto de los puntos se tienen errores que oscilan entre el 16% y el 50 por ciento.

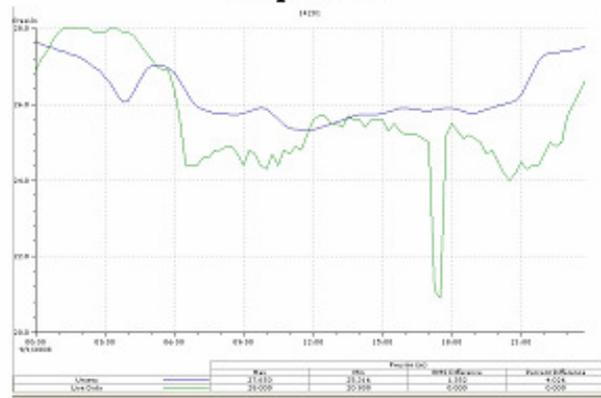
En algunas zonas de influencia, como el Tanque A, Tanque B, Rebombeo Coronel, Tanque Coronel, no se tiene con detalle el catastro de la red, además no se sabe si existe conexión o aportaciones de agua entre dichas zonas, lo que cambiaría la configuración del modelo de la red.



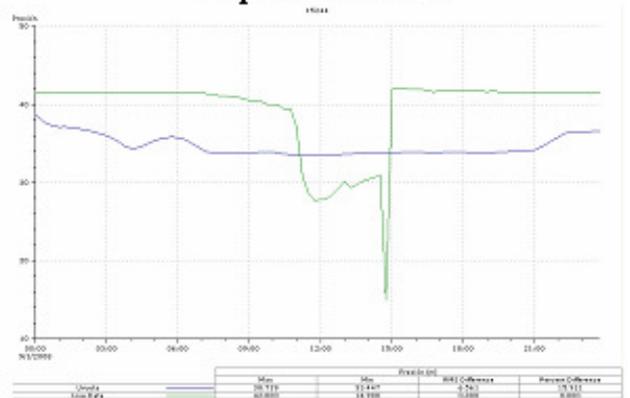
Tanque Colina



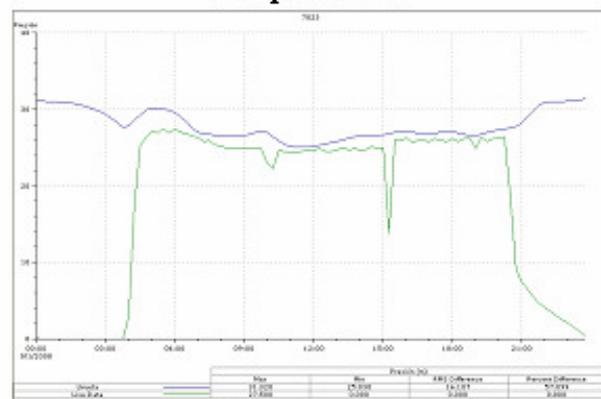
Tanque Panamericana



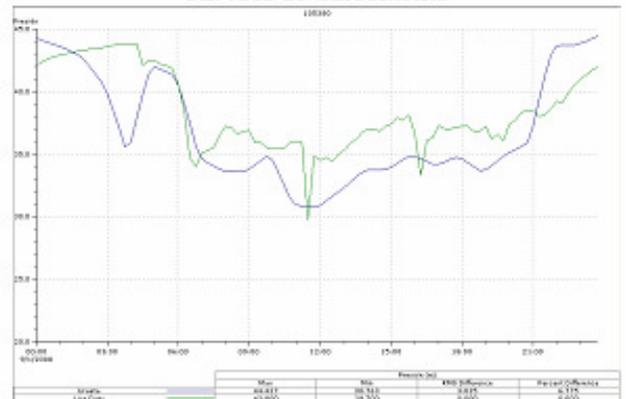
Tanque Norte 2



Riberas de Sacramento

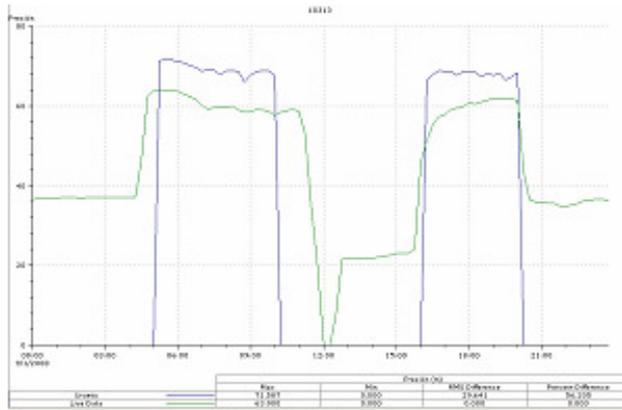


Los Arroyos

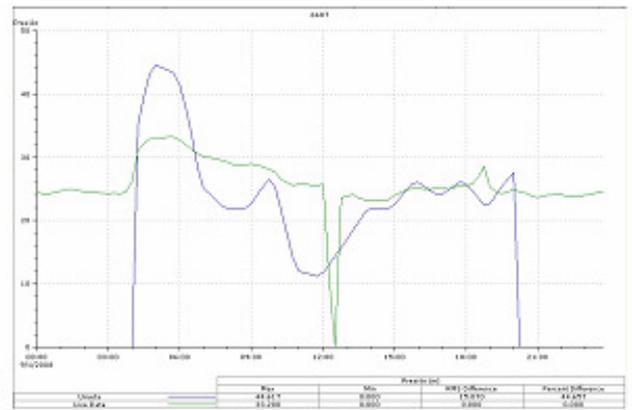


Tanque Chihuahua 2000

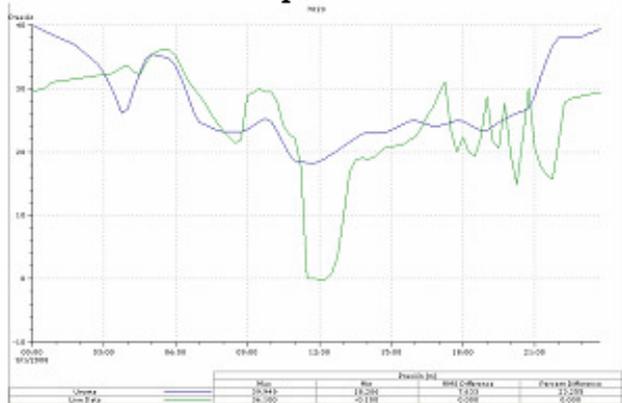
Lámina 5.1. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).



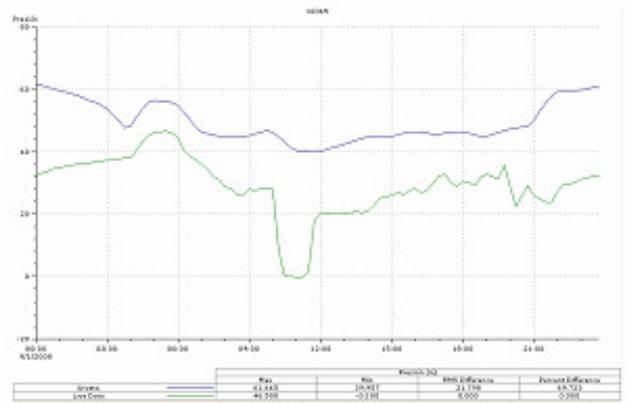
Tanque Saucito



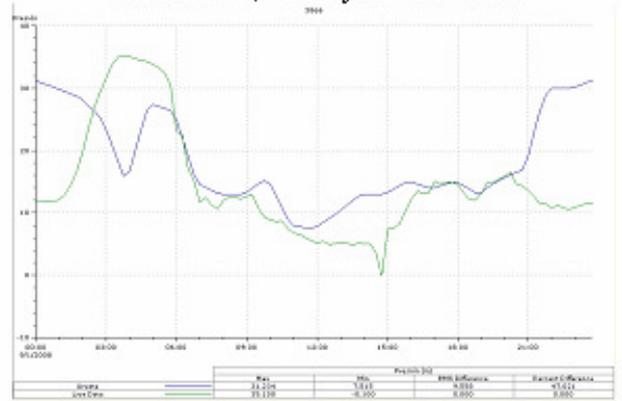
Pozo Nombre de Dios Arriba



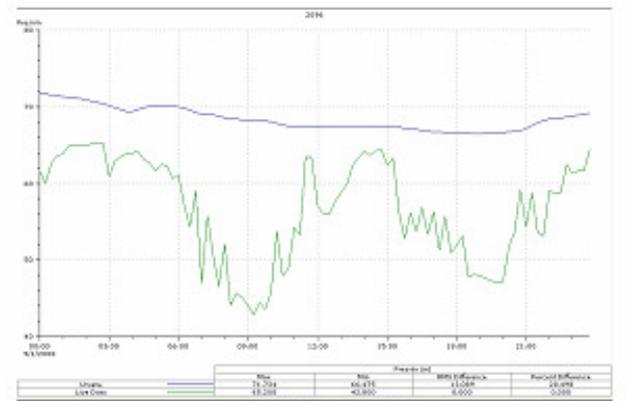
Pozo CIMA, FFCC y Convenciones



Pozo 8 Zona Centro

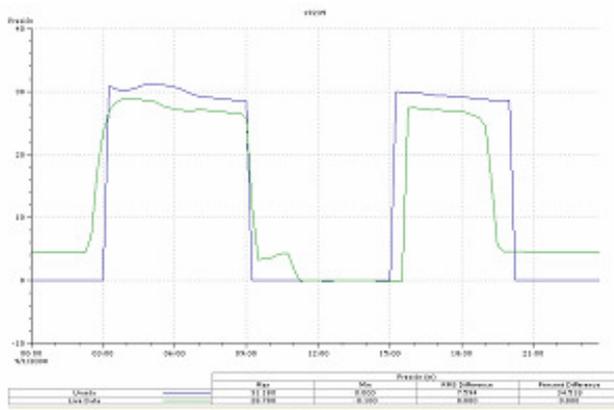


Pozo Rancherías

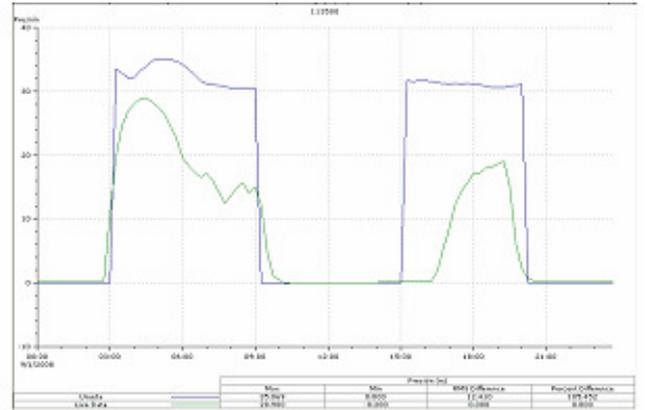


Tanque Santa Rita

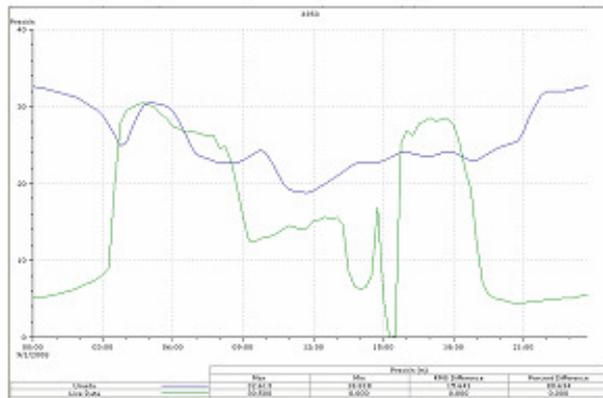
Lámina 5.2. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).



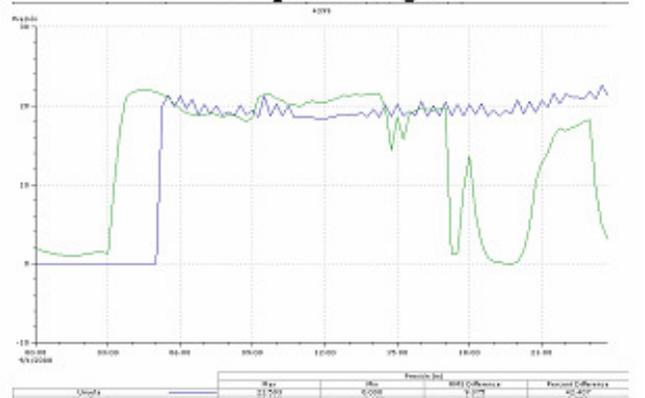
Tanque Cerro Grande



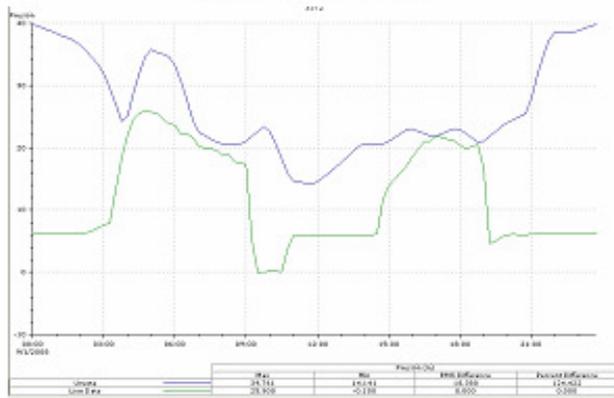
Tanque San Jorge



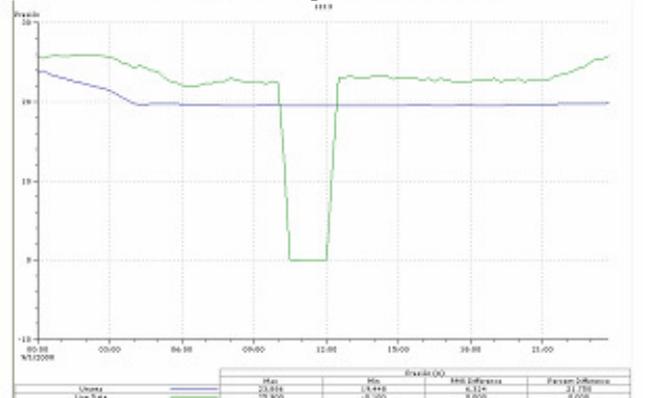
Pozo Cerro de la Cruz



Conducción Ojos de Chiviscar

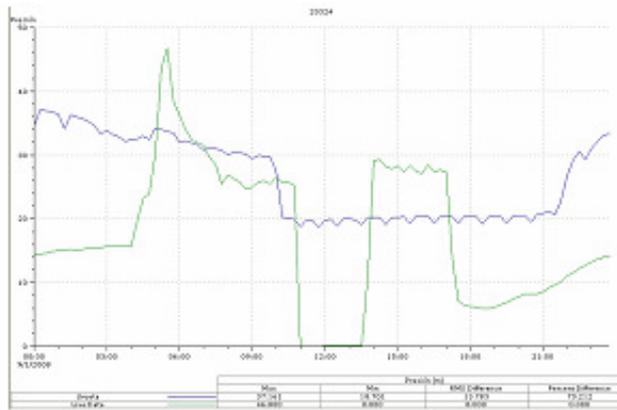


Tanque A

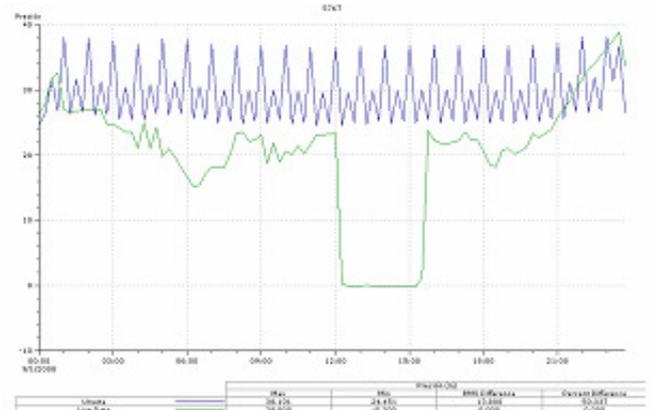


Tanque 2 de Octubre

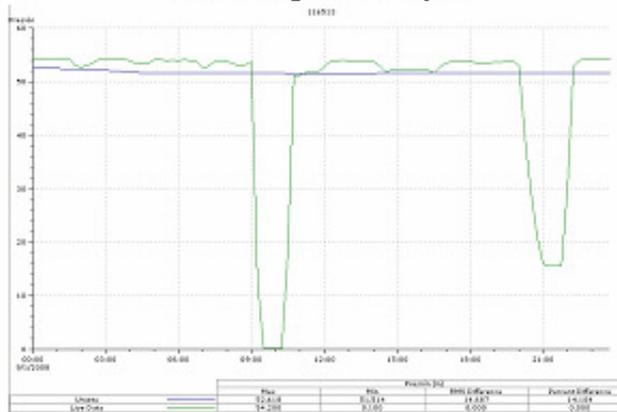
Lámina 5.3. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).



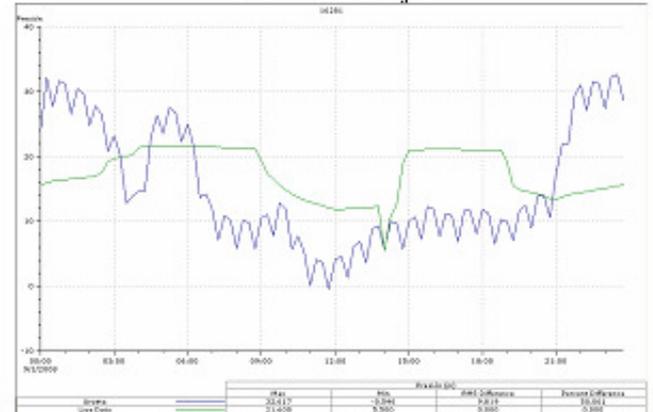
Pozo Aeropuerto 1, 2 y 3



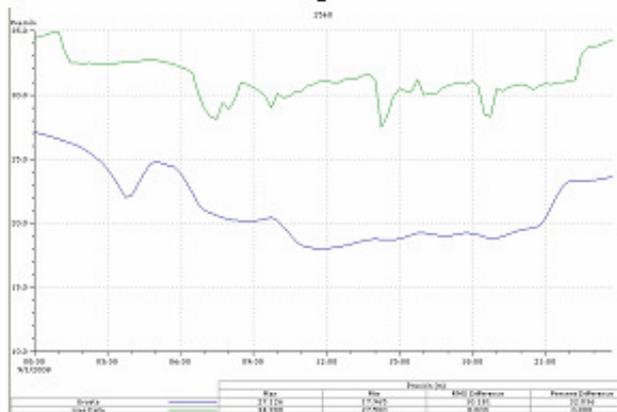
Pozo Galera 1 y 2



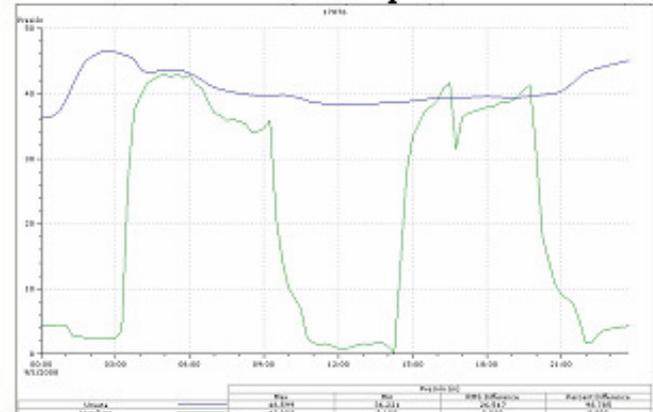
Tanque B



Conducción Tabalopa Aldama



Tanque 1 y 2



Pozo Quintas del Sol

Lámina 5.4. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).

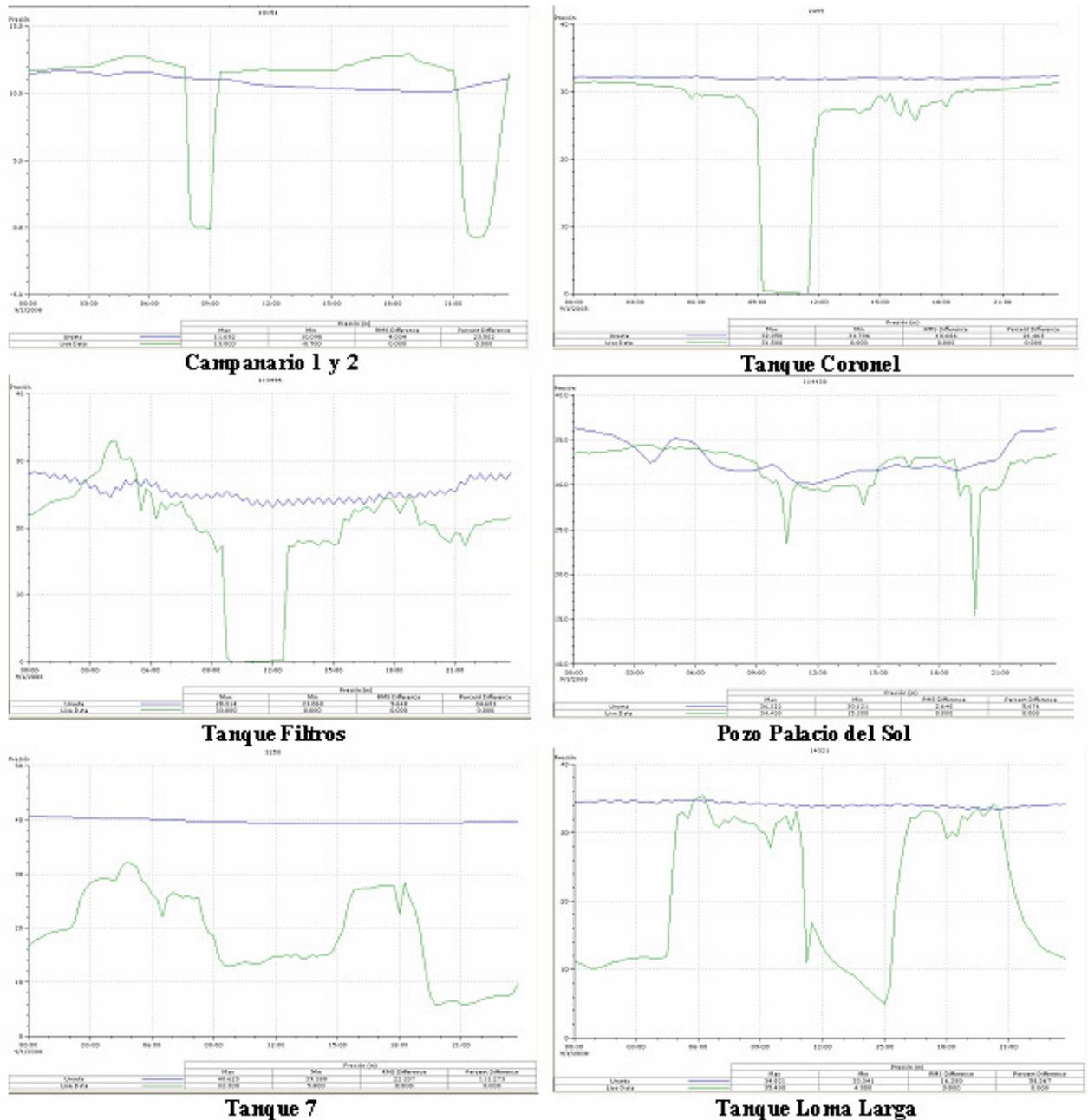


Lámina 5.5. Variación de la presión en diversas áreas de influencia (valores medidos contra valores simulados).

5.7 Conclusión

Se cuenta con el modelo hidráulico calibrado de la red de distribución de la ciudad de Chihuahua. Se logró que los errores de presión y gasto, entre los valores medidos en

campo y los que arroja le modelo de simulación sean aceptables, para realizar con éste los escenarios de sectorización.

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

5.8 Referencias

[5.1] Alcocer V., Tzatchkov V. (2006), Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de agua potable, Manual de Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento. CNA.

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

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

6. ANÁLISIS DE LOS MACROSECTORES DE LAS DIVERSAS ZONAS DE INFLUENCIA

Con base en los resultados que arroja el modelo de simulación, así como de las mediciones de presión realizadas en la red de distribución se hace un análisis de las diferentes zonas de influencia de los tanques y pozos profundos. Este análisis permitirá en el capítulo siguiente definir los distritos hidrométricos dentro de cada macrosector, las tuberías de refuerzo, válvulas de seccionamiento, reductoras de presión y modificación de las zonas de suministro de cada tanque en caso de que sea necesario..

6.1 Análisis espacial de la distribución de caudales y áreas de influencia de las conducciones

La ciudad de Chihuahua se abastece de 8 conducciones, la principal de ellas es la conducción El Sáuz, que recorre de norte a sur la ciudad, desde la batería de pozos El Sáuz segunda Etapa hasta el Tanque A, aunque en caso de paro de la batería de pozos Puerta de Chihuahua, el agua de la conducción el Sáuz pudiera llegar hasta el tanque Cerro Grande.

En el recorrido de cada conducción, se va derivando agua a diversos tanque que éstos a su vez entregan agua a la red de distribución de su zona de influencia, en la Lámina 6.1, se muestra las áreas que abarcan cada conducción. En la Tabla 6.1, se tiene la distribución de caudales por conducción. La conducción Tabalaopa Aldama abastece de agua potable a 25123 usuarios con un caudal demandado de 393.95 l/s y un caudal ofertado de 452.66 l/s (se considera que todos los pozos incorporados a la conducción operan al mismo tiempo), es decir queda un gasto extra de 58.71 l/s.

Las conducciones Aldama Nombre de Dios y Sacramentos Viejos, abastecen en conjunto a 94303 usuarios con un caudal demandado de 404.22 l/s y un caudal máximo de suministro de 398.9 l/s, la diferencia de caudales es de menos 5.32 l/s. Puede decirse que estas dos conducciones abastecen el caudal producido.

La conducción Puertas de Chihuahua, suministra agua a 67495 usuarios, con un caudal de 404.26 l/s; el caudal demandado es de 289.31 l/s, lo que da una diferencia a favor de 114.92 l/s, pero este caudal se envía al Tanque A para su distribución.

La conducción Ojos de Chuviscar, suministra un caudal de 193.67 l/s a 8890 usuarios, mismos que demandan un caudal de 139.4 l/s, la diferencia del gasto de 54.27 l/s se envía al Tanque A.

La conducción El Sáuz, abastece a 102,371 usuarios que demandan un caudal de 1605.26 l/s. La conducción sólo puede abastecer un caudal máximo de 1543.85 l/s lo que da una diferencia negativa de 61.41 l/s.

Pero a su vez la conducción El Sáuz como la Conducción Sacramentos Norte abastecen dos grandes zonas de la ciudad, la del Tanque Chihuahua 2000 y la del Tanque Colina que en su conjunto abastecen a 46260 usuarios, que demanda un gasto de 725.4 l/s y sólo se les suministra un caudal “teórico” (agua que se produce en la batería de pozos de

Sacramentos Norte, el caudal restante se deriva de la conducción El Sáuz) de 259.72 l/s, con una diferencia negativa de -456.67 l/s.

La conducción Panamericana abastece un caudal de 167.85 l/s de los cuales se derivan 155.47 l/s al Tanque Panamericana, que esta dentro del área de influencia de El Sáuz.

En total se tiene que la demanda de agua de la ciudad es de 4050 l/s y se suministra un caudal de 4027 l/s (caudal máximo producido en el mes de julio del 2007). Se puede decir que es posible satisfacer la demanda de agua de toda la ciudad, pero se debe considerar que la distribución espacial del caudal dificulta su entrega a la red de agua potable en las áreas donde hace falta, esto implica la necesidad de establecer horarios de servicio dentro de la ciudad para suministrarles de agua lo que dificulta aún más la operación de la red.

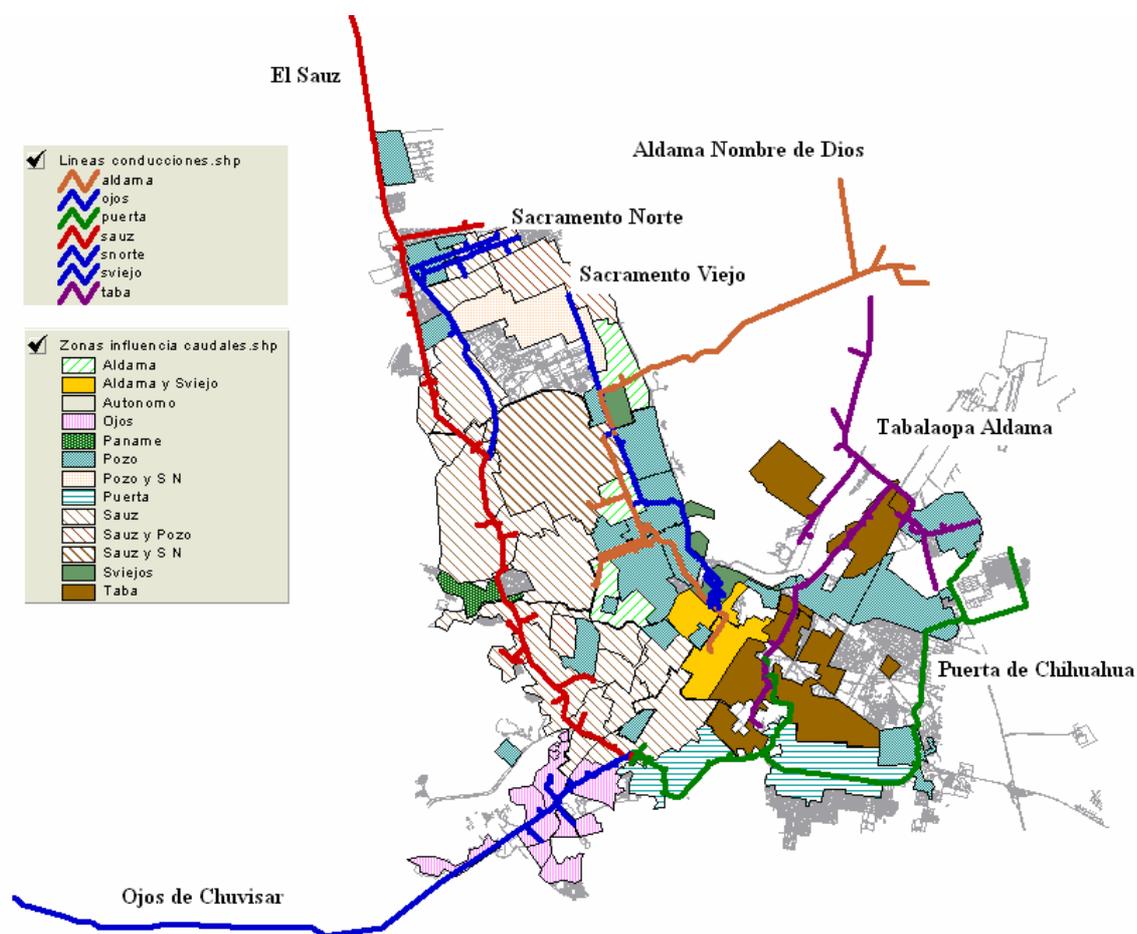


Lámina 6.1. Áreas de influencia de las Conducciones y de los pozos profundos

Tabla 6.1. Distribución de caudales de las Conducciones y pozos profundos

Conducción	Tomas	Población	Demanda (l/s)	suministro actual (l/s)	Diferencia (l/s)	Observación
Tabalaopa Aldama	25123	91907	393.95	452.66	58.71	
Aldama Nombre de Dios y Sacramentos Viejos	25778	94303	404.22	398.9	-5.32	

Puerta de Chihuahua	18450	67495	289.31	404.26	114.94	Se entrega a Tanque A
Ojos de Chuviscar	8890	32522	139.4	193.67	54.27	Se entrega a Tanque A
El Sáuz	102371	374502	1605.26	1543.85	-61.41	
Sáuz, Sacramento Norte y Pozo (Tanque Chihuahua 2000 y Tanque Colina)	46260	169232	725.4	259.72	-465.67	
Sub total	148631	543734	2330.66	1803.57	-527.09	
Panamericana	789	2886	12.37	167.85	155.47	Se entrega al Tanque Panamericana
Pozos	30616	112002	480.08	606.09	126.01	
Total	258277	944850	4050	4027		

6.2 Análisis de los sectores

Para la operación de la red de distribución, la JMAS tiene ya dividida la red en 82 grandes sectores (ver Lámina 6.2), esta sectorización de la red facilita al personal de Red hidráulica la operación de la misma y la programación de los diferentes horarios de servicio.

Cada zona de influencia tiene sus propias características, algunas de ellas por su tamaño requieren de mayor volumen de agua y su operación se vuelve más compleja. En las Tabla 6.2 a Tabla 6.4, se muestran algunas características de cada zona de influencia, si ésta se suministra por medio de pozo profundo, de tanque o de alguna conducción. También se señala cuál de las ocho conducciones la abastece de agua, su caudal de invierno y de verano, la capacidad de regulación necesaria y la capacidad actual del tanque.

6.2.1 Tanque Colina

Destaca el Tanque Colina, que por su extensión, es la mayor zona de influencia, éste requiere de una capacidad de regulación de 5532 m³ y el tanque actual cuenta con una capacidad de 5000 m³, en el análisis de la red y diseño de los distritos hidrométricos se modificará su extensión para quitarle usuarios y por consiguiente requiera de una capacidad de regulación menor a la del tanque instalado. En la actualidad la zona de influencia del tanque abastece a 32071 usuarios con un caudal máximo de verano de 502.9 litros por segundo. El tanque se abastece de agua de las conducciones El Sáuz y Sacramentos Norte.

6.2.2 Tanque Panamericana

El Tanque Panamericana se incrementará su número de usuarios, con aquellos que se le quiten al tanque Colina, ya que cuenta con capacidad de regulación suficiente de 5000 m³ y en la actualidad esa zona sólo requiere de 2171 m³ de regulación. Este tanque se abastece de agua de la conducción El Sáuz. El caudal máximo necesario para satisfacer la demanda las 24 horas del día en los meses de verano es de 197.34 l/s, el número de usuarios abastecidos en esta zona es de 12585. Por su desnivel topográfico actualmente se dificulta mantener presiones homogéneas dentro de su zona de influencia.



Lámina 6.2. Áreas de influencia actual de Tanques, Pozos y Rebombéos.

Tabla 6.2. Características de las zonas de influencia

No	Zona	Abastece	Conducción	Área (has)	Tomas	Población	Caudal de Invierno o Medio (l/s)	Caudal de Verano Qmax Diario (l/s)	Capacidad de Regulación (m3)	Capacidad del Tanque (m3)
1	Pozo Sacramento Norte 5	Pozo	Pozo	29.05	910	3329	10.80	14.27	156.97	
2	Tanque Norte 1	Tanque	Sáuz	129.38	3637	13305	43.18	57.03	627.34	2400
3	Pozo Villas del Rey	Pozo	Pozo	99.16	3927	14366	46.62	61.58	677.37	
4	Tanque Loma Larga Arriba	Tanque	Sáuz	182.45	4632	16945	54.99	72.63	798.97	10000
5	Tanque Norte 2	Tanque	Sáuz	503.12	12585	46039	149.42	197.34	2170.78	2400
6	Pozo Arroyos 1	Pozo	Pozo	85.75	1704	6234	20.23	26.72	293.92	
7	Tanque Misiones	Tanque	Sáuz	123.05	1767	6464	20.98	27.71	304.79	600
8	Tanque Loma Larga	Tanque	Sáuz	467.13	7750	28352	92.01	121.53	1336.79	10000
9	Tanque Chihuahua 2000	Tanque	Pozo y Sac Norte	609.41	14189	51907	168.46	222.50	2447.45	5000
10	Pozo Revolución	Pozo	Pozo	63.97	902	3300	10.71	14.14	155.59	
11	Zona Industrial	Pozo	Pozo	659.79	0	0	0.00	0.00	0.00	
12	Pozos Sacramentos Viejos	Pozo	Sac. Viejos	88.32	1763	6450	20.93	27.65	304.10	
13	Tanque Nombre de Dios	Tanque	Aldama - N. Dios	268.04	5249	19202	62.32	82.31	905.40	10000

14	Tanque Jardines	Tanque	Sáuz	81.00	1516	5546	18.00	23.77	261.49	400
15	Tanque Saucito	Tanque	Sáuz	825.96	9218	33722	109.44	144.55	1590.01	5000
16	Tanque Elev. Panamericana	Tanque	Sáuz	10.32	293	1072	3.48	4.59	50.54	50
17	Conducc. El Sáuz, Mezquites	Conducción	Sáuz	180.76	4595	16810	54.55	72.05	792.59	
18	Pozos Panamericana 4,5 y 7	Pozo	Panamericana	141.71	789	2886	9.37	12.37	136.09	
19	Tanque Panamericana	Tanque	Sáuz	574.12	12585	46039	149.42	197.34	2170.78	5000
20	Pozo Cipres	Pozo	Pozo	93.71	1686	6168	20.02	26.44	290.82	
21	Rebombero Paso del Norte	Rebombero	Sac. Viejos	33.91	217	794	2.58	3.40	37.43	
22	Pozo 7	Pozo	Pozo	267.62	2253	8242	26.75	35.33	388.62	
23	P. Nombre de Dios de Arriba	Pozo	Pozo	259.03	1596	5839	18.95	25.03	275.29	
24	T Nombre de Dios Abajo	Tanque	Aldama - N. Dios	171.04	2232	8165	26.50	35.00	385.00	
25	Tanque Colina	Tanque	Sáuz y Sac Norte	1352.86	32071	117325	380.76	502.90	5531.90	5000
26	Pozos Riberas de Sacramento	Pozo	Pozo	154.39	4848	17735	57.56	76.02	836.23	
27	El Leon	Conducción	Aldama - N. Dios	307.60	1399	5118	16.61	21.94	241.31	500 y 530
28	Rebombero Cumbres	Rebombero	Sáuz	112.30	521	1906	6.19	8.17	89.87	
29	Tanque Campanario I	Tanque	Sáuz	92.21	2056	7521	24.41	32.24	354.64	450.00
30	Campo de Golf	Tanque	Sáuz y Pozo	101.89	419	1533	4.97	6.57	72.27	

Tabla 6.3. Características de las zonas de influencia

No	Zona	Abastece	Conducción	Área (has)	Tomas	Población	Caudal de Invierno o Qmedio (l/s)	Caudal de Verano Qmax Diario (l/s)	Capacidad de Regulación (m3)	Capacidad del Tanque (m3)
31	Tanque Campanario II	Tanque	Sáuz	32.68	553	2023	6.57	8.67	95.39	450.00
32	Tanque Haciendas	Tanque	Sáuz	274.57	1439	5264	17.08	22.56	248.21	500 y 1200
33	Pozo Quintas	Pozo	Pozo	132.28	1839	6728	21.83	28.84	317.21	
34	Pozo Palacio del Sol	Pozo	Pozo	60.82	983	3596	11.67	15.41	169.56	
35	Tanque No. 1	Tanque	Sáuz	137.24	2643	9669	31.38	41.44	455.89	3000
36	Tanque Filtros	Tanque	Sáuz	181.46	3181	11637	37.77	49.88	548.69	2300 y 2300
37	Pozo Cerro de la Cruz	Pozo	Pozo	55.53	1483	5425	17.61	23.25	255.80	
38	Tanque 7	Tanque	Sáuz	133.95	2223	8132	26.39	34.86	383.44	5000
39	Tanque No. 2	Tanque	Sáuz	145.35	1396	5107	16.57	21.89	240.79	3000
40	Tanque A y Conducc, El Sáuz	Tanque y Conducción	Sáuz	146.68	3226	11802	38.30	50.59	556.45	Ver Tanque A
41	Tanque Lomas Rejon	Tanque	Sáuz	240.88	2638	9651	31.32	41.37	455.03	5000
42	Rebombeo Cerro Prieto	Rebombeo	Sviejos	35.60	227	830	2.70	3.56	39.16	
43	Pozo 8	Pozo	Pozo	170.29	3909	14300	46.41	61.30	674.26	
44	Tanque 4 y Tanque 3	Tanque	Aldama - N. Dios	231.65	2925	10700	34.73	45.87	504.53	3000 y 3000
45	Pozo Urueta	Pozo	Pozo	30.23	868	3175	10.31	13.61	149.72	
46	Tanque Coronel	Tanque	Aldama y Sac. Viejo	146.77	2605	9530	30.93	40.85	449.33	4000
47	Rebombeo Coronel	Rebombeo	Aldama y Sac. Viejo	58.35	970	3549	11.52	15.21	167.31	
48	Pozo Robinson	Pozo	Pozo	45.04	591	2163	7.02	9.27	101.97	
49	Rebombeo Sacramento	Rebombeo	Sac. Vviejos	134.96	2525	9237	29.98	39.59	435.54	
50	Pozo San Felipe	Pozo	Pozo	23.32	358	1310	4.25	5.61	61.75	
51	Pozos CIMA, FFCC y Conven.	Pozo	Pozo	358.20	3657	13378	43.42	57.34	630.79	
52	Pozo Robinson	Pozo	Pozo	14.92	196	716	2.32	3.07	33.78	
53	Rebombeo XI	Rebombeo	Tabalaopa Alda.	42.42	542	1983	6.43	8.50	93.49	
54	Pozo Concordia	Pozo	Pozo	256.92	1418	5187	16.84	22.24	244.59	
55	Pozos Galera 1 y 2	Pozo	Pozo	329.54	3610	13206	42.86	56.61	622.69	
56	Planta Tratadora Sur	Planta	Tabalaopa Alda.	33.98	520	1902	6.17	8.15	89.69	
57	Conducc. Tabalaopa Aldama	Conducción	Tabalaopa Alda.	336.29	3742	13689	44.43	58.68	645.45	
58	Pozos Aeropuerto 1, 2 y 3	Pozo	Pozo	422.87	1208	4419	14.34	18.94	208.37	
59	Pozo Galera 1	Pozo	Pozo	14.78	678	2480	8.05	10.63	116.95	
60	Tanque 2 de Octubre	Tanque	Tabalaopa Alda.	128.83	2756	10082	32.72	43.22	475.38	5000
61	Tanque B	Tanque	Aldama y Sac. Viejo	340.38	7065	25846	83.88	110.79	1218.64	5000

Tabla 6.4. Características de las zonas de influencia

No	Zona	Abastece	Conducción	Área (has)	Tomas	Población	Caudal de Invierno Qmedio (l/s)	Caudal de Verano Qmax Diario (l/s)	Capacidad de Regulación (m ³)	Capacidad del Tanque (m ³)
62	Tanque Santa Rita	Tanque	Tabalaopa Alda.	856.50	11841	43318	140.58	185.68	2042.44	5000
63	Tanque Santa Rita	Tanque	Tabalaopa Alda.	26.05	0	0	0.00	0.00	0.00	
64	Tanque San Jorge	Tanque	Tabalaopa Alda.	149.60	4323	15815	51.32	67.79	745.67	1500
65	Tanque Cerro Grande	Tanque	Puerta Chih	695.71	13823	50568	164.11	216.76	2384.32	5000
66	Pozo Ranchería	Pozo	Pozo	207.25	2454	8977	29.14	38.48	423.29	
67	Cond. Ojos Chuv. y El Sáuz	Conducción	Sáuz	77.12	1563	5718	18.56	24.51	269.60	
68	Conducc. Ojos Chuviscar III	Conducción	Sáuz	177.45	4296	15716	51.00	67.36	741.01	
69	Tanque A	Tanque	Sáuz	535.72	11097	40596	131.75	174.01	1914.11	5000
70	Tanque CG Puertas	Tanque	Puerta Chih	390.67	4627	16927	54.93	72.56	798.11	
72	Rebombero Las Animas	Rebombero	Ojos Chuviscar	41.35	166	607	1.97	2.60	28.63	
73	Conducc. Ojos Chuviscar I	Conducción	Ojos Chuviscar	181.81	247	904	2.93	3.87	42.60	
74	Conducc. Ojos Chuviscar II	Conducción	Ojos Chuviscar	56.78	1266	4631	15.03	19.85	218.37	
75	Tanque Penas Blancas	Tanque	Ojos Chuviscar	7.99	178	651	2.11	2.79	30.70	200
76	Rebombero 1 T. P. Blancas	Rebombero	Ojos Chuviscar	1.85	68	249	0.81	1.07	11.73	
77	Tanque Esperanza	Tanque	Ojos Chuviscar	130.69	1945	7115	23.09	30.50	335.49	3000
78	Rebombero 2 T. P. Blancas	Rebombero	Ojos Chuviscar	6.67	155	567	1.84	2.43	26.74	
79	Zona Impulso	Conducción	Pozo	154.48	376	1376	4.46	5.90	64.86	
80	Las Animas II	Conducción	Ojos Chuviscar	91.23	285	1043	3.38	4.47	49.16	
81	Ojos Chuviscar IV	Conducción	Ojos Chuviscar	116.33	177	648	2.10	2.78	30.53	
82	Zootecnia II	Conducción	Ojos Chuviscar	36.23	107	391	1.27	1.68	18.46	
Total					248681	915493	3066.39	4050.00	44550	

6.2.3 Pozo Revolución

Este pozo cuenta con su propia zona de influencia, que abastece a un total de 902 usuarios, el caudal máximo demandado en la época de verano es de 14.14 l/s, como no cuenta con un tanque que amortigüe las variaciones horarias, se pueden llegar a presentar caudales máximos de hasta 21.2 l/s. Del análisis de presiones no se encontraron zonas de baja presión. En el capítulo siguiente se abordan los trabajos necesarios para mejorar la distribución de agua dentro de esta zona de influencia.

6.2.4 Tanque Norte 1 y Norte 2 y Pozo Villas del Rey

El Tanque Norte 1 cuenta con capacidad de 2400 m³, su zona de influencia actual abastece a 3637 usuarios, que demandan un caudal de 57.03 l/s, la capacidad de regulación requerida para esta zona de influencia es de 627.34 m³. El Tanque Norte 1 se abastece de agua de la conducción el Sáuz, con una tubería de 24 pulgadas, para controlar el caudal que se deriva al Tanque se tiene una válvula parcialmente cerrada.

Del Tanque Norte 1 se envía agua al Tanque Norte 2, cuya zona de influencia suministra agua a 12585 usuarios, este tanque tiene una capacidad de 2400 m³ y la zona requiere de una capacidad de regulación de 2171 m³. Dentro de la zona de influencia del Tanque Norte 2 se tiene el tanque elevado Sacramentos Viejo de 200 m³ de capacidad, el cual se recomienda definirle su propia zona de influencia con una tubería de llenado y otra de vaciado, ya que por el momento funciona como tanque de excedencias. El Pozo Los Arcos, envía directamente el agua hacia el Tanque Norte 2, para después ser distribuida a la red.

Si bien el nivel de ambos tanques es regulado desde el centro de control de manera automática, sería recomendable instalar una válvula reguladora de caudal, para que sólo permita el paso de un gasto máximo hacia el tanque Norte 1 desde la conducción El Sáuz y evitar que se derive un gran caudal de la conducción lo que genera que la misma se “vacíe” y opere con caudales pequeños aguas abajo de ese punto.

El Pozo Villas del Rey, abastece a 3927 usuarios, si bien esta zona esta delimitada, existe la posibilidad que se interconecte con la zona de influencia del Tanque Norte 2, por lo que se recomienda verificar su seccionamiento de esta zona.

Durante la campaña de medición de caudales y la modelación de la red no se encontraron zonas de baja presión en estas tres áreas de influencia.

En el capítulo de diseño de distritos hidrométricos se señalarán las tuberías y válvulas de refuerzo que es necesario instalar en estas áreas para su sectorización, además se indicarán los cambios de su zona de influencia se esto se necesario.

6.2.5 Tanque Loma Larga

Los dos tanque Loma Larga, abastecen a dos áreas de la ciudad, la primera compuesta de 7,750 usuarios que se encuentra y la segunda de 4632 usuarios (ver Lámina 6.3). Cada tanque tiene una capacidad de 10,000 m³, y son uno de los puntos principales de descarga de agua de la conducción El Sáuz. La capacidad de regulación requerida de ambas zonas es de 2135.76 m³, inferior a los 20,000 m³. Aunque estos tanques también tienen la función de controlar el caudal de la conducción El Sáuz y es un punto de distribución de agua hacia los tanques aguas abajo, como: el Colina, Saucito, Panamericana, Tanque A.

En la zona de influencia de estos tanques se tiene el tanque elevado Villas del Sol con 120 m³ de capacidad y una elevación de 29 metros, este tanque tiene su zona de influencia definida. Además se tiene los pozos Picacho 1, 2 y 3, que envían el agua directamente a los Tanques.

El Caudal derivado de la conducción El Sáuz a los Tanques Loma Larga se controla con una válvula parcialmente abierta, sería más conveniente contar con una válvula reguladora de caudal.



Lámina 6.3. Zona de Influencia del Tanque Loma Larga

Durante la campaña de medición de presiones no se encontraron áreas de baja presión, aunque ambas zonas tienen un horario de servicio de agua de las 4:00 a las 10:00 am y de las 16:00 a las 20:00 horas. El caudal máximo demandado por ambas zonas es de 194.16 litros por segundo. En el proyecto de diseño de distritos hidrométricos, es posible modificar el horario de suministro de agua hacia algunas zonas de estas áreas de influencia (ver capítulo siguiente).

6.2.6 Tanque Chihuahua 2000 y Arroyos

El área de influencia de los pozos Arroyos 1 a 3 abastece a 1704 usuarios, estos pozos inyectan el caudal directamente a la red de esta área y las excedencias se envían al Tanque Chihuahua 2000. En los Arroyos se tiene también un tanque elevado, que funciona como excedencias, Tanque Arroyos, de capacidad de 450 m³ y con una altura de 27 metros. La capacidad de regulación requerida de esta zona de influencia es de 294 m³, por lo que el tanque elevado cumple con este requerimiento.

En cuanto al Tanque Chihuahua 2000, de capacidad de 5000 m³, abastece a 14189 usuarios, representa una de las áreas de influencia más grandes de la ciudad, con un caudal máximo demandado de 222.50 l/s, y una capacidad de regulación requerida de 2447.45 m³, por lo que el tanque tiene capacidad para amortiguar las variaciones horarias de la demanda.

Dentro de la zona de influencia de dicho tanque se encuentran el pozo XX aniversario 1 y el tanque elevado 20 aniversario de 50 m³ de capacidad y de 25 metros de altura, este tanque se encuentra fuera de servicio, ya que el tanque Chihuahua 2000 tiene la capacidad y la carga suficiente para satisfacer su área de servicio. En cuanto al pozo, éste no tiene un área definida e inyecta agua directo a la red.

En las mediciones no se encontraron zonas de baja presión. En el diseño de los distritos hidrométricos se buscará asignarle una zona de servicio del pozo, así como mejorar el horario de servicio, ya que actualmente se tiene el servicio de las 4:00 a las 10:00 y de las 16:00 a las 20:00 horas.

6.2.7 Tanques Cerro Grande, Santa Rita, San Jorge y Pozo Rancherías.

El Tanque Cerro Grande tiene capacidad para almacenar 5000 m^3 , su zona de influencia abastece a 13,823 usuarios y la zona requiere de una capacidad de regulación de 2384.32 m^3 , por lo que el tanque en la actualidad tiene la capacidad suficiente para regular las variaciones horarias. De este tanque ya se realizó el proyecto de sectorización (ver capítulo siguiente) y algunas de sus obras ya fueron puestas en marcha por la JMAS. De acuerdo a dicha sectorización se requirió modificar un poco la frontera que compartía con el Tanque Santa Rita, ya que en algunos puntos se presentaban zonas de baja presión en los horarios de máxima demanda (ver Lámina 6.4). El Tanque Cerro Grande se abastece de la conducción puertas de Chihuahua y el caudal de entrada se controla con una válvula parcialmente cerrada, los niveles del agua en el tanque se controlan desde el centro de control de la JMAS de manera automática.

El pozo Rancherías abastece a 2454 usuarios, en caso de que este pozo deje de funcionar, esta zona puede abastecerse por el Tanque Cerro Grande.

El Tanque Santa Rita abastece a 11841 usuarios, éste tiene una capacidad de almacenamiento de 5000 m^3 , la capacidad de regulación requerida de esta zona es de 2042.44 m^3 . El tanque se abastece de la conducción Tabalaopa Aldama mediante el rebombeo X2. Con las modificaciones realizadas en el proyecto de sectorización (capítulo siguiente), se eliminan las zonas de baja presión.

Desde el Tanque Santa Rita se envía el agua al Tanque San Jorge, mediante un rebombeo. Este tanque tiene capacidad de almacenamiento de 1500 m^3 , y la capacidad de regulación requerida es de 745.67 m^3 , en el proyecto de sectorización de esta zona de la ciudad se amplía su área de influencia (ver Lámina 6.4). Actualmente abastece a 4323 usuarios.

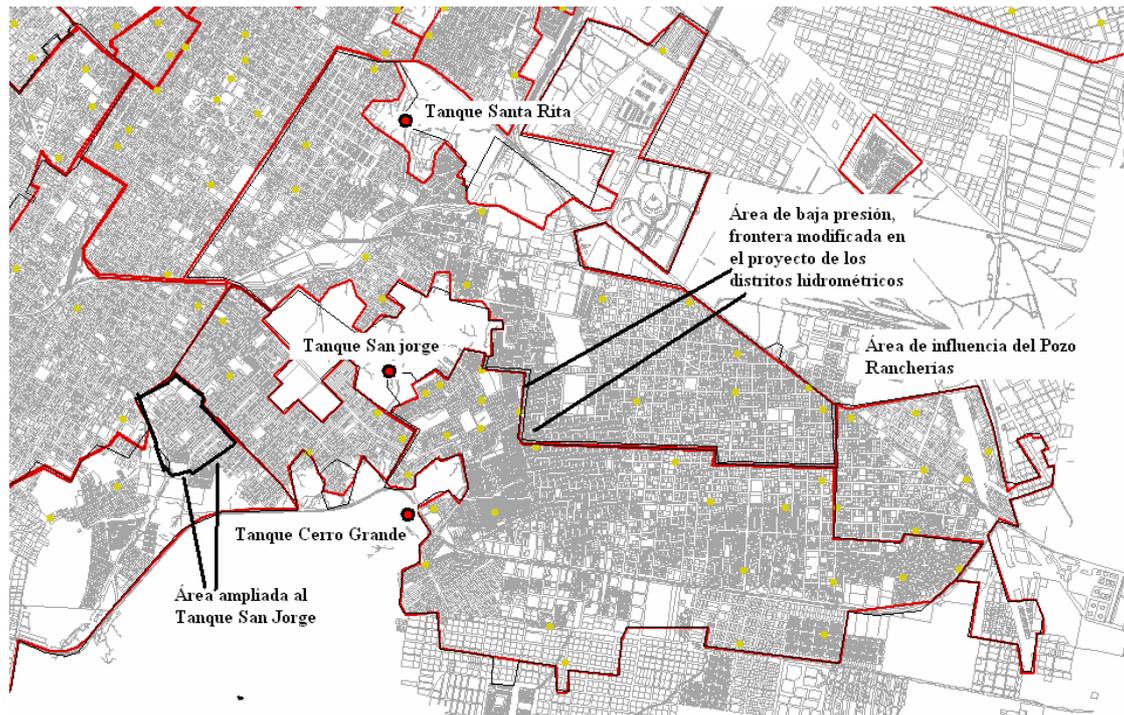


Lámina 6.4. Áreas de influencia de los Tanques Cerro Grande, Santa Rita, San Jorge y del Pozo Rancherías

6.2.8 Pozo Cipres

Este pozo tiene definida su propia zona de influencia, que abastece a 1686 usuarios, con un gasto máximo demandado de 26.44 l/s, aunque el pozo produce hasta los 36.33 l/s, suficiente para absorber las variaciones horarias. Para mejorar su operación sería conveniente la instalación de un variador de velocidad.

6.2.9 Pozos Sacramentos Viejos, Nombre de Dios de Arriba y No. 7, Tanque Nombre de Dios y rebombeo Paso del Norte

Esta área de influencia se abastece directamente de la conducción Sacramentos Viejos, para que la conducción de la presión necesaria para abastecer esta zona, se estranguló con una válvula en la calle Sicomoros. El área de influencia abarca un total de 1763 usuarios, con un caudal máximo demandado de 27.65 l/s. El modelo simula una zona de baja presión en la parte norte de esta área de influencia (menos de 10 mca), por lo que será necesario reforzar tramos de tubería (ver Lámina 6.5).

Esta zona de influencia también se puede abastecer con la conducción Aldama Nombre de Dios, la ventaja es que se tendrían mayores presiones de servicio, en el proyecto de sectorización se indican los puntos en que es posible colocar reguladoras de presión y de esta manera aprovechar el suministro desde la conducción de Aldama Nombre de Dios.

La Zona de Influencia del Tanque Nombre de Dios, abarca dos áreas en la primera se tienen 5294 usuarios que demanda un caudal máximo de 82.31 l/s, la segunda zona localizada a un lado del tanque Colina abastece a 2232 usuarios con un caudal máximo

demandado de 35.0 l/s. La capacidad de regulación requerida por ambas zonas es de 1290.4 m³, inferior a los 10,000 m³ que tiene de capacidad el Tanque Nombre de Dios. Es importante mencionar que desde este tanque también se envía agua al tanque 4, al Rebombéo coronel y al tanque B.

Con el proyecto de sectorización la zona del Tanque Nombre de Dios localizada al lado del Tanque Colina sufre una modificación.

En cuanto a la zona de influencia del Pozo Nombre de Dios de Arriba, ésta abastece a 1596 usuarios, con un caudal máximo demandado de 25.03 l/s, muy similar a los 23.93 l/s que produce dicho pozo, en esta área de influencia se detectó una zona de baja presión (menos de 10 mca), en la zona norte (ver Lámina 6.5).

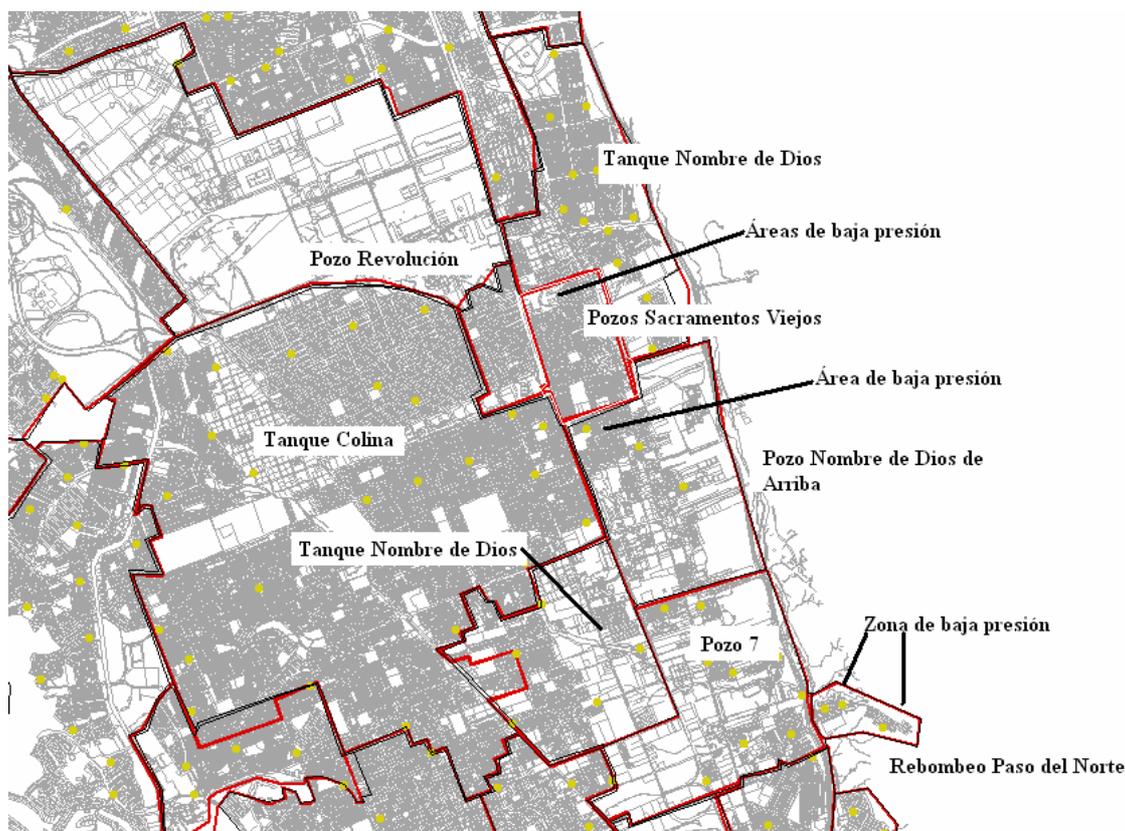


Lámina 6.5. Áreas de influencia del Tanque Nombre de Dios, Pozos Sacramentos Viejos, Revolución, Nombre de Dios de Arriba y no. 7.

El Pozo No 7, abastece a 2253 usuarios. Esta zona demanda un caudal de 35.53 l/s, además desde este pozo se suministra el rebombéo paso del Norte que cuenta con 217 usuarios. Durante la campaña de medición de presiones se encontró que esta área de influencia presentaba zonas de baja presión, menores a 10 mca.

El Pozo no. 7 produce un caudal de hasta 55.51 l/s, superior a lo demandado por estas áreas, los excedentes se inyectan a la conducción de Sacramentos Viejos.

6.2.10 Tanques Misiones, Jardines y Saucito y Conducción El Sáuz Mesquites.

El Tanque Misiones abastece a 1767 usuarios, tiene una capacidad de almacenamiento de 600 m^3 y se abastece directamente desde la conducción El Sáuz (ver Lámina 6.6). La capacidad de regulación necesaria es de 305 m^3 , por lo que el tanque puede regular su variación horaria, el caudal máximo demandado es de 27.71 litros por segundo.

El Tanque Jardines abastece a 1516 tomas, éste tiene una capacidad de 400 m^3 , y también se abastece desde la conducción El Sáuz, la capacidad de regulación necesaria en esta zona es de 262 m^3 , con lo que el tanque puede regular las variaciones horarias. El caudal máximo demandado es de 23.77 litros por segundo.

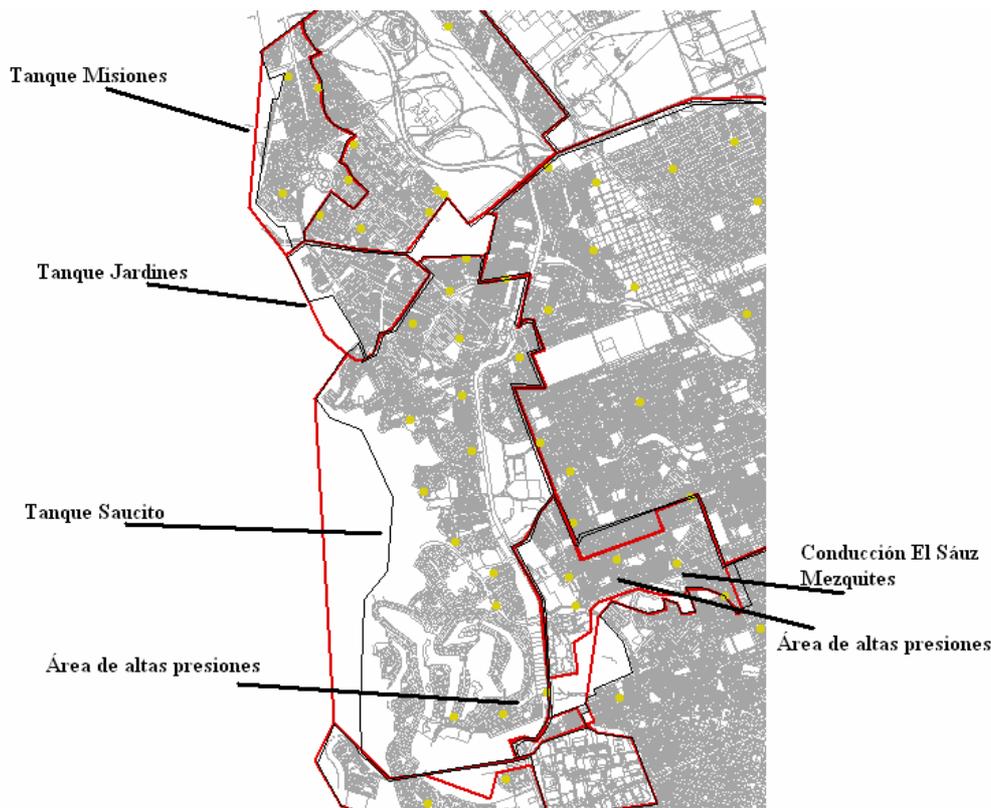


Lámina 6.6. Áreas de influencia de los Tanques Misiones, Jardines y Saucito y de la conducción El Sáuz – Mezquites

El Tanque Saucito, con capacidad de 5000 m^3 , abarca una zona con 9218 usuarios, la topografía es completamente irregular que van desde los 1498 msnm hasta los 1611 msnm. En esta zona se cuenta con varios rebombes, como el Bahías que envía en agua a los tanques Bahías de 30 m^3 de capacidad y al tanque Lomas Universidad de 100 m^3 de capacidad, ambos son tanques elevados y tienen su propia zona de influencia.

Existe otro rebombeo al lado del tanque Saucito que envía el agua hacia la zona este de esta área de influencia. Además se tienen los tanques Elevados Riconadas de la Sierra uno y dos, de 80 y 100 m^3 respectivamente, ambos con su zona de influencia.

Durante la campaña de medición se encontró una zona de altas presiones (ver Lámina 6.6) de más de 6.0 kg/cm^2 , Esto se debe a lo accidentado de su topografía. En el proyecto de sectorización de esta zona de influencia se modificará la red para evitar estas condiciones de operación.

En cuanto a la conducción El Sáuz Los Mezquites, ésta se abastece directamente de la conducción, cuenta con una válvula a la entrada que se opera de acuerdo a un horario de servicio, en esta zona se tienen 4595 tomas con un caudal máximo demandado de 72.05 litros por segundo, también se encontró un área de altas presiones (mas de 60 mca) que ve ser corregida en el proyecto de sectorización (ver capítulo siguiente)

6.2.11 Tanques Haciendas del Valles, Cubres, Campanario I y II, Tanques No 1 y No 2 y Pozo Quintas

El Tanque Haciendas del Valles de capacidad de 1200 m³, se suministra de agua de la conducción El Sáuz, su zona de influencia abarca a 5264 usuarios (ver Lámina 6.7), con un caudal máximo demandado de 22.56 l/s, la capacidad de regulación necesaria en esta zona es de 248.12 m³, menor a la instalada, en las mediciones de campo no se detectaron zonas de baja presión. En la misma área de influencia se localiza el Tanque Santa Fe de 500 m³ de capacidad y que abastece la parte sur de la misma.

El Tanque Cumbres, tiene 100 m³ de almacenamiento, y abastece a 521 usuarios que requieren una regulación de 89 m³, el tanque se suministra de la conducción El Sáuz, aunque para llegar al nivel del tanque se cuenta con un rebombeo.

En cuanto a los Tanques Campanario I y II, de acuerdo al análisis de la red, abastecen a 2056 y 553 tomas domiciliarios respectivamente, estos tanques se abastecen desde el pozo Virreyes, y tienen la opción de abastecerse desde la conducción El Sáuz. La Capacidad de cada tanque es de 450 m³, y las necesidades de regulación de cada zona son de 354 y 248 m³ respectivamente. Una parte del campo de Golf se abastece del Tanque Campanario I y la otra del Campanario II.

El Pozo Quintas, inyecta agua directo a la red de distribución, su zona de influencia comprende a 1839 usuarios, con un caudal máximo demandado de 28.48 l/s. Esta zona no presento problemas de bajas presiones. El Pozo Quintas produce hasta 57.35 l/s, por lo que las excedencias son enviadas al Tanque No 1.

En cuanto al Tanque No 1. Además de suministrarle agua desde el Pozo Quintas, también se puede suministrar agua desde la Conducción El Sáuz, La zona de influencia de este tanque comprende a 2643 usuarios con un caudal máximo demandado de 41.44 l/s. El tanque tiene capacidad para 3000 m³ y sus necesidades de regulación son de 456 m³. En esta zona no se presentan problemas de baja presión, aunque se tiene la probabilidad de que tenga conexión con la zona de influencia del tanque 2.

El Tanque No 2, se suministra de agua desde la conducción El Sáuz, con una capacidad de 3000 m³, en su área de influencia existen 1396 tomas domiciliarias, con un caudal máximo demandado de 240.79 l/s. En cuanto a las necesidades de regulación se requieren de 241 m³, por lo que la capacidad del tanque es más que suficiente.

En cuanto al Tanque Lomas Rejón, este es de una capacidad de 5000 m³, se suministra de agua desde la Conducción El Sáuz, su zona de influencia tiene 2638 usuarios con un caudal máximo demandado de 455 l/s. En la Parte sur de esta zona de influencia se tiene

el tanque FOVISSSTE 8 de 500 m³ de capacidad, este tanque se abastece desde el Tanque Lomas Rejón. En el análisis de la red no se presentan zonas de baja presión.

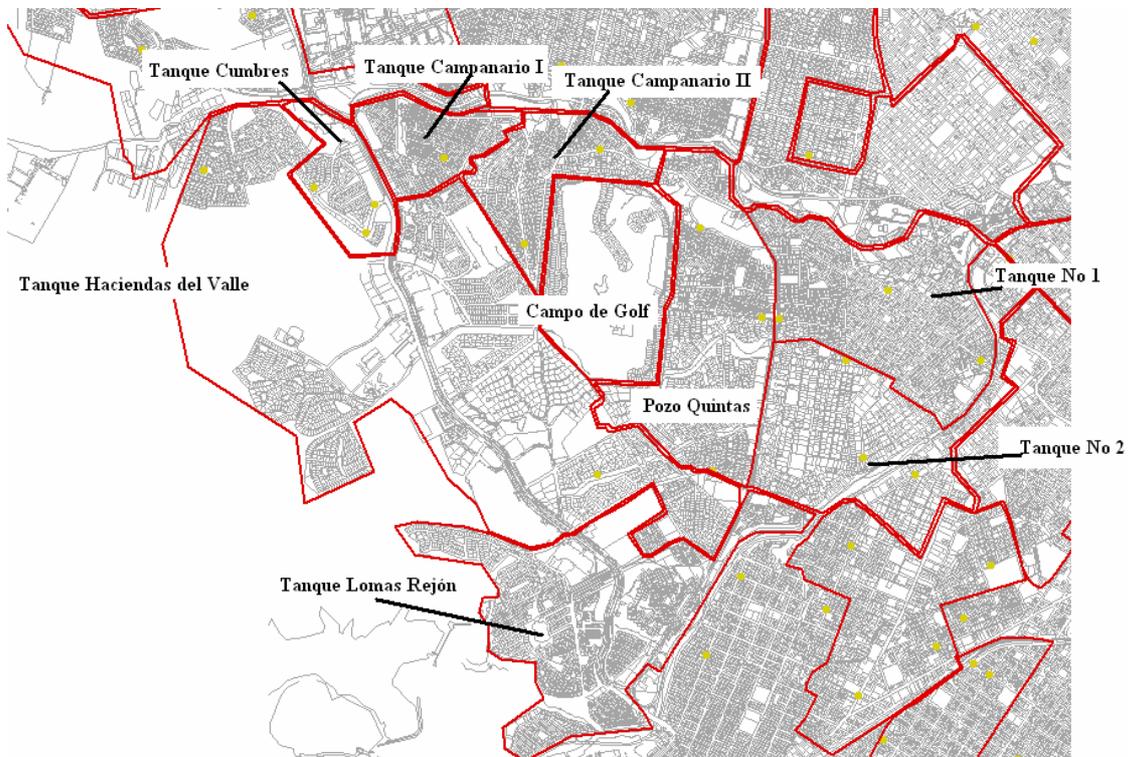


Lámina 6.7. Zonas de influencia de los Tanques Haciendas del Valle, Cumbres, Campanario I y II, Tanques No 1 y No 2 y Pozo Quintas

6.2.12 Zona de influencia de los Pozos No 8, CIMA, FFCC y Conv., San Felipe, Tanques No. 4 y Coronel y Rebombes Cerro Prieto y Sacramento.

El Pozo No 8, abastece directo a la red a 3909 usuarios, El pozo produce un caudal de 51.07 l/s y la zona de influencia demanda 61.30 l/s (el caudal faltante proviene de la zona de influencia de los pozos CIMA, FFCC y Conv.), además desde este pozo se suministra agua al rebombeo Cerro Prieto que a su vez abastece 227 usuarios con un caudal máximo demandado de 3.56 l/s. En la medición de presiones se registraron presiones bajas en esta zona de influencia (ver Lámina 6.8).

Los Pozos CIMA, FFCC y Convenciones, suministran agua a red, en una misma zona de influencia, que cuenta con 3657 usuarios, con un caudal máximo demandado de 57.34 l/s. La suma de caudales de los tres pozos es de 128.95 l/s. Las excedencias del caudal se envían a la zona de influencia del Pozo No 8. Es decir la zona del pozo 8 no esta totalmente sectorizada.

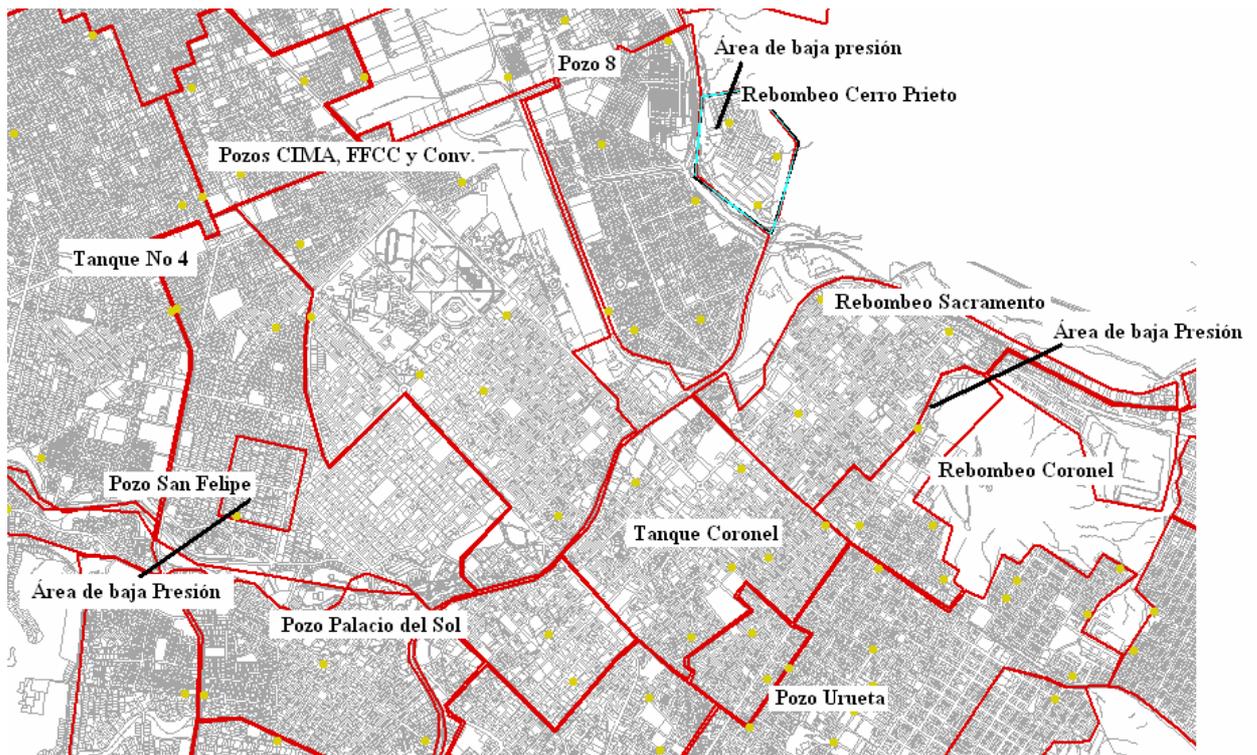


Lámina 6.8. Zona de influencia de los Pozos No 8, CIMA, FFCC y Conv., San Felipe, Tanques No. 4 y Coronel y Rebombos Cerro Prieto y Sacramento.

El Pozo San Felipe, suministra a red un caudal de 12.97 l/s. Abastece a 358 usuarios que demandan un caudal máximo de 5.61 l/s, el resto del caudal se envía a la zona de influencia del Tanque no 4, por lo que ambas zonas de influencia no están totalmente aisladas una de la otra. En la campaña de medición de presiones se detectó esta área como una zona de baja presión (menos de 10 mca).

El Tanque No. 4, tiene capacidad de almacenamiento para 3000 m³, se le suministra de agua desde la conducción Aldama Nombre de Dios. Abastece a 2925 usuarios con un gasto máximo demandado de 45.87 l/s. En esta zona de influencia se localiza el Tanque No 3 Que no está en funcionamiento.

El Rebombero Sacramento, además de suministrar agua a su zona de influencia, envía agua hacia el Tanque Coronel. Este rebombero recibe agua de la conducción Sacramentos Viejos. Su área de influencia abarca 2525 usuarios que demandan 39.59 l/s. En la campaña de medición de caudales se encontró que un área de esta zona de influencia presentaba presiones menores a los 10 mca.

Desde El tanque Coronel, se abastecen dos zonas la primera del mismo nombre con 2605 usuarios y la segunda conocida como rebombero Coronel con 970 usuarios, la segunda presentó una presión menor a los 10 mca durante las mediciones de presión. Desde el Rebombero Coronel se envía agua al Tanque B.

Pozo Palacio del Sol, inyecta agua directo a la red, su zona de influencia abastece a 983 usuarios que demandan un caudal máximo de 15.41 l/s. El Pozo produce hasta los 23.29 l/s. Durante la revisión del catastro de la red no se definió se el agua es envía hacia otra

zona de influencia, es decir que la zona de influencia del pozo Palacio del Sol no esta totalmente separada de otras zonas de influencia.

En cuanto al Pozo Urueta, también inyecta agua directo a la red, su área de influencia comprende a 868 usuarios que demanda 13.61 l/s. El pozo produce 26.91 l/s. por lo que no está bien definido si el resto del agua se envía hacia otra zona de influencia.

En el análisis y diseño de distritos hidrométricos (capítulo siguiente) se definirá más a detalla la zona de influencia tanto del Pozo Palacio del Sol como del Pozo Urueta.

6.2.13 Zona de influencia de los Tanques A, B, Filtros, No 7 y Tanque A y Conducción El Sáuz y Pozo Cerro de la Cruz.

El Tanque A, es un de los tanques más importantes del sistema, en este punto convergen tres conducciones, la del Sáuz, Ojos de Chuvistar y Puertas de Chihuahua, su capacidad de almacenamiento es de 5000 m³, abastece una zona en la que se tienen 11097 usuarios que demandan un caudal máximo de 174.01 l/s, y en donde se requiere una capacidad de regulación de 1914 m³, menor a la del tanque. A pesar de su importancia, este tanque también puede ser considerado de excedencias, cuando no se utiliza el caudal de alguna de las conducciones entonces es enviado a este punto.

Esta área de la red de distribución representa un problema, ya que por ser de las zonas más antiguas, existe incertidumbre en cuanto a la actualización del catastro y de si existe alguna conexión con otras zonas de influencia. De las mediciones de presión se concluye que no se tiene zonas de presión baja.

El tanque A también suministra a otra área de influencia (ver Lámina 6.9) que comparte con la conducción El Sáuz, esta zona comprende a 3226 usuarios y que requiere de un caudal de 50.59 l/s, además de una capacidad de regulación de 557 m³. En las mediciones de presión se tienen zonas menores a los 10 mca, por lo que va ser necesario mejorar la distribución de agua en esta zona y cambiar, probablemente su configuración (en el capítulo siguiente se abordará este punto).



Lámina 6.9. Zona de influencia de los Tanques A, B, Filtros, No 7 y Tanque A y Conducción El Sáuz y Pozo Cerro de la Cruz.

El Tanque No 7, tiene una capacidad de almacenamiento de 5000 m^3 , se suministra de agua desde el Tanque A o desde la conducción El Sáuz. Su zona de influencia comprende de 2223 usuarios, con un caudal máximo demandado de 34.86 l/s. No presenta problemas de bajas presiones, aunque también se tiene incertidumbre si se conecta a alguna otra zona de influencia.

El Pozo Cerro de la Cruz, inyecta agua directo a la red de distribución, su área tiene 1483 usuarios con un caudal demandado de 23.25 l/s, el pozo produce 17.71 l/s, por lo que seguramente el resto es absorbido por la influencia del tanque A.

El Tanque B. es suministrado de agua por las conducciones de Aldama Nombre de Dios y Sacramentos Viejos, le llega desde el rebombeo Coronel, este tanque tiene capacidad para almacenar 5000 m^3 , su zona de influencia tiene 7065 tomas que demandan un caudal máximo de 110.79 l/s. En la medición de presiones se encontró una zona de baja presión en la frontera con la zona de influencia del tanque Santa Rita (ver Lámina 6.9).

El Tanque Filtros, realmente son dos tanques con capacidad para almacenar 2300 m^3 cada uno, su área de influencia tiene 3181 usuarios que demandan un caudal de 41.44 l/s. Se abastece del Tanque A o de la Conducción El Sáuz.

6.2.14 Áreas de influencia de LA Conducción Tabalaopa Aldama, El León, Planta Tratadora Sur, Pozos Jardines de Oriente, Robinson, Concordia, Aeropuerto 1, 2 y 3, Rebombeo X1 y Tanque 2 de Octubre.

La Conducción Tabalaopa Aldama suministra agua directo a la red (Ver Lámina 6.10), en esta zona de influencia se abastecen 3742 usuarios, el caudal máximo demandado es

de 58.68 l/s. En esta área se tienen 4 tanques elevados: El Galeras de 200 m³ de capacidad y de 27 metros de alto, El Girasoles de 200 m³ de almacenamiento y 30 metros de alto, el California de 250 m³ de almacenamiento y 30 metros de alto y el Girasoles 2 de 200 m³ de capacidad y 27 metros de alto. Todos estos tanques no tienen su propia zona de influencia y por lo general son usados como tanques de excedencia en lugar de tanques de regulación, en el diseño de los distritos hidrométricos se propondrá una zona de influencia para cada uno de ellos.

Los Pozos Jardines de Oriente, es una zona con 3610 usuarios. Esta es de las áreas de la ciudad en donde se tiene un crecimiento de población importante, la zona cuenta con dos tanque elevados el Paseos Camino Real 1 con 250 m³ de capacidad y el Jardines de Oriente de 100 m³ de capacidad. Los dos pozos de Jardines de Oriente producen 75.21 l/s y la zona demanda 56.61 l/s, el caudal restante se envía a la conducción Tabalaopa Aldama. En el proyecto de sectorización se buscará definir una zona de influencia para cada tanque elevado.

Pozos Aeropuerto 1, 2 y 3, en esta zona existen 1208 usuarios que demandan un caudal máximo de 18.94 l/s, los pozos producen en conjunto 16.52 l/s, 21.82 l/s y 20.00 l/s respectivamente, pero por problemas en su operación el pozo aeropuerto 2 sólo funcionó 5 meses del año y el pozo Aeropuerto 1 estuvo sin operar 3 meses del año 2007. Por lo que prácticamente se tiene el pozo Aeropuerto 3 para suministrar esta zona.

Pozo Concordia, abarca una zona con 1418 usuarios que demandan un caudal máximo de 22.24 l/s, el pozo en si produce 32.60 l/s, suficiente para satisfacer también las variaciones horarias de la demanda. Durante la campaña de medición de presiones se detectaron dos zonas de baja presión en la frontera con el sector del pozo Robinson. En el proyecto de sectorización de esta área de la red se propondrán las modificaciones para evitar este problema.

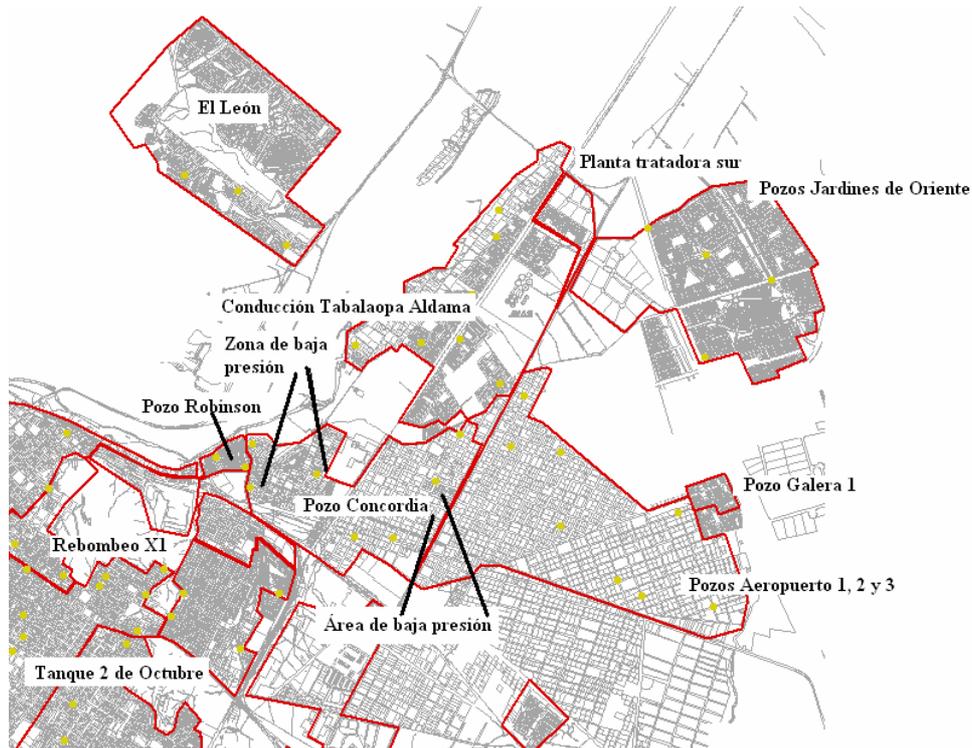


Lámina 6.10. Áreas de influencia de LA Conducción Tabalaopa Aldama, El León, Planta Tratadora Sur, Pozos Jardines de Oriente, Robinson, Concordia, Aeropuerto 1, 2 y 3, Rebombero X1 y Tanque 2 de Octubre.

El pozo Robinson 1 cuenta con 591 usuarios, con un caudal máximo demandado de 9.27 l/s. Este pozo produce 34.07 l/s, el caudal excedente se envía al rebombero X1. en esta zona de influencia se tienen los tanques elevados Ferias de 100 m³ de capacidad y el Ruben Jaramillo de 50 m³.

Rebombero X1, recibe el agua de la conducción Tabalaopa Aldama, de aquí se bombea una parte al rebombero X2, otra al los Tanques 2 de Octubre y El Sedue y otra parte a la red a su propia zona de influencia que cuenta con 542 usuarios, con un caudal máximo demandado de 8.50 l/s.

En la zona de influencia del Tanque 2 de Octubre con capacidad para 5000 m³ se tiene además el Tanque Sedue de 2000 m³, ambos tanques suministran agua a 2756 usuarios con un caudal demandado de 43.22 l/s. En el análisis de la red no se identificó una zona propia de influencia de ambos tanques por lo que en el diseño de los distritos hidrométricos se buscará definirles su propia área de suministro.

6.2.15 Áreas de influencia de la Conducción Ojos de Chuviscar, Rebombero Ánimas, Zootecnia y Tanque Esperanza.

La Conducción Ojos de Chuviscar deriva agua directamente a tres zona de la red, la primera abarca a 247 usuarios, la segunda a 1266 usuarios y la tercera en la que también la conducción el Sáuz deriva agua a red con 1563 usuarios. Los caudales demandados por estas áreas de influencia son de 3.87 l/s, 19.85 l/s y 24.51 l/s respectivamente. En ninguna de ellas se encontró áreas de baja presión.

El Rebombero Ánimas con 285 usuarios y un caudal máximo de 4.47 l/s, deriva agua desde la conducción Ojos de Chuviscar, en esta zona tampoco se encontró bajas presiones.

En el área de influencia de Zootecnia con 107 usuarios se demanda un caudal de 1.68 l/s, debido a su topografía en esta zona se encontraron bajas presiones.

El Tanque Esperanza de 3000 m³ de capacidad, abastece a 1945 usuarios con un caudal demandado de 30.50 l/s, en esta zona se encontraron dos áreas de baja presión (ver Lámina 6.11), en esta parte de la red se tienen el tanque Peña Blanca de 200 m³ de capacidad y el tanque elevado Peña Blanca de 50 m³ de capacidad.

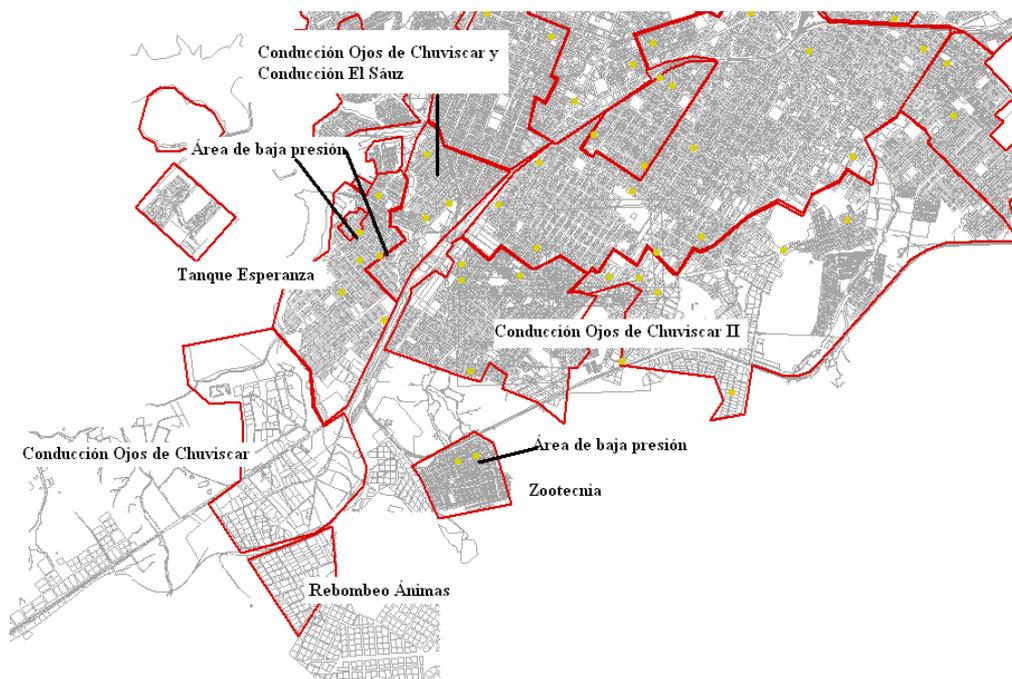


Lámina 6.11. Áreas de influencia de la Conducción Ojos de Chuviscar, Rebombero Ánimas, Zootecnia y Tanque Esperanza.

6.3 Conclusiones y recomendaciones

Los pozos que abastecen directo a red, al no tener ninguna estructura que amortigüe (como un tanque) las variaciones de la demanda, por lo tanto, éstos deben satisfacer la demanda máxima horaria. Este sistema es el menos deseable (ref. Redes de distribución,

Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento CNA, libro II, 1era sección, Tema 4), puesto que una falla en el sistema eléctrico, significa una interrupción completa del servicio de agua. Además las variaciones de la presión en las bombas se transmiten directamente a la red, lo que puede aumentar el nivel de fugas.

En la red de distribución de Chihuahua se da este tipo de caso en diversas zonas de influencia, para lo cual se recomienda lo siguiente: como primera opción instalar un tanque, aunque ésta representa un costo elevado por la construcción de nueva infraestructura.

La segunda opción es la instalación de variadores de velocidad, mismos que presentan ventajas y desventajas que a continuación se mencionan:

- El primer objetivo del variador de velocidad es mantener la presión constante en la red
- Una gran variabilidad en el flujo se puede satisfacer con menos equipos de bombeo y un sistema de control menos elaborado (este es el caso para los rebombes que inyectan directo a red).
- El costo de instalar un variador de velocidad es mayor que para un equipo de bombeo “normal”.
- El variador de velocidad requiere mantenimiento más especializado, además de una capacitación especial del personal de operación de dichos equipos.
- Se dan los casos que cuando el personal que opera los equipos no sabe como manejar los variadores de velocidad, los desconectan para que los equipos operen normalmente con lo que se pierde la inversión.
- Los cambios de frecuencia en la velocidad del motor, cuando se instala el variador de velocidad, disminuye la vida útil del mismo.
- Los variadores de velocidad son menos eficientes que los motores normales.
- Se requiere de una mayor instrumentación para el variador de velocidad.

En cuanto a la red de distribución en general se cuenta con buenas presiones de suministro, mayores a los 10 mca, a excepción de las zonas mencionadas en los párrafos anteriores. En la zona del Tanque A y B se tiene incertidumbre de si ésta están totalmente independientes, por lo que sería conveniente realizar un recorrido de campo para verificarlo, con el diseño de los distritos hidrométricos se seleccionará su área de influencia para cada tanque y pozos profundo, además se buscará mejorar la distribución de caudales en la red y homogenizar presiones, ya que se detectaron zonas de alta presión mayores a los 35 mca.

7. DISEÑO DE DISTRITOS HIDROMÉTRICOS EN LAS ZONAS DE INFLUENCIA DE TANQUES Y POZOS

7.1 Distritos hidrométricos en el Tanque Colina

La zona de influencia del Tanque Colina se dividió en 22 Distritos hidrométricos (ver Lámina 7.1), de los cuales los distritos S21 y S22 pasan a formar parte de la zona de influencia del tanque Panamericana.

En la Lámina 7.2, se muestran las áreas de cada distrito hidrométrico, para su diseño se tomó en cuenta la tubería principal, marcada en color naranja, esta tubería sirve como conducción de agua dentro de la zona de influencia del tanque, a la entrada de cada distrito hidrométrico se coloca un hidrómetro “en color rojo”, debido a las altas presiones (en algunos casos se tienen presiones mayores a 7 kg/cm^2 , se recomienda que cada hidrómetro sirva como reguladora de presión. En color gris se muestra la tubería nueva que debe instalarse para dividir la red del sector en los 22 distritos hidrométricos.

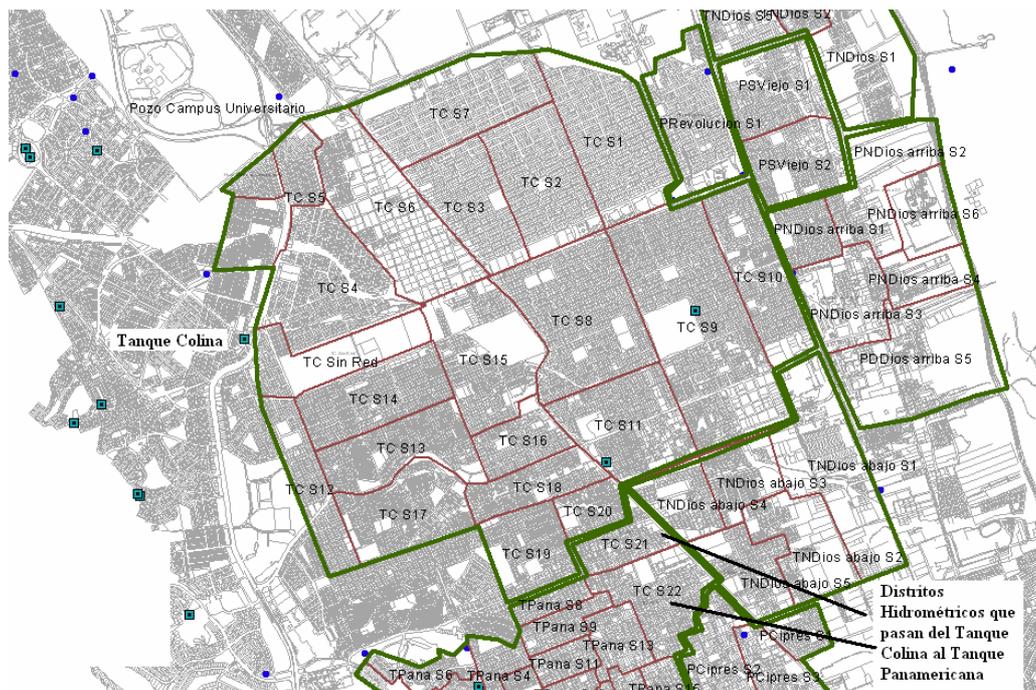


Lámina 7.1. Distritos hidrométricos en la zona de influencia del Tanque Colina

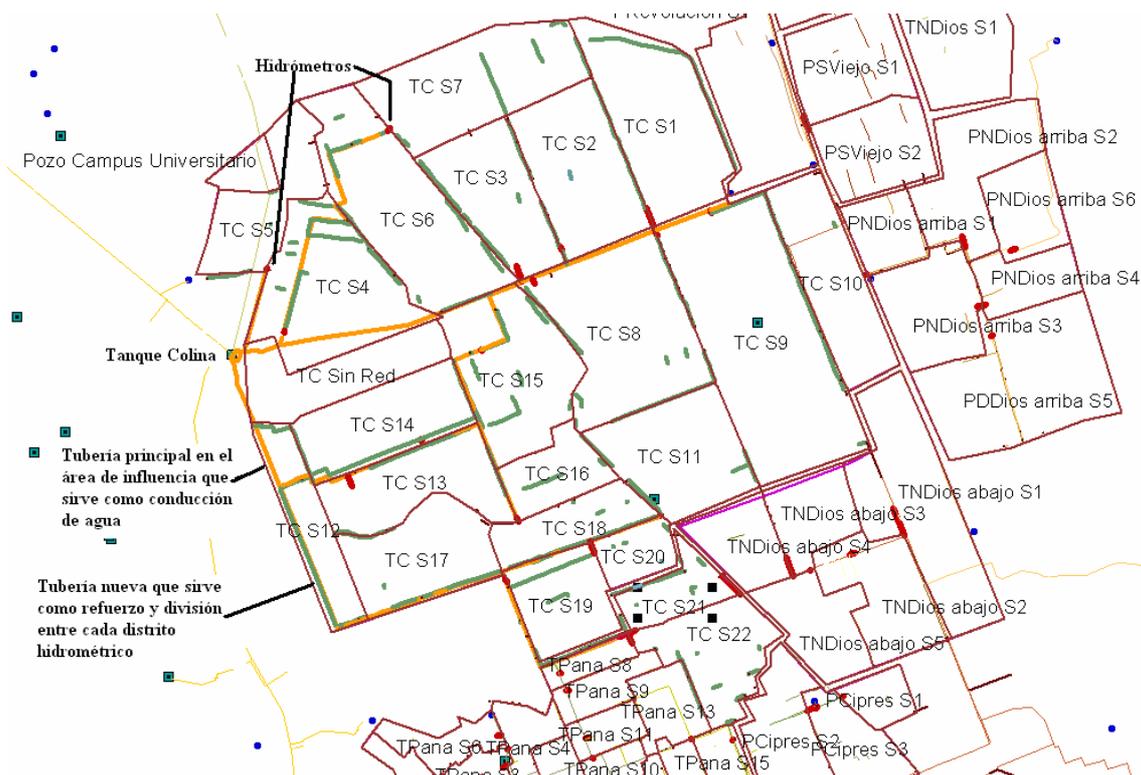


Lámina 7.2. Distritos hidrométricos en el Tanque Colina

Para dividir la red en los 22 distritos hidrométricos es necesaria la instalación de tubería nueva, en la Tabla 7.1, se muestran los diámetros y longitudes de las tuberías nuevas, en total se requiera de 26.98 km de diámetros que van desde 3 pulgadas hasta las 12 pulgadas..

Tabla 7.1. Tubería nueva en al zona de influencia del Tanque Colina

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (m)
76.2	3	19673.53
101.6	4	4435.42
152.4	6	1415.15
203.2	8	1264.37
304.8	12	189.87
		26978.34

Dentro de la zona de influencia del Tanque Colina se tiene dos tanques elevados el CTM de 100 m³ y 28 metros de alto y el Insurgentes de 50 m³ y 25 metros de alto, con el diseño de los distritos hidrométricos ambas estructuras quedan en desuso, ya que el tanque Colina por si sólo puede proporcionar la carga y el caudal necesario para cada distrito.

Como los distritos hidrométricos S21 y S22 del Tanque Colina pasan a formar parte del Tanque Panamericana, La capacidad de regulación necesaria es menor que la capacidad del tanque, por lo que el funcionamiento del mismo podrá amortiguar las variaciones horarias de la demanda de agua.

7.2 Distritos hidrométricos del Tanque Panamericana

Debido a lo accidentado de la topografía que abarca la zona de influencia del Tanque Panamericana, fue necesario dividirla en 28 distritos hidrométricos (ver Lámina 7.3), además se incorporan a su zona de influencia los distritos hidrométricos de tanque Colina TC S21 y TCS22. Con la división de la red en estos 28 distritos hidrométricos se logra homogenizar las presiones, se aprovecha la tubería principal que ya está instalada dentro de esta zona.

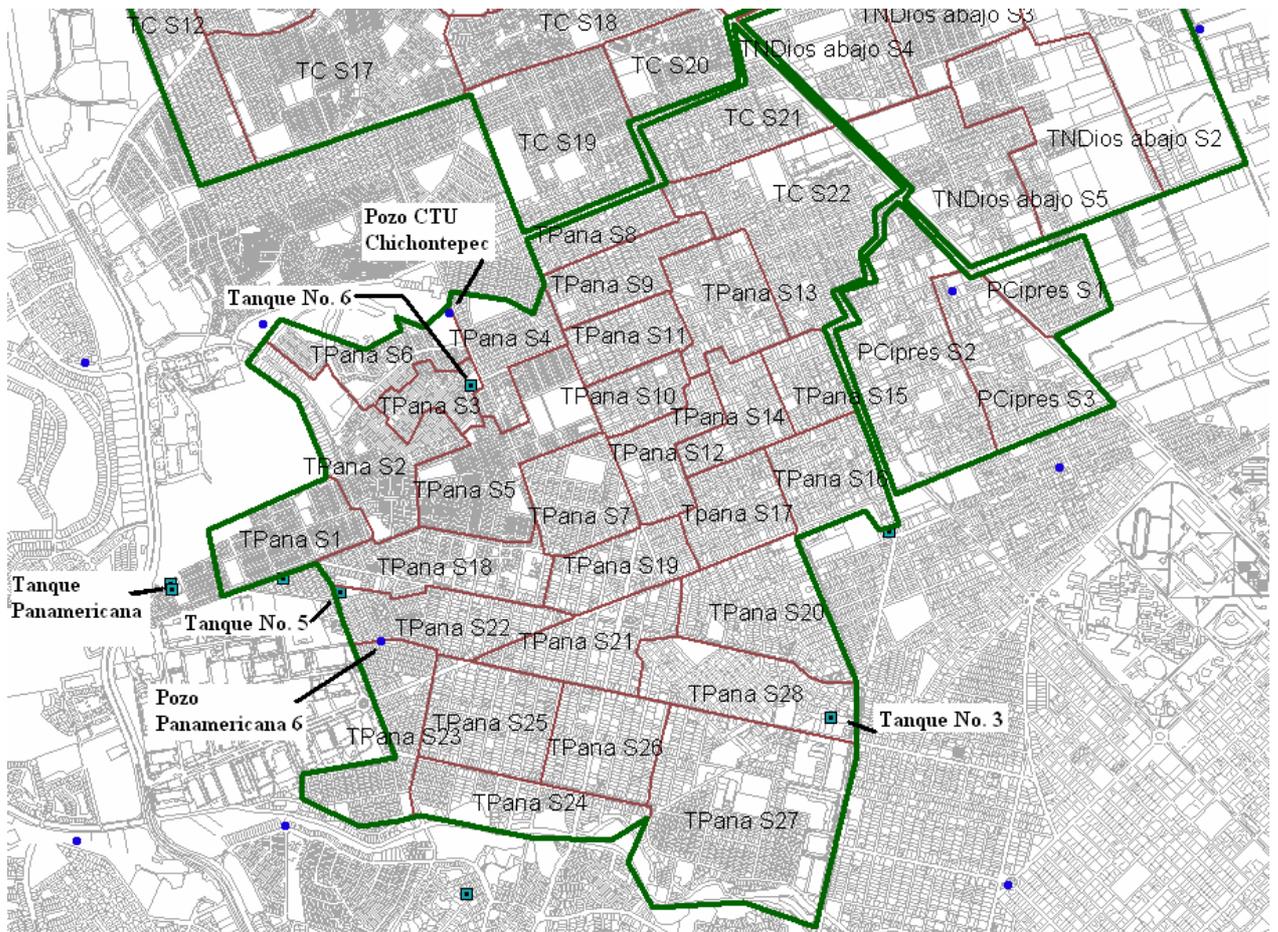


Lámina 7.3. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Panamericana

En la Lámina 7.4, se muestra la tubería principal que se utilizará como conducción de agua hasta la entrada de cada distrito hidrométrico (en naranja), la tubería nueva en gris y el punto en donde se ubicarían los hidrómetros. Para lograr la sectorización de esta zona de influencia en la Tabla 7.2, se muestra la longitud y diámetro de la tubería nueva necesaria. En total se requiere de 16.2 km de tubería nueva de diversos diámetros que van desde las 3 pulgadas hasta las 12 pulgadas.

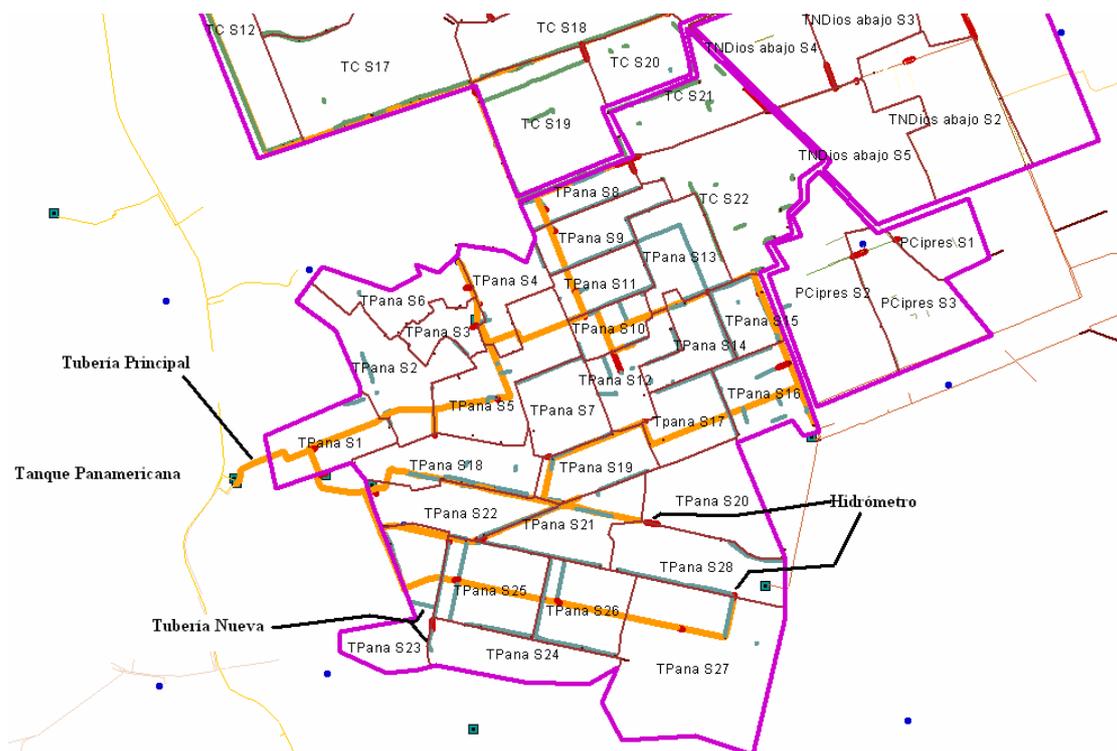


Lámina 7.4. Distritos hidrométricos del tanque Panamericana

Tabla 7.2. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del tanque Panamericana

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (m)
76.2	3	12782.62
101.6	4	1199.47
152.4	6	2170.44
203.2	8	41.91
304.8	12	11.29
		16205.73

7.3 Distritos hidrométricos del Pozo Ciprés

La zona de influencia del Pozo Ciprés se dividió en tres distritos hidrométricos (ver Lámina 7.5), para esto se aprovecho los desniveles topográficos con lo que se pueden homogenizar las presiones dentro de esta zona de influencia. En la Lámina 7.6, se muestra la tubería la tubería principal dentro del la zona de influencia y la tubería nueva necesaria para lograr la construcción de los distritos hidrométricos, además se identifican los puntos en donde se localizarían los hidrómetros.

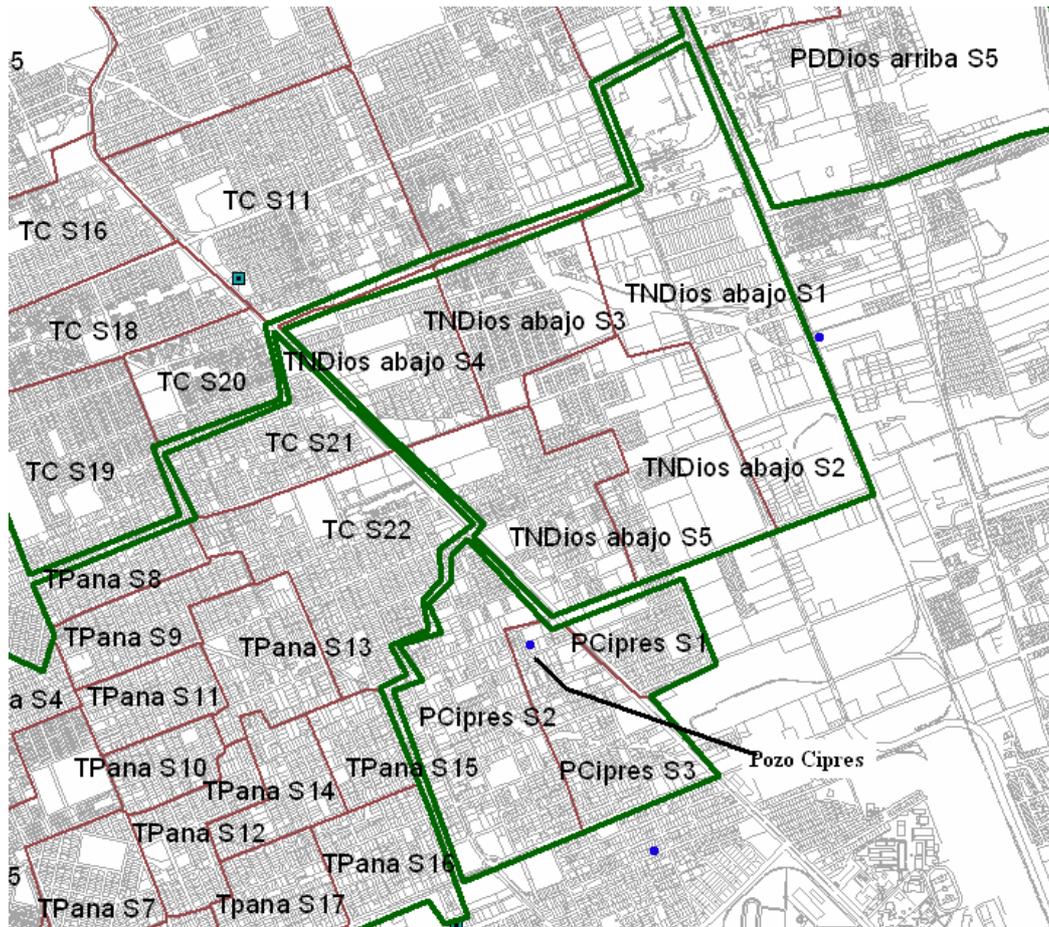


Lámina 7.5. Distritos hidrométricos del Pozo Ciprés

Para lograr la división en tres distritos hidrométricos de esta zona de influencia se requiere de instalar 1982 metros de tubería de tres pulgadas (ver Tabla 7.3).

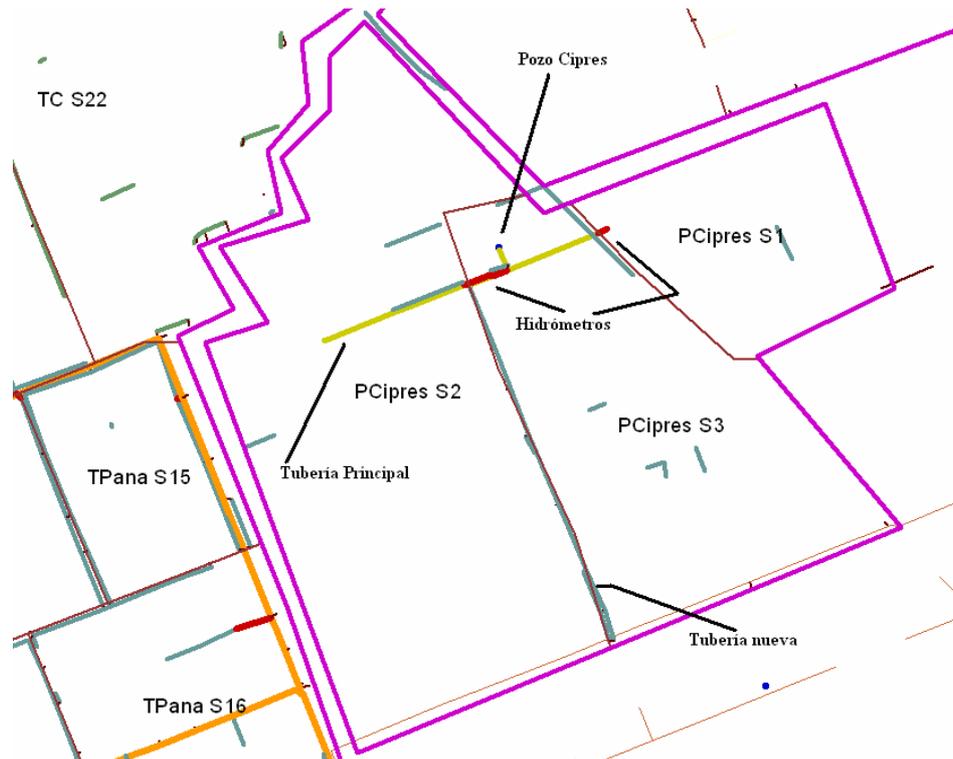


Lámina 7.6. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del pozo Cipres

Tabla 7.3. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del pozo Ciprés

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (m)
76.2	3	1982.0
101.6	4	-
152.4	6	-
203.2	8	-
304.8	12	-
		1982.0

7.4 Distritos Hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios y Tanque Nombre de Dios Abajo.

El Tanque nombre de Dios abastece las dos zonas siguientes: la primera es la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios localizada inmediatamente aguas abajo del Tanque, ésta se dividió en 5 Distritos hidrométricos (ver Lámina 7.7). La segunda zona se localiza al lado sur de la del Tanque Colina, misma que se dividió también en 5 distritos hidrométricos (ver Lámina 7.8)

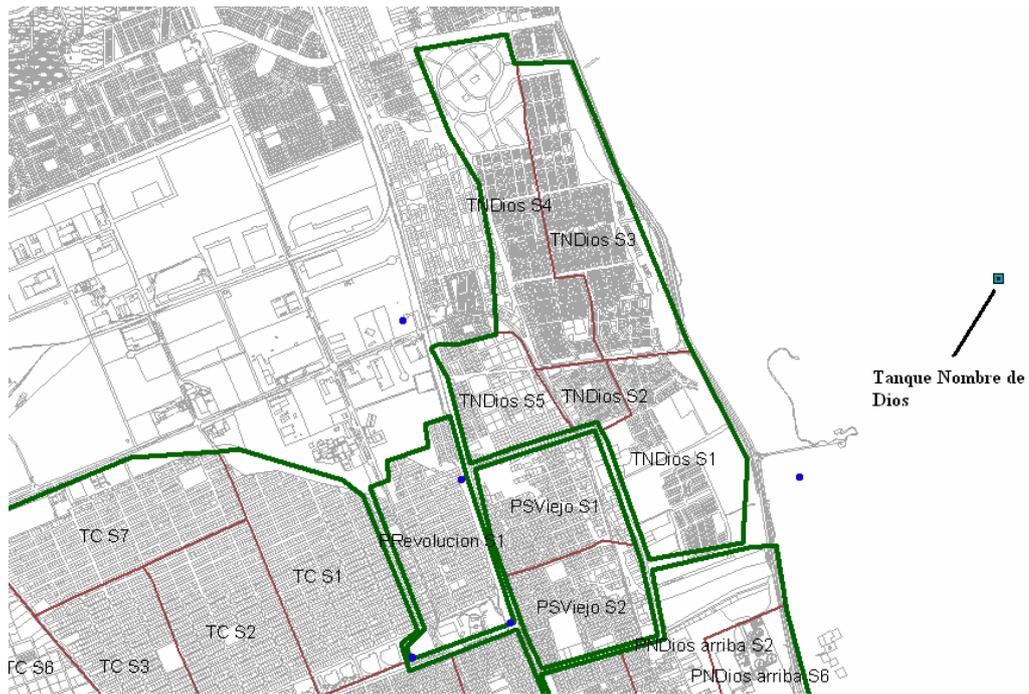


Lámina 7.7. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios

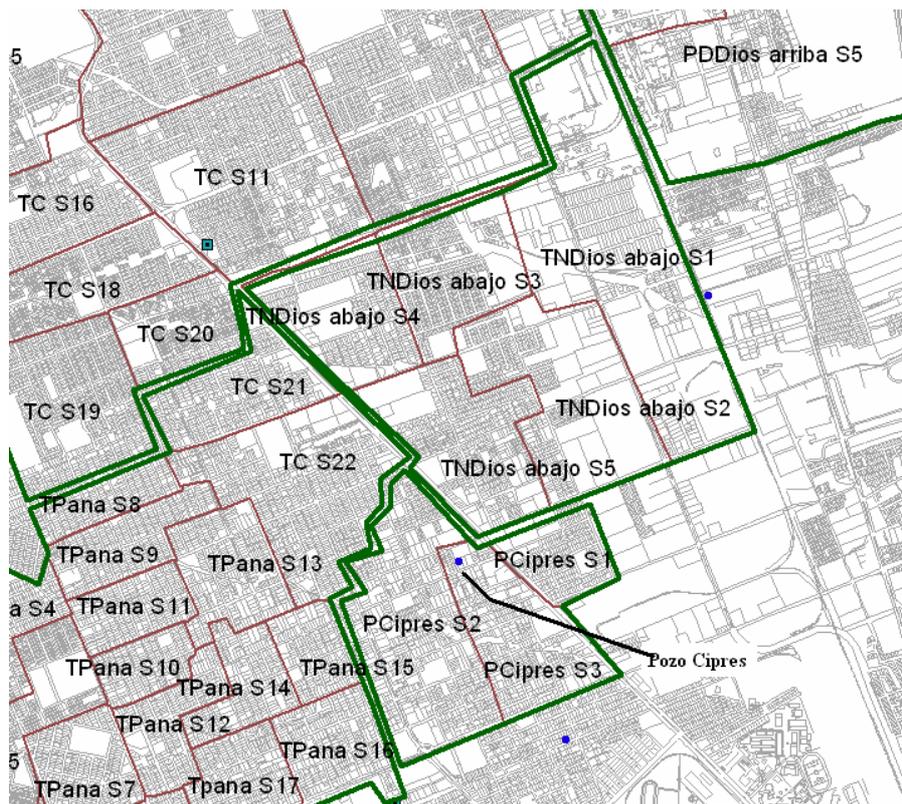


Lámina 7.8. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios Abajo

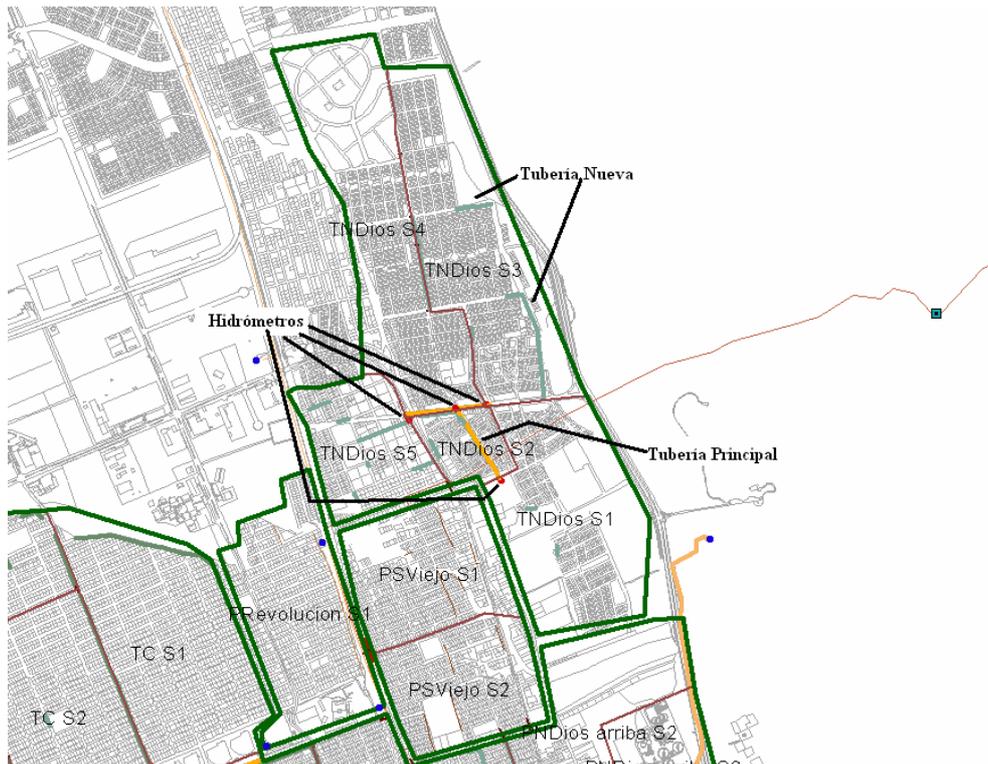


Lámina 7.9. Tubería nueva e hidrómetros en la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios

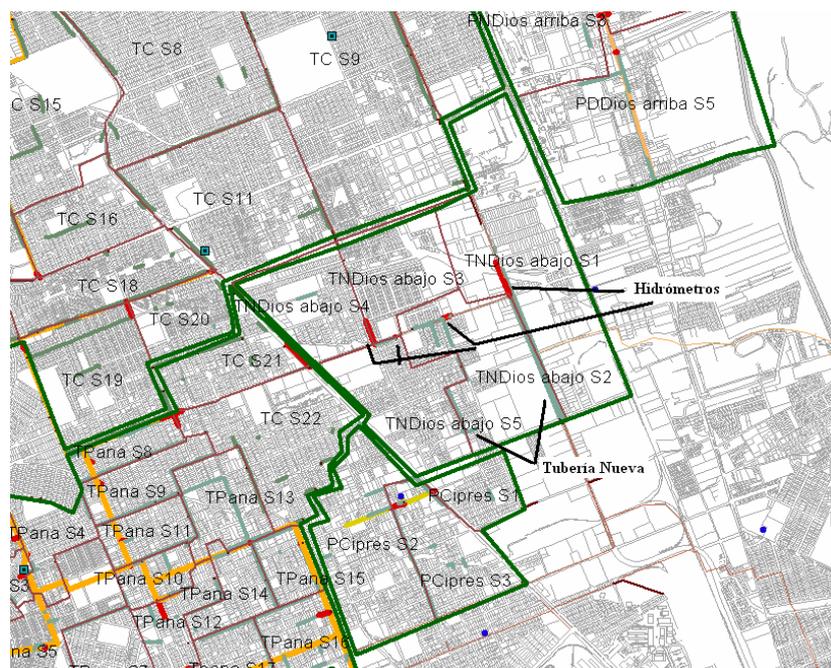


Lámina 7.10. Tubería nueva e hidrómetros en la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios abajo

En las Lámina 7.9 y Lámina 7.10 se muestra la localización de los hidrómetros y la tubería nueva necesaria para dividir las zonas en los distritos hidrométricos antes mencionados. En las Tabla 7.4 y Tabla 7.5, se indica la longitud y diámetro de la tubería nueva que es necesaria instalar en cada una de las dos zonas de influencia para dividir la red en los distritos hidrométricos mencionados.

Tabla 7.4. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (m)
76.2	3	532.9
101.6	4	615.3
152.4	6	749.8
203.2	8	611.49
304.8	12	0
		2509.5

Tabla 7.5. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Tanque Nombre de Dios Abajo

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (m)
76.2	3	2563.14
101.6	4	311.91
152.4	6	104.60
203.2	8	0
304.8	12	0
		2979.65

7.5 Pozo Revolución

El pozo revolución, por su tamaño se considera como un distrito hidrométrico por lo que se decidió no dividirlo, aunque se recomienda la instalación de tubería nueva para evitar que ésta termine en puntos muertos, esto mejora la circulación del cloro en la red.

En la Lámina 7.11, se muestra la tubería nueva a instalar en esta zona de influencia, se requiere de 1220 metros de tubería de 3 pulgadas de diámetro.

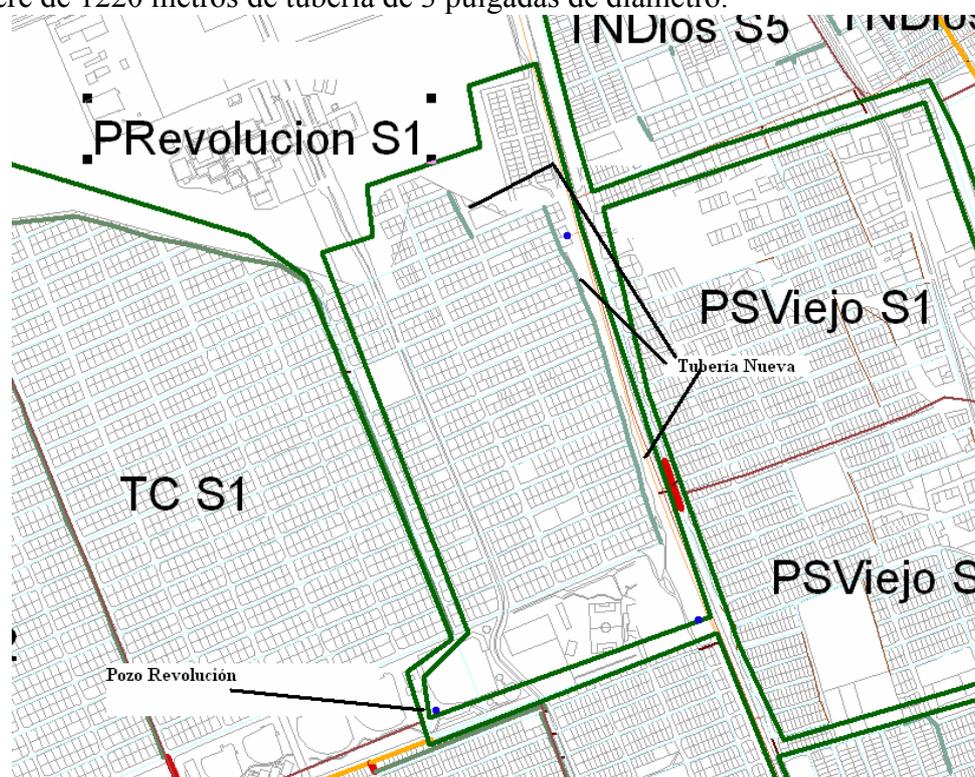


Lámina 7.11. Zona de influencia del pozo Revolución

7.6 Distritos Hidrométricos en la zona de influencia de Pozos Sacramentos Viejos

La zona de influencia de los pozos Sacramentos Viejos se dividió en dos distritos hidrométricos (ver Lámina 7.12), esta zona de influencia se abastece de la conducción del mismo nombre, aunque también puede suministrarse de agua de la conducción Aldama Nombre de Dios. En la entrada de la zona de influencia se encuentran los dos hidrómetros necesarios y además en la lámina se muestra la localización de la tubería nueva a instalar.

En total se requieren de 2440 metros de tubería de 3 pulgadas de diámetro para dividir la zona en los dos distritos hidrométricos.

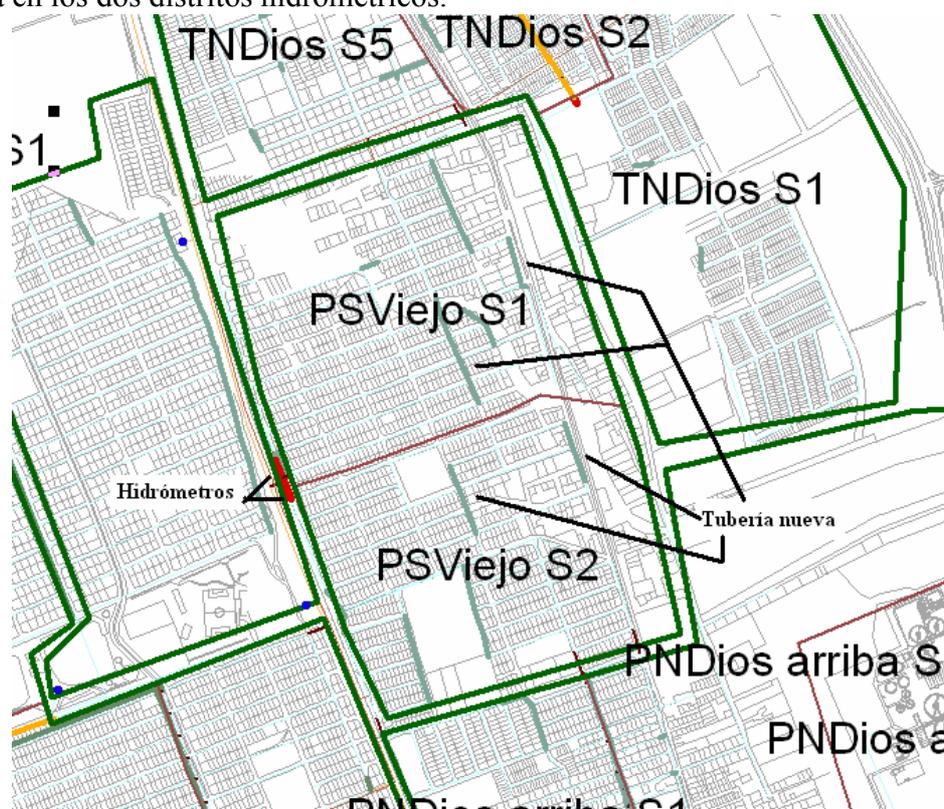


Lámina 7.12. Distritos Hidrométricos de la zona de influencia de Pozos Sacramentos Viejos

7.7 Distritos hidrométricos de la zona de influencia del pozo Nombre de Dios de Arriba.

La zona de influencia del Pozo Nombre de Dios de Arriba se dividió en seis distritos hidrométricos, en la Lámina 7.13, se muestra la tubería principal del sector, la tubería nueva a instalar y la localización de los hidrómetros. Para la división de la red de esta zona de influencia se requiere de 2971.8 metros de tubería de 3 pulgadas, 812.8 metros de tubería de 4 pulgadas, y 2438.4 metros de tubería de 6 pulgadas (ver Tabla 7.6)

Tabla 7.6. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Pozo Nombre de Dios Arriba

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (m)
76.2	3	2971.8
101.6	4	812.8

152.4	6	2438.4
203.2	8	0
304.8	12	0
		6223.0

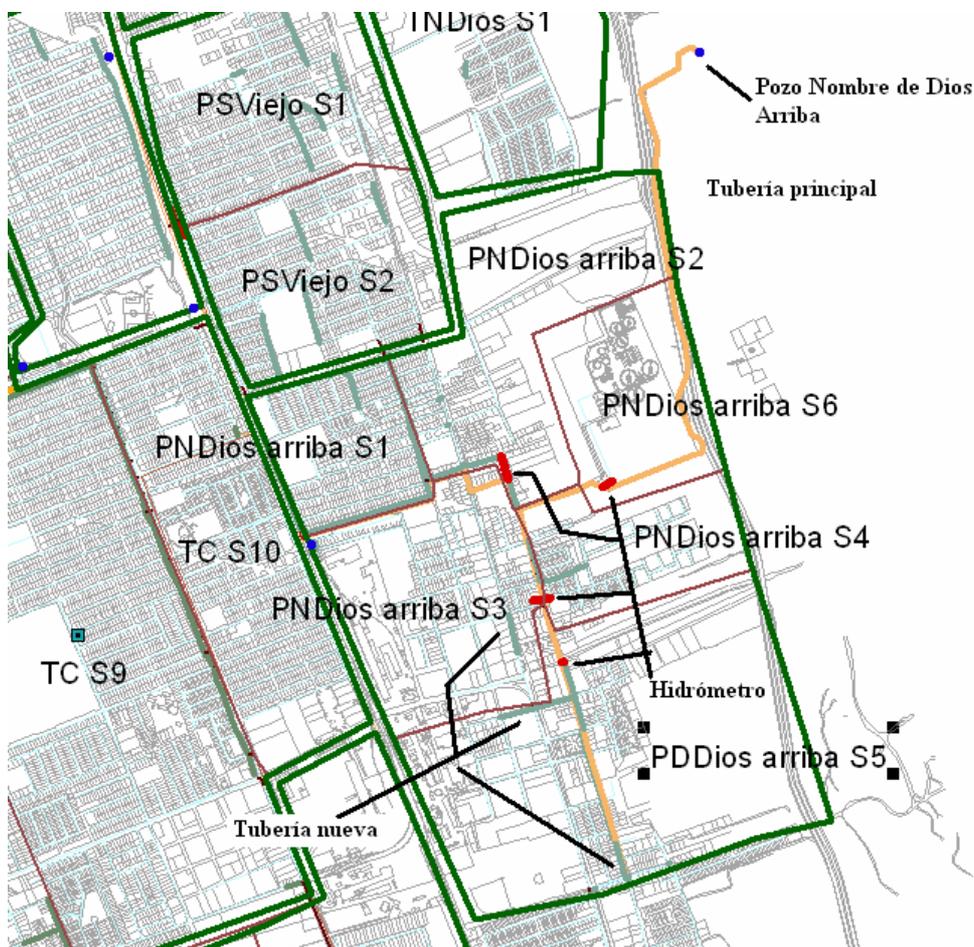


Lámina 7.13. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del pozo Nombre de Dios de Arriba

7.8 Distritos hidrométricos del Tanque Santa Rita

La zona de influencia del Tanque Santa Rita se dividió en 16 distritos hidrométricos (ver Lámina 7.14), en la frontera con la zona de influencia del tanque Cerro Grande se decidió pasar un área hacia este tanque ya que con la división de la red se presentarían zonas de baja presión si ésta se queda en el Tanque Santa rita.

En la Lámina 7.15, se muestra la tubería nueva y la localización de los hidrómetros, que permitirían la división de la red en los 16 distritos hidrométricos. En la Tabla 7.7 se muestran los diámetros y longitudes de tubería que son necesarios instalar, se requiere de 17.6 km de tubería de 3 pulgadas, 4.2 km de tubería de 4 pulgadas, 1.5 km de tubería de 6 pulgadas y 3 km de tubería de 8 pulgadas.

Tabla 7.7. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Tanque Santa Rita

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (m)
76.2	3	17591.01
101.6	4	4189.95
152.4	6	1482.38
203.2	8	3014.00
304.8	12	0
		26277.34

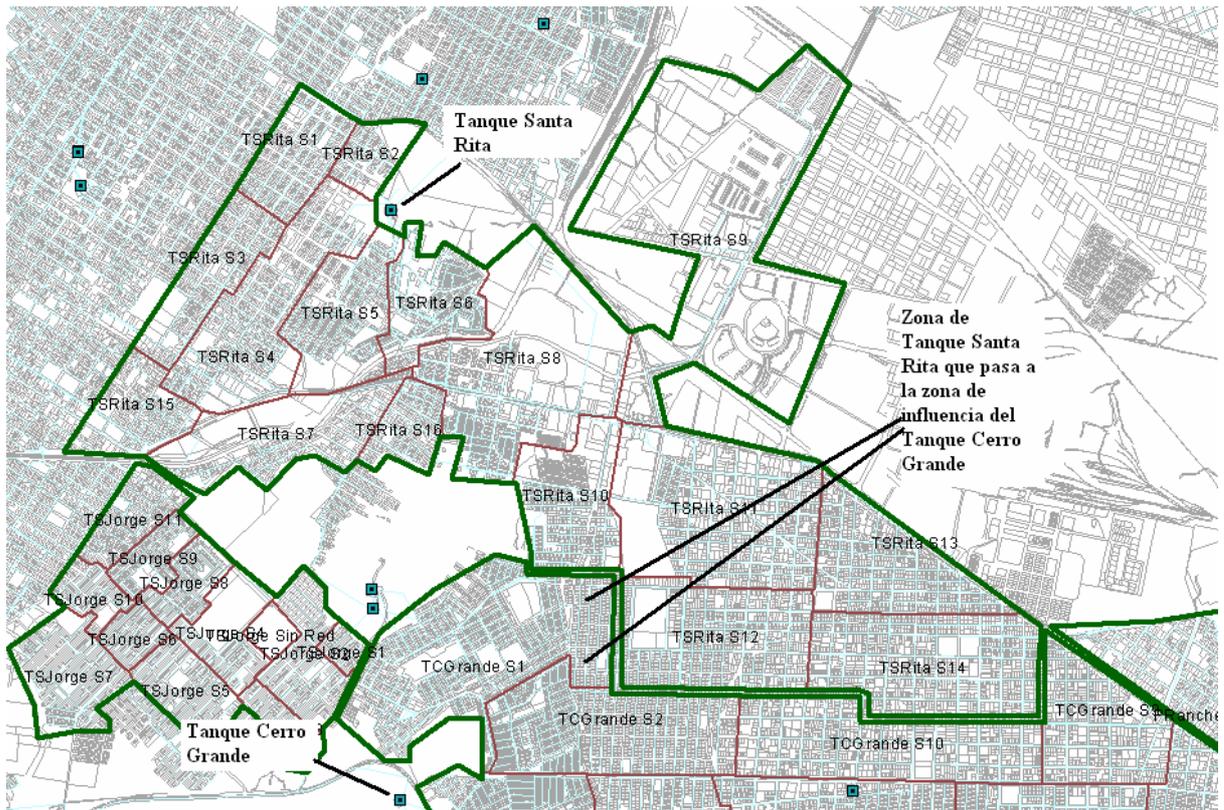


Lámina 7.14. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Santa Rita

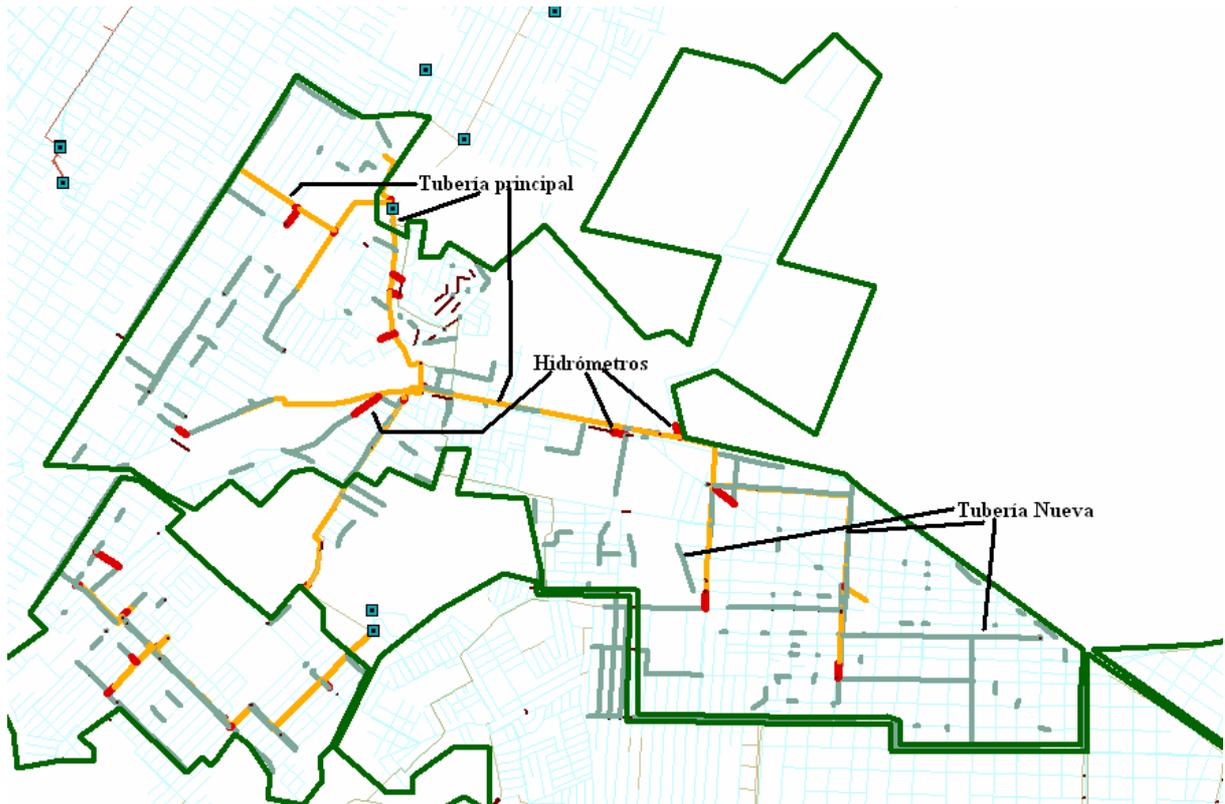


Lámina 7.15. Tubería nueva e hidrómetros en la zona de influencia del Tanque Santa Rita

7.9 Distritos hidrométricos del Tanque San Jorge

La zona de influencia del tanque San Jorge se dividió en 11 distritos Hidrométricos (ver Lámina 7.16), En esta zona de influencia se agregó el área que cubre el distrito hidrométrico TSJorge S7, que pertenecía a otra zona de influencia contigua. En la Lámina 7.17, se muestra la localización de la tubería nueva, la tubería principal y los hidrómetros.

En la Tabla 7.8, se muestran los diámetros y longitudes de las tuberías nuevas a instalar para dividir esta zona de influencia en los 16 distritos hidrométricos. En total se requiere de 63230metros de tubería que van desde las 3 pulgadas hasta las 8 pulgadas. Tabla 7.8. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Tanque San Jorge

Tabla 7.8. Tubería nueva a instalar en la zona de influencia del Tanque San Jorge

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (m)
76.2	3	4442.92
101.6	4	1425.84
152.4	6	244.21
203.2	8	210.20

304.8	12	0
		6323.17

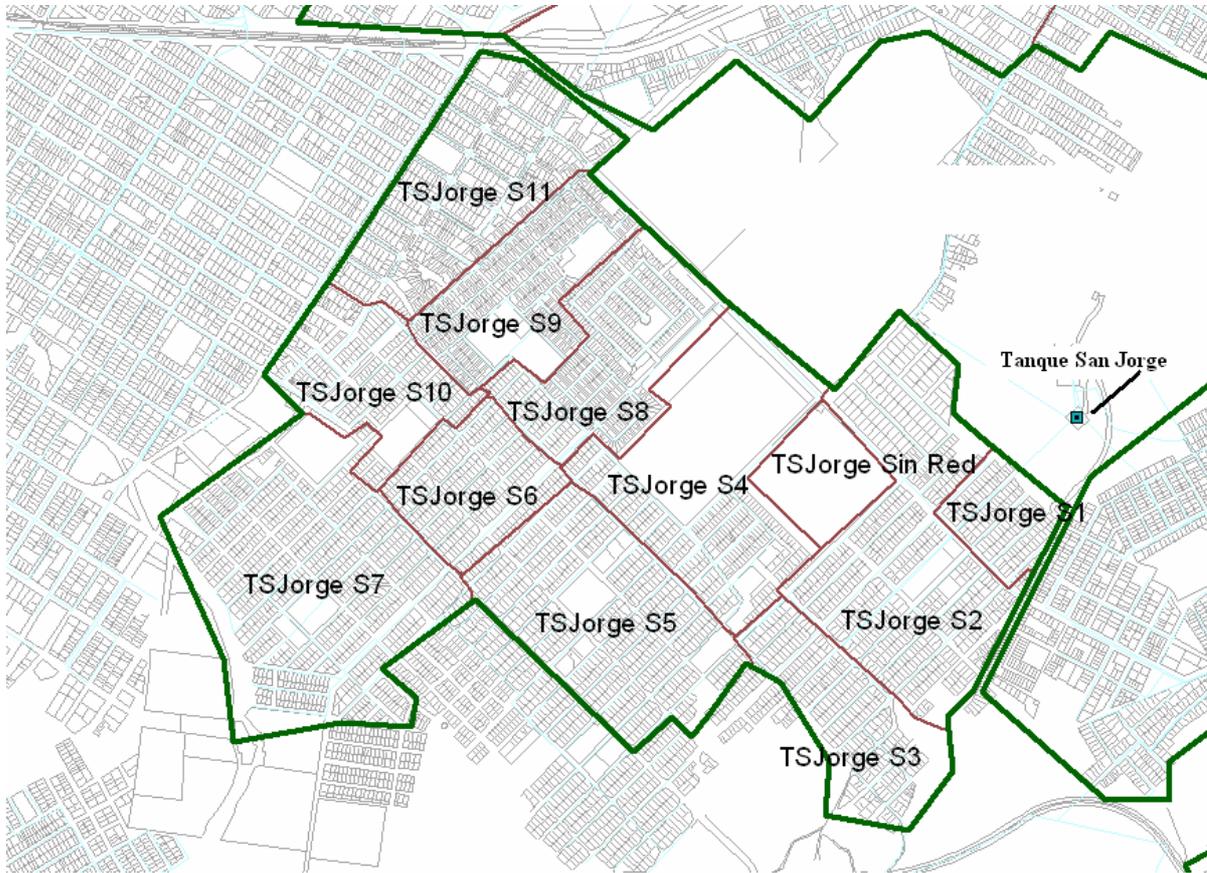


Lámina 7.16. Distritos Hidrométricos de la zona de influencia del Tanque San Jorge

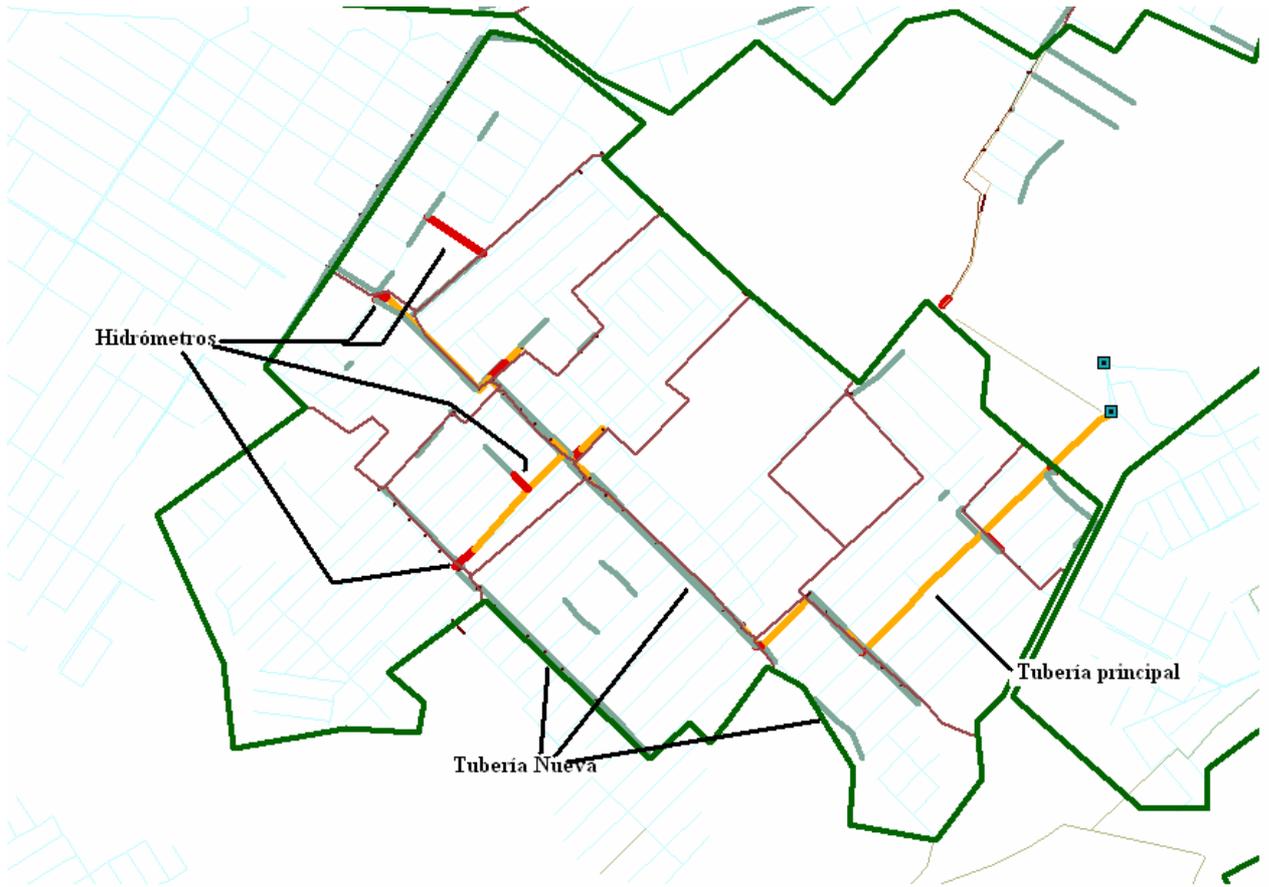


Lámina 7.17. Tubería nueva e hidrómetros en la zona de influencia del Tanque San Jorge

7.10 Pozo Rancherías

Con la sectorización de las zonas de influencias de los Tanque Santa Rita y Cerro Grande, se define de manera natural la zona de influencia del pozo Rancherías (ver Lámina 7.18), esta zona cuando el pozo deje de funcionar puede ser suministrada desde el Tanque Santa Rita o desde el Tanque Cerro Grande. Aunque el proyecto indica que pertenecería a la zona de influencia del Cerro Grande.

Para su separación no se requiere de tubería nueva salvo colocar un hidrómetro en donde indica la lámina, esto para medir el caudal en caso de que se inyecte agua desde alguno de los tanques.

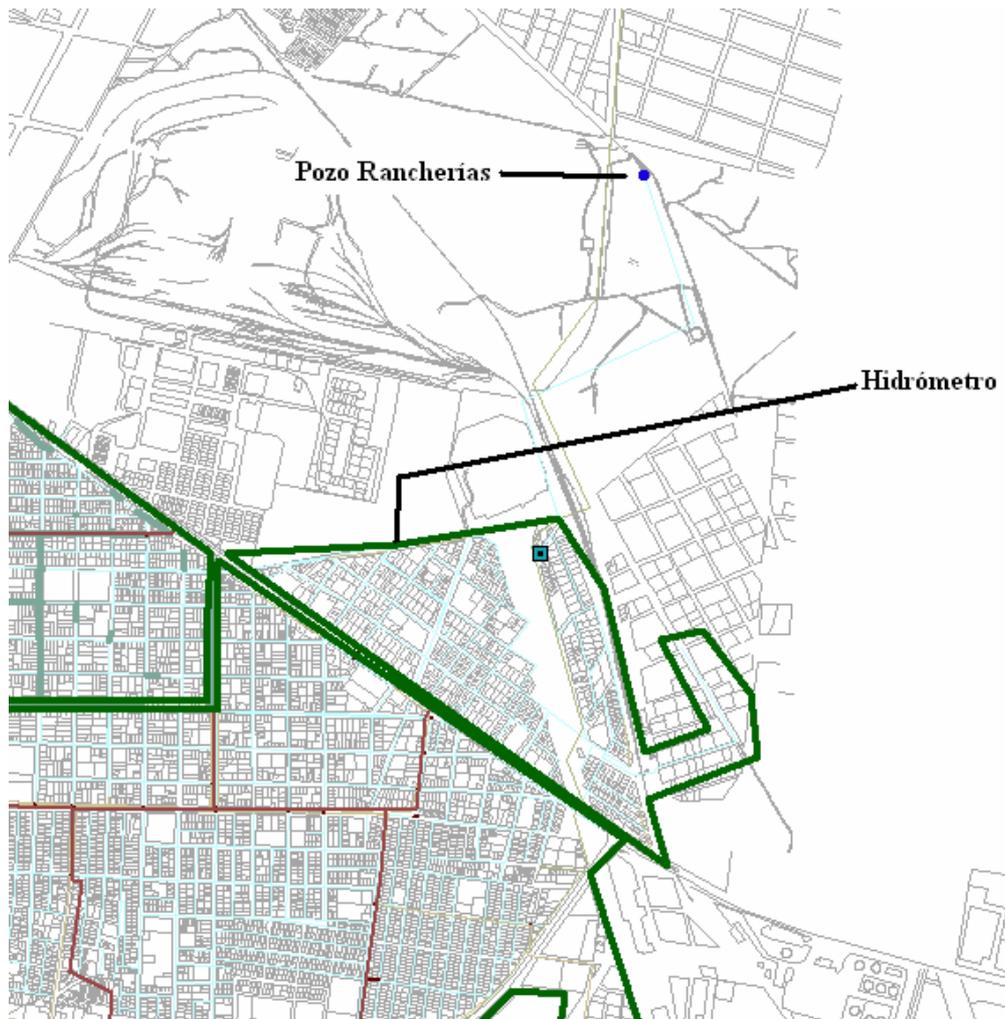


Lámina 7.18. Zona de influencias del Pozo Rancherías

7.11 Distritos hidrométricos del Tanque Cerro Grande

El proyecto de los distritos hidrométricos del Tanque Cerro Grande fue el primero en realizarse, de hecho ya se iniciaron los trabajos de campo para implementar dicho proyecto, en la Lámina 7.19) se muestran los 11 distritos hidrométricos en que se dividió dicha zona.

La inversión para la sectorización fue de 30 millones de pesos, ya que fue necesaria la instalación de tubería principal.

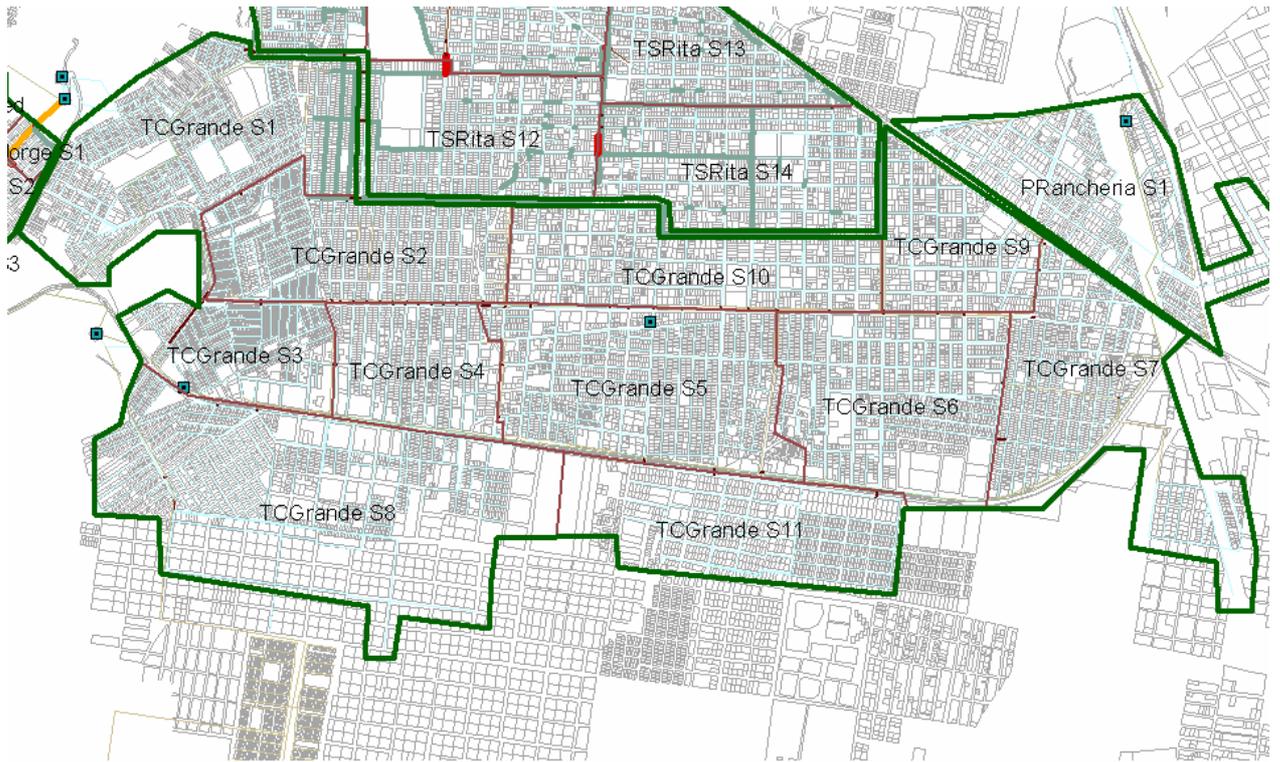


Lámina 7.19. Distritos hidrométricos de la zona de influencia del Tanque Cerro Grande

8. Análisis hidráulico preliminar de la conducción “El Sauz”- Chihuahua, Chih.

8.1 Antecedentes

Durante el mes de abril la Junta Central de Agua y Saneamiento de Chihuahua, Chihuahua (JCAS) en forma conjunta con la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de la misma ciudad (JMAS), solicitaron al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) la revisión hidráulica en estado permanente y transitorio de la conducción conocida como “El Sauz”.

El objetivo de la revisión es conocer el comportamiento hidráulico ante la posible incorporación de una batería de pozos, en el tramo comprendido entre el Rebombeco y el Tanque Loma Larga de la conducción “El Sauz”. Con base en lo anterior se emite un pronóstico que contenga recomendaciones técnicas que garanticen la seguridad y la operación adecuada del acueducto; la batería por incorporar incluye siete pozos, el cual llevan por nombre Riberas del Sacramento (#7 al #13).*

Es importante mencionar que el análisis de la conducción en estado permanente y transitorio se realiza con base en los programas AH[®] y ARIETE[®] desarrollados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

8.2 Recopilación de información

De forma inicial, el IMTA recopiló información necesaria para realizar el análisis, ésta se compone de lo siguiente:

- Plano con el perfil de la conducción; incluye planimetría y altimetría.
- Ubicación y curvas características de los cinco equipos de bombeo ubicados en el rebombeco.
- Material y clase de la tubería por analizar.
- Ubicación y número de pozos por incorporar.
- Nivel Dinámico, caudal aforado y proyectado en cada uno de los pozos por incorporar.
- Datos con los generales de los dispositivos de protección ubicados en el tramo analizado, específicamente: Tanque Unidireccional y Torre de Oscilación.
- Ubicación y diámetro de las válvulas de admisión y expulsión de aire.
- Características geométricas e hidráulicas del Tanque “Loma Larga”.

Asimismo personal del IMTA en forma conjunta con la JMAS realizó recorridos en campo con el objetivo de conocer con mayor detalle el comportamiento hidráulico y operativo de la conducción, además de conocer el dimensionamiento de la Torre de oscilación y el Tanque unidireccional.

* El pozo Riberas del Sacramento #13, no se tienen datos hidráulicos necesarios para proyectar un caudal de extracción.

El tramo que será analizado cuenta con una longitud de 23.80 km y está conformado en su mayoría por tubería de Asbesto-Cemento (existe un tramo de acero); presenta un diámetro de 36 pulgadas (914.4 mm). En el anexo número uno se muestra las características proporcionadas por el fabricante.

A partir de la recopilación de información otorgada por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS), el trazo del perfil de la conducción y de forma específica, del tramo de interés (Rebombero – Tanques Loma Larga), se presenta a continuación:

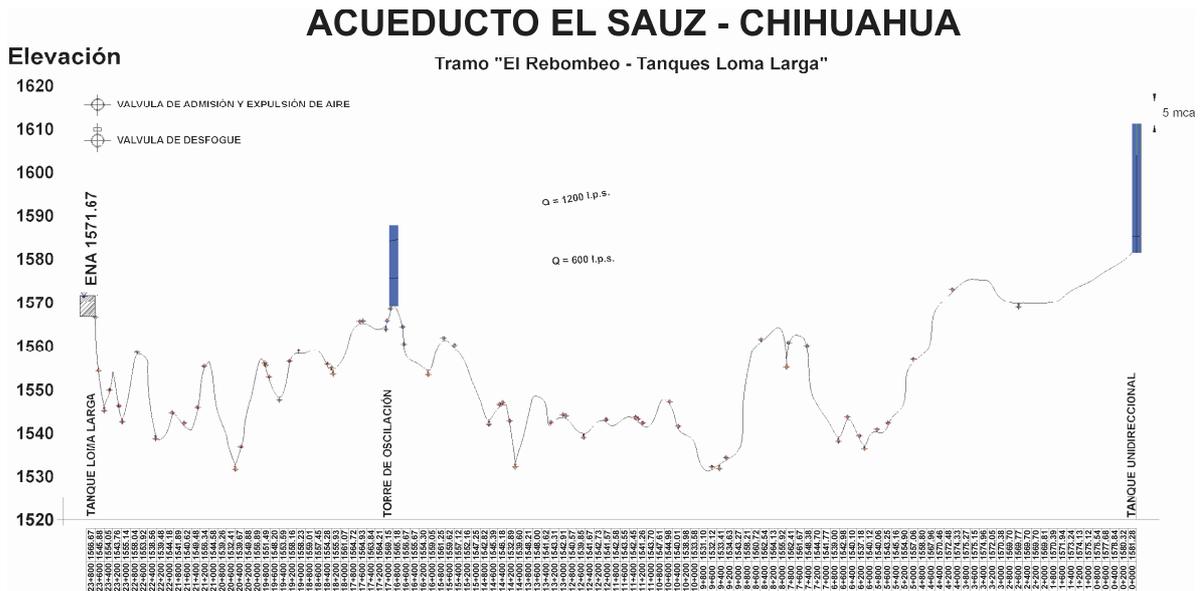


Ilustración 1. Perfil del tramo “El Rebombero – Tanques Loma Larga”

El tramo inicia en el sitio denominado Rebombero Sauz, el cual se conforma de un cárcamo con cinco bombas. Las curvas características de éstas, se muestran a continuación:

Tabla 9 Curva característica para Bombas 1, 2 y 3

REBOMBERO SAUZ BOMBA #1, 2 Y 3					
CURVAS GASTO CARGA					
Q GPM	Q l/s	H (ft)	H (m)	H (m) 2 IMPULSORES	EFICIENCIA
0	0.00	134.000	40.84	81.69	50
2425	152.99	103.000	31.39	62.79	75
3000	189.27	95.000	28.96	57.91	80
3275	206.62	92.000	28.04	56.08	82
3900	246.05	77.000	23.47	46.94	82
4100	258.67	70.000	21.34	42.67	80
4430	279.49	56.000	17.07	34.14	75

Tabla 10 Curva característica para Bomba 4

REBOMBEO SAUZ BOMBA #4					
CURVAS GASTO CARGA					
Q GPM	Q l/s	H (ft)	H (m)	H (m) 2 IMPULSORES	EFICIENCIA
0	0.00	128.000	39.01	78.03	40
2000	126.18	98.000	29.87	59.74	69
2300	145.11	91.000	27.74	55.47	75
2700	170.34	87.000	26.52	53.04	79
3130	197.47	80.000	24.38	48.77	83
3580	225.86	75.000	22.86	45.72	85
4020	253.62	67.000	20.42	40.84	83
4520	285.17	54.000	16.46	32.92	79
4770.0	300.94	48.000	14.63	29.26	75

Tabla 11 Curva característica para Bomba 5

REBOMBEO SAUZ BOMBA #5					
CURVAS GASTO CARGA					
Q GPM	Q l/s	H (ft)	H (m)	H (m) 2 IMPULSORES	EFICIENCIA
2000	126.18	86.000	26.21	52.43	50
3000	189.27	74.000	22.56	45.11	74
3550	223.97	70.000	21.34	42.67	80
3975	250.78	67.000	20.42	40.84	85
4450	280.75	61.000	18.59	37.19	86
4625	291.79	56.000	17.07	34.14	85
4825	304.41	52.000	15.85	31.70	83
4975	313.88	48.000	14.63	29.26	82
5287.5	333.59	41.500	12.65	25.30	78
5475	345.42	37.000	11.28	22.56	74

Dado que se emplea el programa de cómputo AH (Análisis hidráulico) como herramienta de apoyo para el cálculo hidráulico, los datos de los nodos del tramo se muestran en la Tabla 4.

Tabla 12. Datos de los nodos que serán introducidos en el programa AH[®]

Nudo	Tipo	Cota (m)	Q (LPS)	Curv. Carac.
B 1-2-3	13	1581.28		
0+200	0	1580.32	0	
0+400	0	1578.84	0	
0+600	0	1577.68	0	
0+800	0	1576.54	0	
1+000	0	1575.12	0	
1+200	0	1574.13	0	
1+400	0	1573.24	0	
1+600	0	1571.94	0	
1+800	0	1570.39	0	
2+000	0	1569.81	0	
2+200	0	1569.70	0	
2+400	0	1569.70	0	
2+600	0	1569.77	0	
2+800	0	1569.70	0	
3+000	0	1570.38	0	
3+200	0	1572.05	0	
3+400	0	1574.96	0	
3+600	0	1575.15	0	
3+800	0	1575.27	0	
4+000	0	1574.33	0	
4+200	0	1572.48	0	
4+400	0	1570.46	0	
4+600	0	1567.96	0	
4+800	0	1558.80	0	
5+000	0	1557.06	0	
5+200	0	1554.90	0	
5+400	0	1545.16	0	
5+600	0	1543.25	0	
5+800	0	1540.06	0	
6+000	0	1540.12	0	
6+200	0	1537.18	0	
6+400	0	1540.10	0	
6+600	0	1542.98	0	
6+800	0	1539.00	0	
7+000	0	1541.77	0	
7+200	0	1544.70	0	

Continuación de Tabla, datos de los nodos que serán introducidos en el programa AH®

7+400	0	1548.38	0
7+600	0	1561.67	0
7+800	0	1562.41	0
8+000	0	1555.92	0
8+200	0	1564.13	0
8+400	0	1562.54	0
8+600	0	1560.72	0
8+800	0	1558.21	0
9+000	0	1543.57	0
9+200	0	1534.63	0
9+400	0	1533.41	0
9+600	0	1532.12	0
9+800	0	1531.10	0
10+000	0	1533.58	0
10+200	0	1538.98	0
10+400	0	1540.01	0
10+600	0	1544.98	0
10+800	0	1547.61	0
11+000	0	1543.70	0
11+200	0	1541.26	0
11+400	0	1542.45	0
11+600	0	1543.55	0
11+800	0	1542.58	0
12+000	0	1541.57	0
12+200	0	1542.73	0
12+400	0	1541.67	0
12+600	0	1539.85	0
12+800	0	1540.57	0
13+000	0	1542.91	0
13+200	0	1543.31	0
13+400	0	1541.62	0
13+600	0	1548.00	0
13+800	0	1548.21	0
14+000	0	1539.60	0
14+200	0	1532.89	0
14+400	0	1546.18	0
14+600	0	1545.39	0
14+800	0	1542.82	0
15+000	0	1547.25	0
15+200	0	1552.16	0
15+400	0	1557.12	0
15+600	0	1559.62	0
15+800	0	1561.25	0

Continuación de Tabla, datos de los nodos que serán introducidos en el programa AH®

16+000	0	1559.05	0	
16+200	0	1554.30	0	
16+400	0	1555.67	0	
16+600	0	1556.67	0	
16+800	0	1565.18	0	
17+000	0	1569.15	0	
17+200	0	1564.21	0	
17+400	0	1563.84	0	
17+600	0	1564.93	0	
17+800	0	1564.72	0	
18+000	0	1561.07	0	
18+200	0	1555.93	0	
18+400	0	1554.28	0	
18+600	0	1557.45	0	
18+800	0	1559.01	0	
19+000	0	1558.23	0	
19+200	0	1558.16	0	
19+400	0	1553.59	0	
19+600	0	1548.20	0	
19+800	0	1551.49	0	
20+000	0	1556.89	0	
20+200	0	1549.88	0	
20+400	0	1539.67	0	
20+600	0	1532.41	0	
20+800	0	1539.26	0	
21+000	0	1544.58	0	
21+200	0	1556.34	0	
21+400	0	1549.48	0	
21+600	0	1540.62	0	
21+800	0	1541.89	0	
22+000	0	1544.18	0	
22+200	0	1539.48	0	
22+400	0	1538.56	0	
22+600	0	1553.92	0	
22+800	0	1558.04	0	
23+000	0	1555.14	0	
23+200	0	1543.76	0	
23+400	0	1554.05	0	
23+600	0	1545.88	0	
23+800	7	1566.67	1571.67	ENA
B 4	14	1581.28		Curv.
B 5	14	1581.28		Carac.
				Curv.
				Carac.

Los datos de los tramos se muestran enseguida en la Tabla 5.

Tabla 13. Datos de los tramos de la conducción.

Tramo	DEL	AL	Rugosidad (A-C)	Longitud (m)
1	B 1-2-3	B 4	0.03	1.00
120	B 4	B 5	0.03	1.00
121	B 5	0+200	0.03	200.00
2	0+200	0+400	0.03	200.00
3	0+400	0+600	0.03	200.00
4	0+600	0+800	0.03	200.00
5	0+800	1+000	0.03	200.00
6	1+000	1+200	0.03	200.00
7	1+200	1+400	0.03	200.00
8	1+400	1+600	0.03	200.00
9	1+600	1+800	0.03	200.00
10	1+800	2+000	0.03	200.00
11	2+000	2+200	0.03	200.00
12	2+200	2+400	0.03	200.00
13	2+400	2+600	0.03	200.00
14	2+600	2+800	0.03	200.00
15	2+800	3+000	0.03	200.00
16	3+000	3+200	0.03	200.00
17	3+200	3+400	0.03	200.00
18	3+400	3+600	0.03	200.00
19	3+600	3+800	0.03	200.00
20	3+800	4+000	0.03	200.00
21	4+000	4+200	0.03	200.00
22	4+200	4+400	0.03	200.00
23	4+400	4+600	0.03	200.00
24	4+600	4+800	0.03	200.00
25	4+800	5+000	0.03	200.00
26	5+000	5+200	0.03	200.00
27	5+200	5+400	0.03	200.00
28	5+400	5+600	0.03	200.00
29	5+600	5+800	0.03	200.00
30	5+800	6+000	0.03	200.00
31	6+000	6+200	0.03	200.00
32	6+200	6+400	0.03	200.00
33	6+400	6+600	0.03	200.00
34	6+600	6+800	0.03	200.00
35	6+800	7+000	0.03	200.00
36	7+000	7+200	0.03	200.00
37	7+200	7+400	0.03	200.00
38	7+400	7+600	0.03	200.00

39	7+600	7+800	0.03	200.00
40	7+800	8+000	0.03	200.00
Tabla 5.- Continuación...				
41	8+000	8+200	0.03	200.00
42	8+200	8+400	0.03	200.00
43	8+400	8+600	0.03	200.00
44	8+600	8+800	0.03	200.00
45	8+800	9+000	0.03	200.00
46	9+000	9+200	0.03	200.00
47	9+200	9+400	0.03	200.00
48	9+400	9+600	0.03	200.00
49	9+600	9+800	0.03	200.00
50	9+800	10+000	0.03	200.00
51	10+000	10+200	0.03	200.00
52	10+200	10+400	0.03	200.00
53	10+400	10+600	0.03	200.00
54	10+600	10+800	0.03	200.00
55	10+800	11+000	0.03	200.00
56	11+000	11+200	0.03	200.00
57	11+200	11+400	0.03	200.00
58	11+400	11+600	0.03	200.00
59	11+600	11+800	0.03	200.00
60	11+800	12+000	0.03	200.00
61	12+000	12+200	0.03	200.00
62	12+200	12+400	0.03	200.00
63	12+400	12+600	0.03	200.00
64	12+600	12+800	0.03	200.00
65	12+800	13+000	0.03	200.00
66	13+000	13+200	0.03	200.00
67	13+200	13+400	0.03	200.00
68	13+400	13+600	0.03	200.00
69	13+600	13+800	0.03	200.00
70	13+800	14+000	0.03	200.00
71	14+000	14+200	0.03	200.00
72	14+200	14+400	0.03	200.00
73	14+400	14+600	0.03	200.00
74	14+600	14+800	0.03	200.00
75	14+800	15+000	0.03	200.00
76	15+000	15+200	0.03	200.00
77	15+200	15+400	0.03	200.00
78	15+400	15+600	0.03	200.00
79	15+600	15+800	0.03	200.00
80	15+800	16+000	0.03	200.00
81	16+000	16+200	0.03	200.00
82	16+200	16+400	0.03	200.00

83	16+400	16+600	0.03	200.00
84	16+600	16+800	0.03	200.00
Tabla 5.- Continuación...				
85	16+800	17+000	0.03	200.00
86	17+000	17+200	0.03	200.00
87	17+200	17+400	0.03	200.00
88	17+400	17+600	0.03	200.00
89	17+600	17+800	0.03	200.00
90	17+800	18+000	0.03	200.00
91	18+000	18+200	0.03	200.00
92	18+200	18+400	0.03	200.00
93	18+400	18+600	0.03	200.00
94	18+600	18+800	0.03	200.00
95	18+800	19+000	0.03	200.00
96	19+000	19+200	0.03	200.00
97	19+200	19+400	0.03	200.00
98	19+400	19+600	0.03	200.00
99	19+600	19+800	0.03	200.00
100	19+800	20+000	0.03	200.00
101	20+000	20+200	0.03	200.00
102	20+200	20+400	0.03	200.00
103	20+400	20+600	0.03	200.00
104	20+600	20+800	0.03	200.00
105	20+800	21+000	0.03	200.00
106	21+000	21+200	0.03	200.00
107	21+200	21+400	0.03	200.00
108	21+400	21+600	0.03	200.00
109	21+600	21+800	0.03	200.00
110	21+800	22+000	0.03	200.00
111	22+000	22+200	0.03	200.00
112	22+200	22+400	0.03	200.00
113	22+400	22+600	0.03	200.00
114	22+600	22+800	0.03	200.00
115	22+800	23+000	0.03	200.00
116	23+000	23+200	0.03	200.00
117	23+200	23+400	0.03	200.00
118	23+400	23+600	0.03	200.00
119	23+600	23+800	0.03	200.00

8.3 Generación de escenarios

A partir de los datos obtenidos y posteriormente introducidos al programa AH, se procede a realizar el análisis hidráulico y con ello la generación de escenarios bajo diferentes condiciones de diseño.

Es importante señalar que estos escenarios fueron propuestos por el personal de las JCAS y JMAS durante el tiempo de ejecución de esta actividad por parte del personal del IMTA. Los escenarios considerados para el análisis son los siguientes:

Tabla 14 Descripción de los escenarios considerados

Nombre	Observaciones
SA03-4QA	Q=500 l/s incorporado en 17+800 + 2 Bombas 50 l/s c/u
SAZ03-0@	6 bombas incorporando Q=174 l/s; con 3 bombas separadas en el inicio
SAZ03-0I	Q=175 l/s incorporado en 12+000
SAZ03-0J	Q=174 l/s incorporado en 12+000; con 3 Bombas al inicio
SAZ03-0K	Q=205 l/s incorporado en 17+800
SAZ03-4	Condiciones Normales de Operación, considera dos tipos de bomba en el Rebombeo
SAZ03-4@	Considera dos tipos de bomba en el Rebombeo
SAZ03-4I	Q=175 l/s incorporado en 12+000; con 2 + 1 Bombas al inicio
SAZ03-4J	Q=174 l/s incorporado en 17+800
SAZ03-4K	Q=205 l/s incorporado en 17+800; con 2 + 1 Bombas al inicio
SAZ03-4Q	Q=500 l/s incorporado en 17+800
SAZ03-4R	Q=600 l/s incorporado en 17+800
SAZ03-4S	Q=900 l/s incorporado en 17+800
SAZ03-4U	Q=1,100 l/s incorporado en 17+800
SAZ03-6	1 Bomba incorporando Q=35 l/s
SAZ03-6@	7 Bombas incorporando Q=209 l/s
SAZ03-6I	Q=175 l/s incorporado en 12+000; más 1 Bomba incorporando Q=35 l/s
SAZ03-6J	Q=205 l/s incorporado en 12+000; 2 + 1 Bombas al inicio

Tabla 6.- Continuación...

SAZ03-7	Condiciones Normales de Operación; 3 Bombas separadas al inicio
SAZ03-7@	6 Bombas incorporando Q=174 l/s; 3 Bombas separadas al inicio
SAZ03-7I	Q=174 l/s incorporado en 12+000; 3 Bombas separadas al inicio
SAZ03-7J	Q=205 l/s incorporado en 12+000; 3 Bombas separadas al inicio
SAZ03-7K	Q=174 l/s y Q=205 l/s incorporado en 17+800

De los escenarios mostrados en la tabla anterior, se presentarán enseguida los resultados obtenidos en la modelación hidráulica de algunos escenarios, mostrando la presión obtenida y la resistencia de la tubería.

A continuación se muestran las gráficas a partir de la modelación del tramo analizado en el programa AH[®], cada ilustración representa un escenario de los mencionados en la tabla 6.

8.4 Escenario SAZ03-4QA

En este primer escenario se considera un caudal Q=500 l/s incorporado en el cadenamamiento 17+800, así como el rediseño de los pozos Sacramento Norte 8 y 9 (Nodo tipo 36).

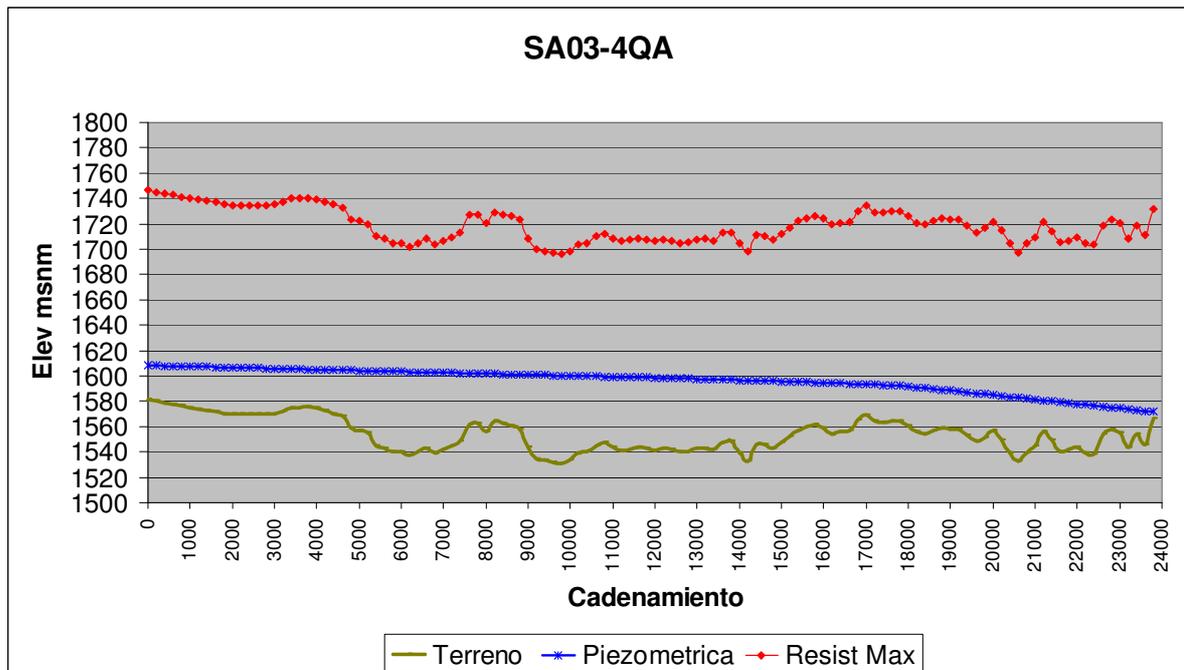


Ilustración 2 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SA03-4QA.

8.5 Escenario SAZ03-0@

Para este escenario se tienen seis bombas incorporando un caudal total de $Q=174$ l/s; con tres bombas separadas en el inicio y la incorporación de los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12; es importante mencionar que estos pozos fueron declarados como tipo “36” dado que solamente se tiene un caudal aproximado de extracción, mismo que fue obtenido a través del personal de las JCAS y JMAS. Al declararlos bajo este tipo de nodo, manifiesta el diseño que el proyectista esta considerando al incorporar cada uno de los pozos, el resultado una vez realizada la simulación será la carga total que se requiere en cada uno de los pozos. Con esta carga y el caudal de extracción, será posible construir una curva característica que posteriormente será solicitada a un fabricante o proveedor de servicios de equipo de bombeo.

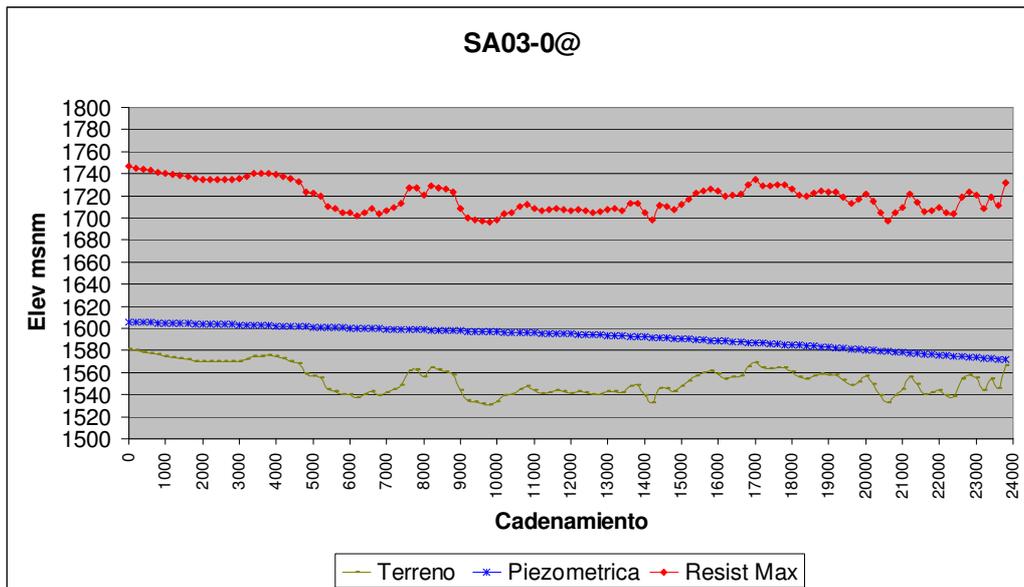


Ilustración 3 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-0@.

8.6 Escenario SAZ03-0I

En esta simulación se considera un caudal total $Q=175$ l/s incorporado en el cadenamiento 12+000; los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Impulso y Arroyo 4 son incluidos en este análisis hidráulico.

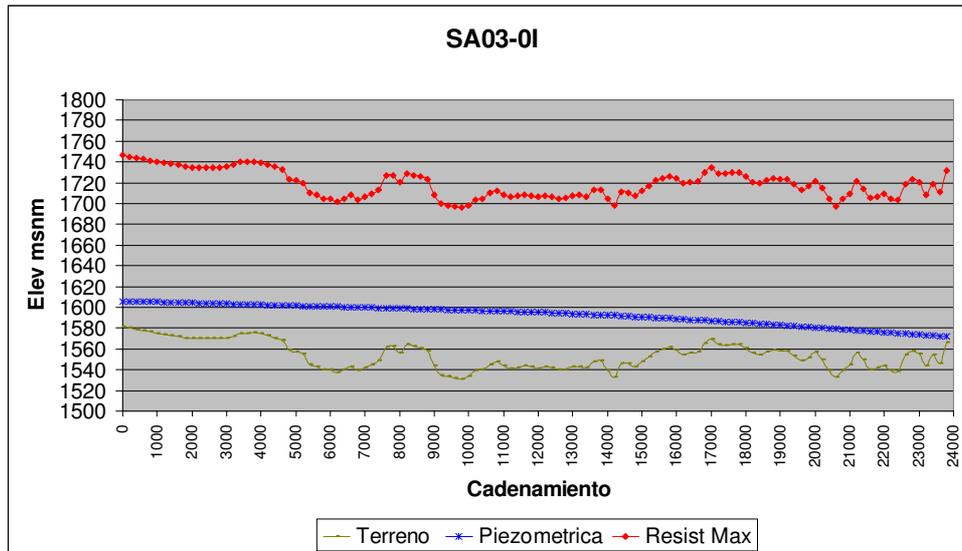


Ilustración 4 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-0I.

8.7 Escenario SAZ03-0J

Se considera un caudal total $Q=174$ l/s incorporado en el cadenamiento 12+000; todas las bombas corresponden a un solo modelo.

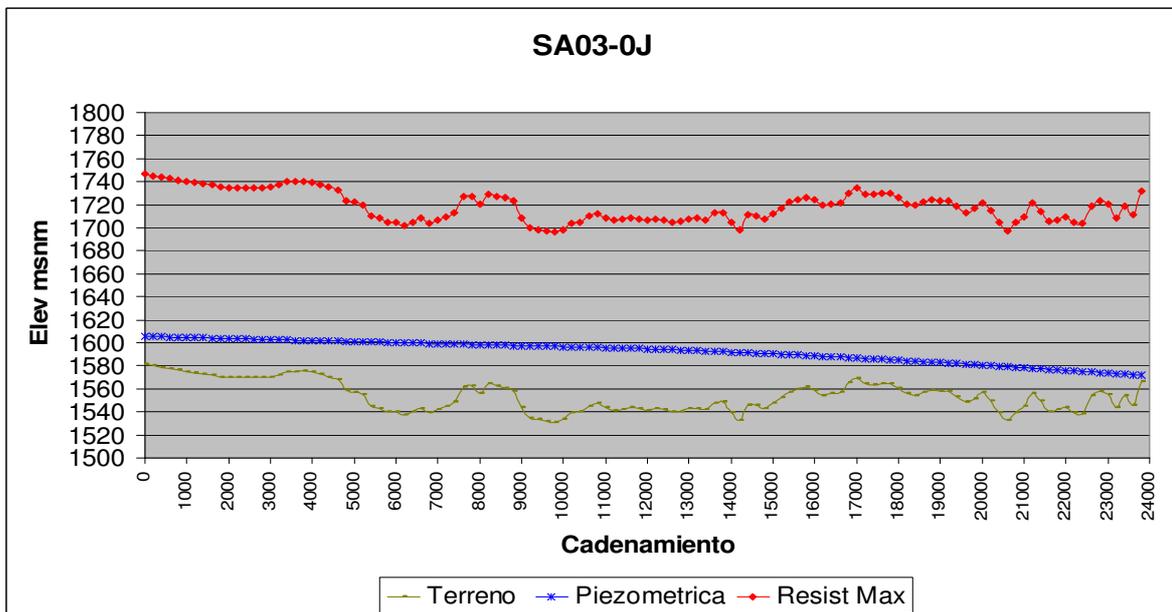


Ilustración 5 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-0J.

8.8 Escenario SAZ03-0K

Se tiene un caudal total $Q=205$ l/s incorporado en el cadenamiento 17+800; además no considera los nuevos pozos proyectados (Riberas del Sacramento #7 al #12).

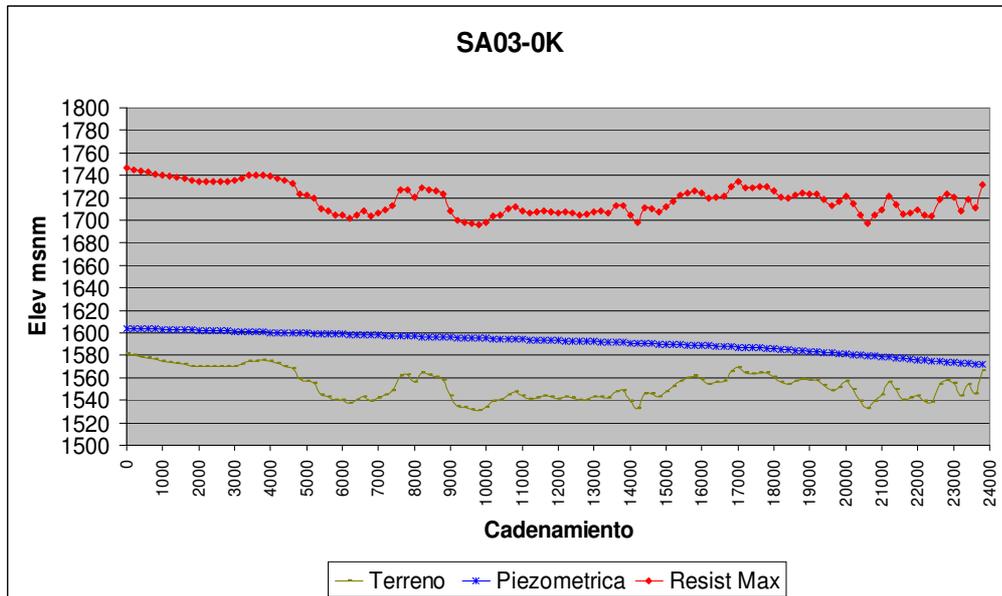


Ilustración 6. Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-0K.

Es importante señalar que en cada uno de estos escenarios, fueron realizadas numerosas simulaciones, alterando el caudal por incorporar.

8.9 Escenario SAZ03-4

Se tienen condiciones normales de Operación, sin embargo en el Rebombeo se consideran dos modelos diferentes de bombas. Esto debido a que el departamento encargado de los equipos de bombeo de la JMAS, expresó que se tienen tres diferentes tipos de bombas en el sitio denominado Rebombeo.

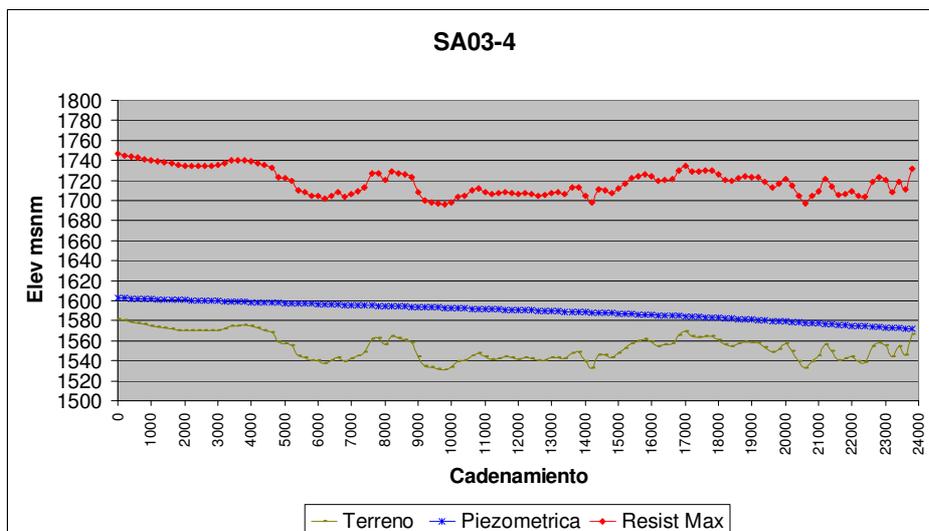


Ilustración 7 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4.

Asimismo se incluyen los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Arroyo 4 e Impulso. En este escenario no se consideran los nodos tipo 36, identificados para los nuevos pozos proyectados (Riberas del Sacramento 7 al 12).

8.10 Escenario SAZ03-4@

En el Rebombero El Sauz (inicio del tramo analizado), se consideran dos tipos de bombas para los tres equipos en operación y no se introduce la incorporación de los pozos en caudal. Asimismo se incorporan los pozos riberas del Sacramento 1 al 6 y Sacramento Norte 8 y 9, Arroyo 4 e Impulso.

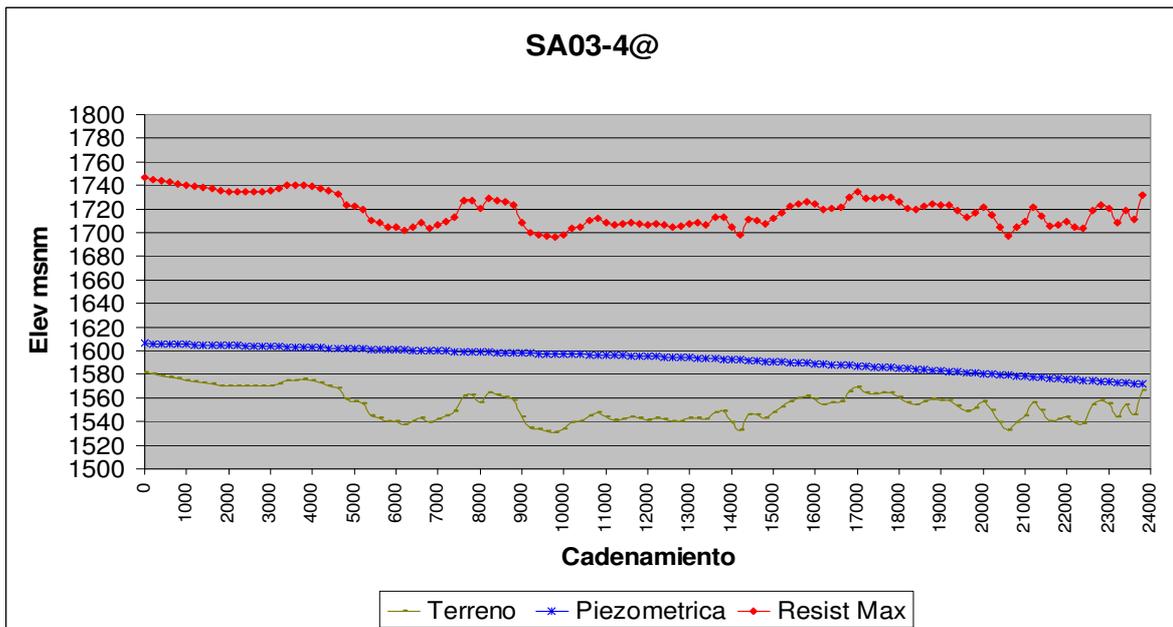


Ilustración 8 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4@

Finalmente con el objetivo de diseñar las bombas de los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12, se introducen como nodos tipo 36.

8.11 Escenario SAZ03-4I

En el Rebombero El Sauz (inicio del tramo analizado), se consideran dos tipos de bombas para los tres equipos en operación, además se introduce un caudal total $Q = 175$ L/s incorporado en el cadenamiento 12+000.

En este escenario no se diseñan los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12.

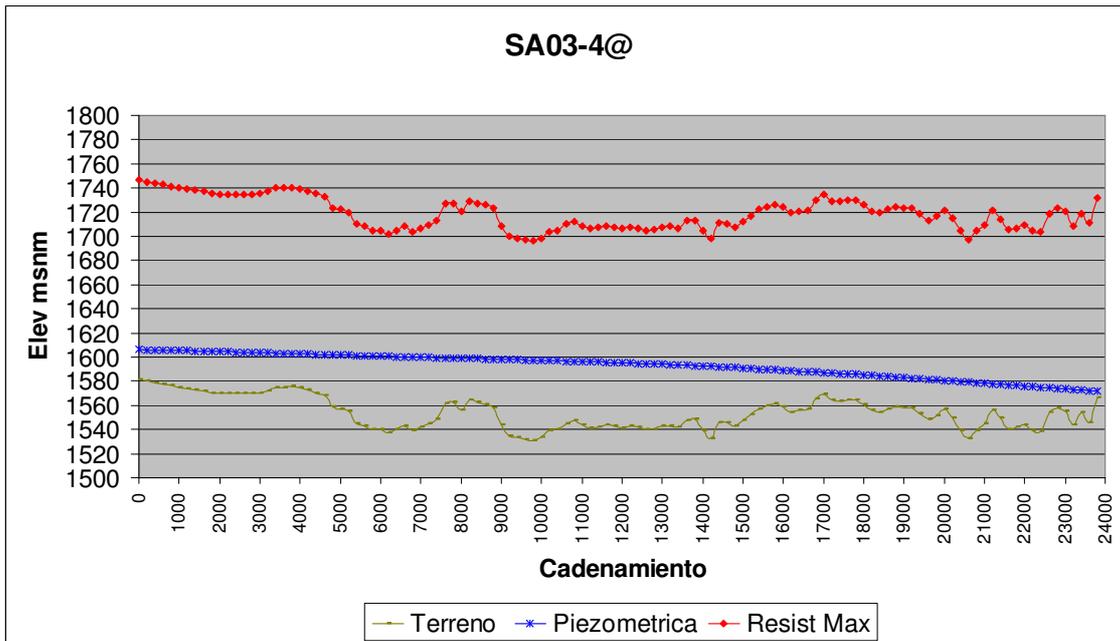


Ilustración 9 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4I.

8.12 Escenario SAZ03-4J

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba, además de la incorporación de un caudal total $Q=174$ l/s en el cadenamiento 17+800. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

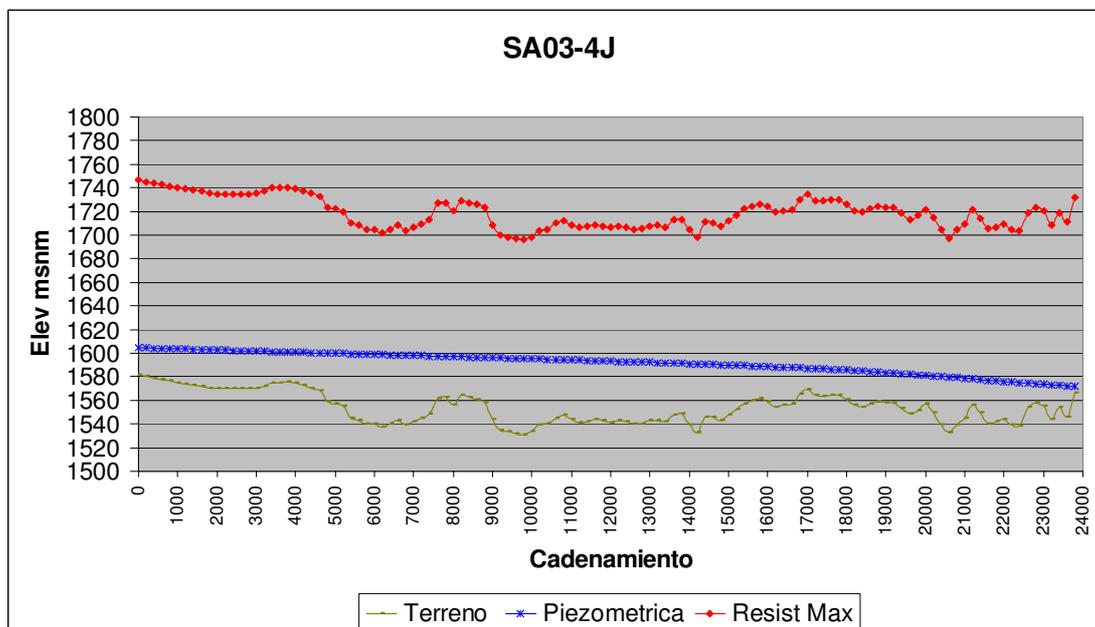


Ilustración 10 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4J.

8.13 Escenario SAZ03-4K

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba, además de la incorporación de un caudal total $Q=205$ l/s en el cadenamiento 17+800. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

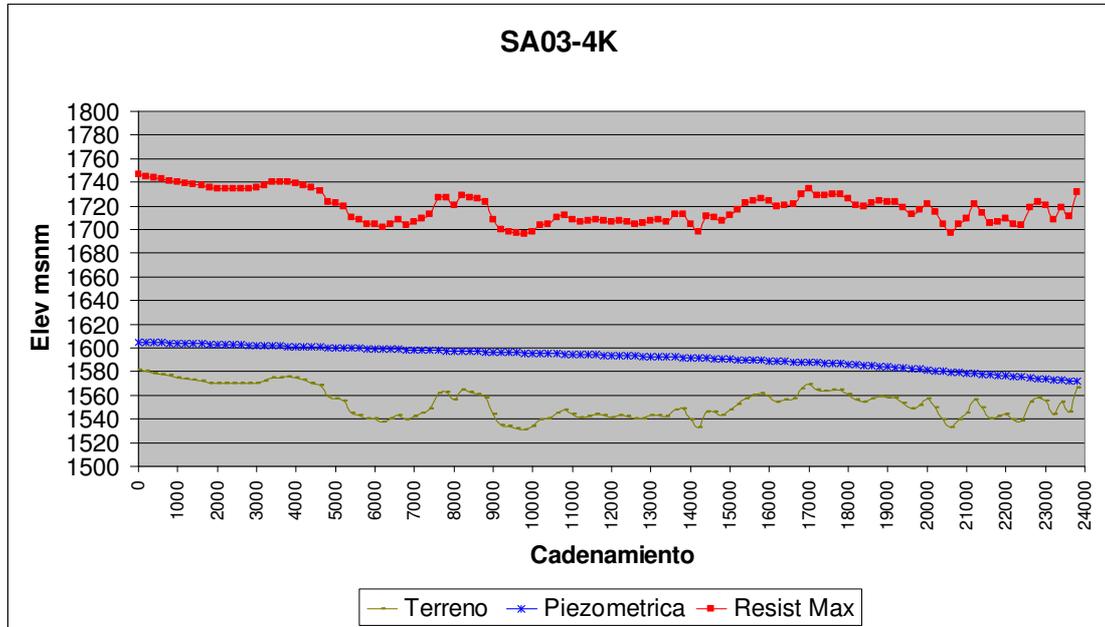


Ilustración 11 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4K.

8.14 Escenario SAZ03-4Q

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba, además de la incorporación de un caudal total $Q=500$ l/s en el cadenamiento 17+800. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

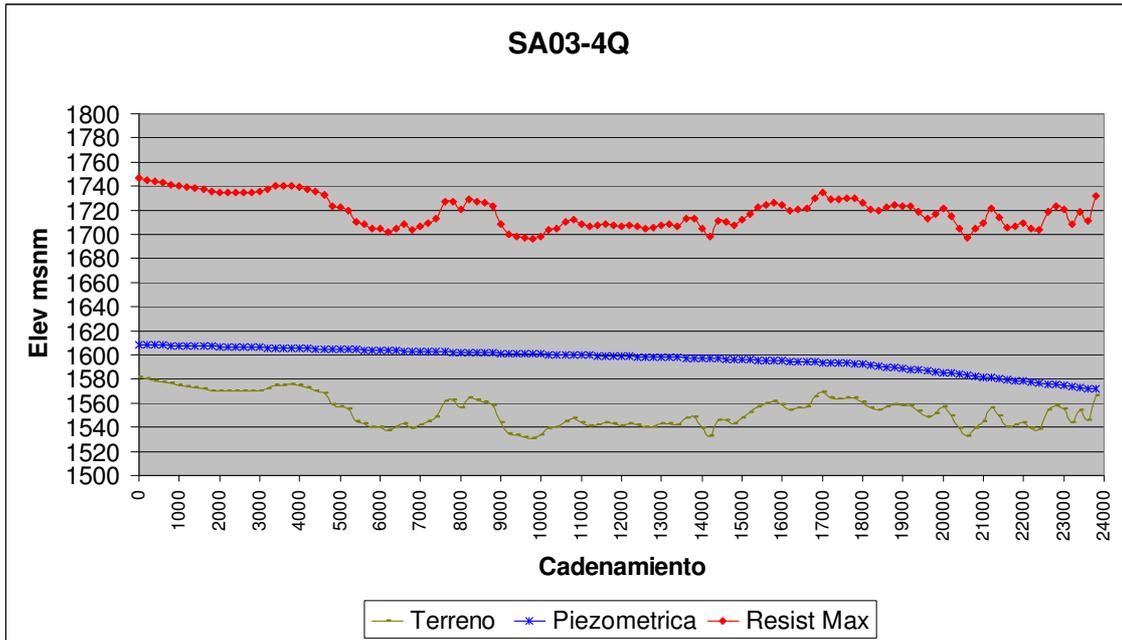


Ilustración 12. Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SA03-4Q

8.15 Escenario SAZ03-4R

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba, además de la incorporación de un caudal total $Q=600$ l/s en el cadenamiento 17+800. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

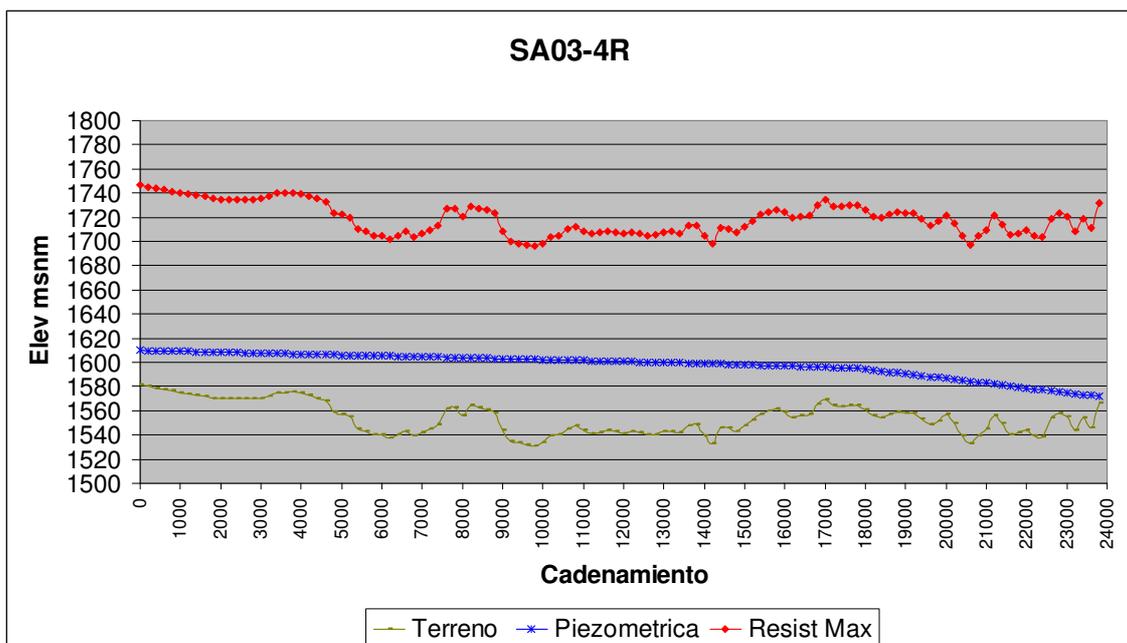


Ilustración 13 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4R.

8.16 Escenario SAZ03-4S

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba, además de la incorporación de un caudal total $Q=900$ l/s en el cadenamamiento 17+800. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

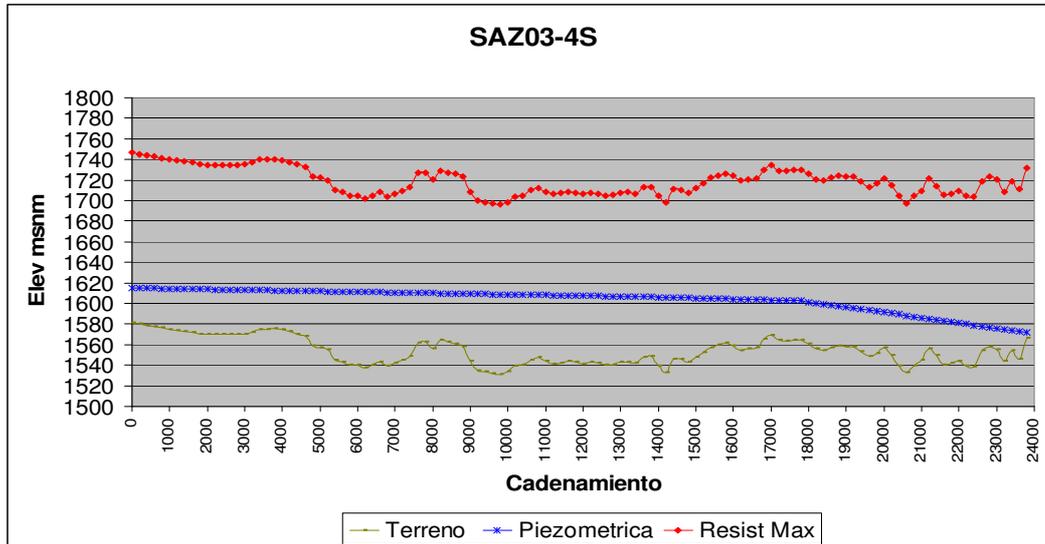


Ilustración 14 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4S

8.17 Escenario SAZ03-4U

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba, además de la incorporación de un caudal total $Q=1,100$ l/s en el cadenamamiento 17+800. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

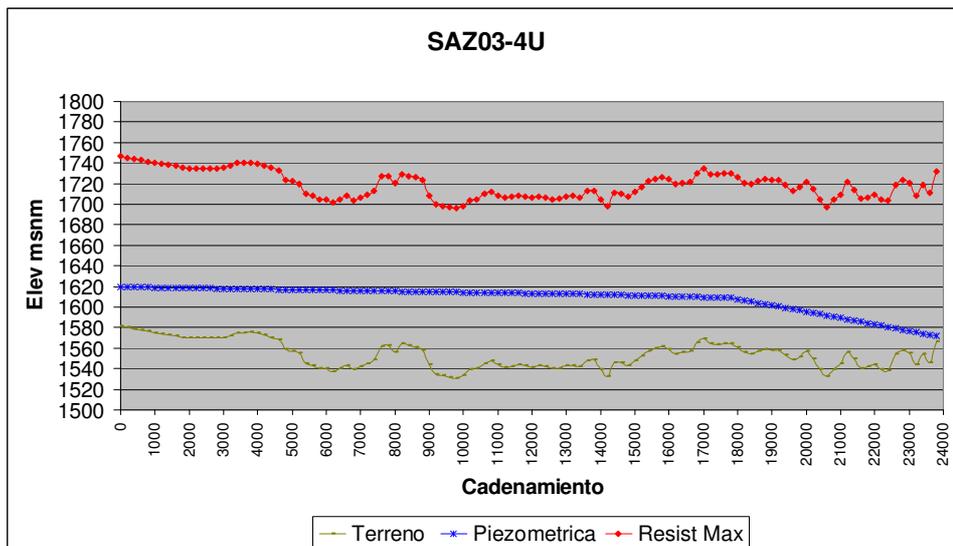


Ilustración 15 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-4U.

8.18 Escenario SAZ03-6

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario. Sin embargo a diferencia de los escenarios anteriores, el pozo Sacramento Norte 8 fue colocado como tipo 36 durante el proceso de la simulación. Lo anterior se debe a la modificación de las condiciones hidráulicas producto de la incorporación de los nuevos pozos; con ello el departamento encargado de equipos de bombeo, deberá colocar especial atención en este pozo y en su defecto a su rediseño.

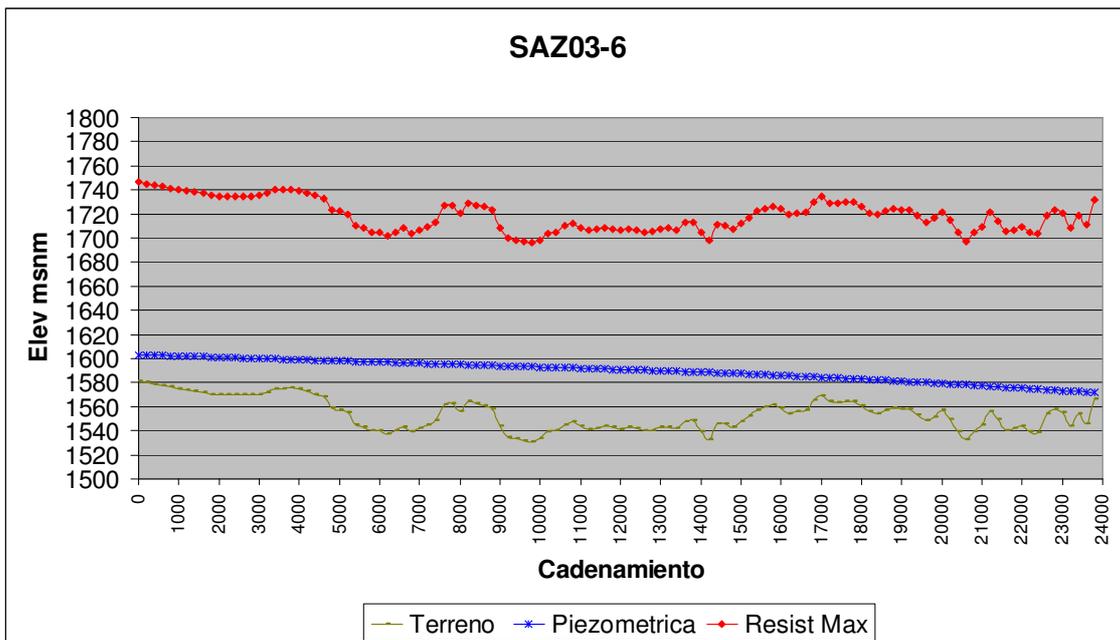


Ilustración 16 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-6

Es importante mencionar que a partir de este escenario se consideran curvas características diferentes a las anteriormente expuestas en los anteriores escenarios. Lo anterior se debe a información actualizada proporcionada por el departamento de Equipos de Bombeo de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua, Chihuahua.

8.19 Escenario SA03-6@

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario. Sin embargo a diferencia de los escenarios anteriores, el pozo Sacramento Norte 8 fue colocado como tipo 36 durante el proceso de la simulación. Lo anterior se debe a la modificación de las condiciones hidráulicas producto de la incorporación de los nuevos pozos; con ello el departamento encargado de equipos de bombeo, deberá colocar especial atención en este pozo y en su defecto a su rediseño.

Finalmente se consideran los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12, como nodos tipo 36 para fines de diseño de los equipos de bombeo.

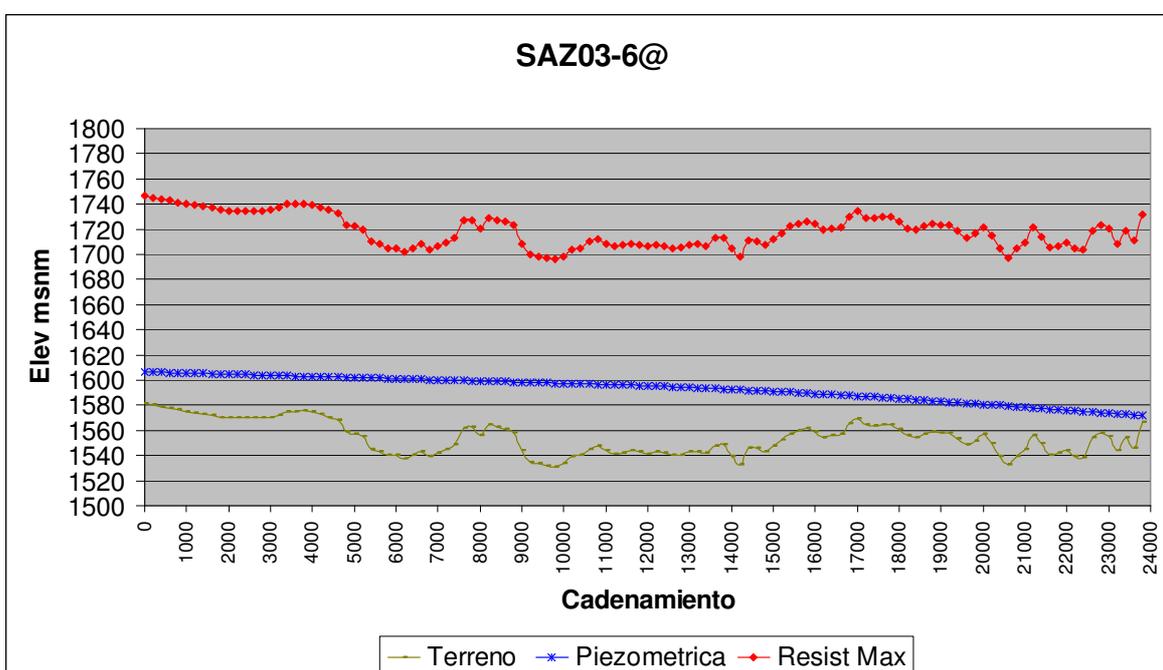


Ilustración 17 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-6@

8.20 Escenario SAZ03-6I

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario. Sin embargo a diferencia de los escenarios anteriores, el pozo Sacramento Norte 8 fue colocado como tipo 36 durante el proceso de la simulación. Lo anterior se debe a la modificación de las condiciones hidráulicas producto de la incorporación de los nuevos pozos; con ello el departamento encargado de equipos de bombeo, deberá colocar especial atención en este pozo y en su defecto a su rediseño.

Además se consideran los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12, como nodos tipo 36 para fines de diseño de los equipos de bombeo.

Finalmente se incorpora un caudal total $Q = 175$ L/s en el cadenamiento 12+000.

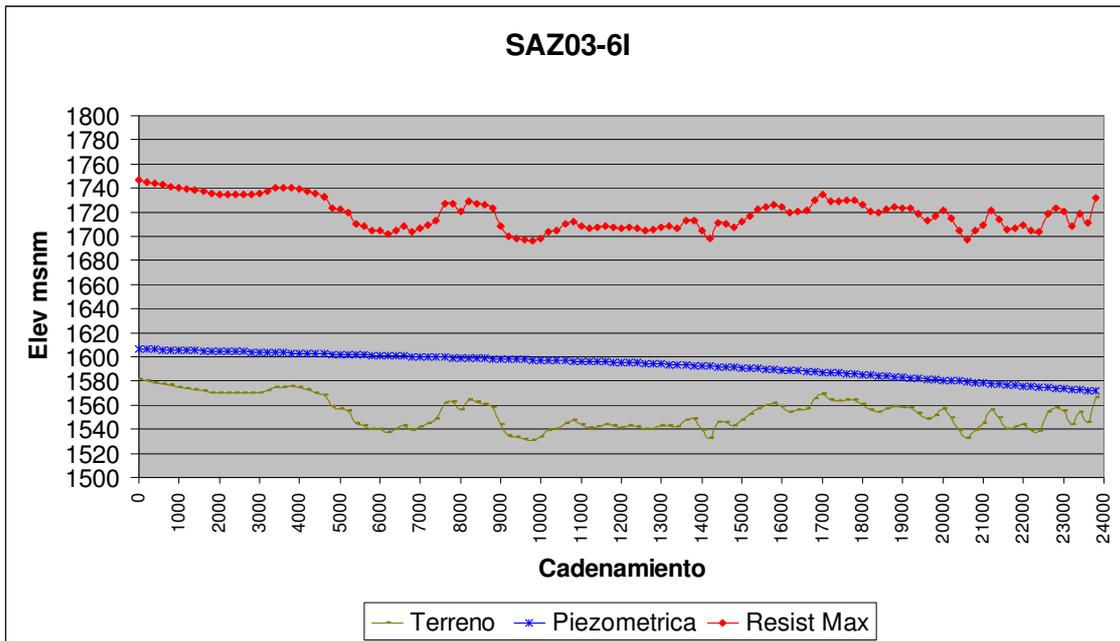


Ilustración 18 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-6I

8.21 Escenario SAZ03-6J

Para este escenario se consideran dos tipos de modelo de bomba. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario. Sin embargo a diferencia de los escenarios anteriores, el pozo Sacramento Norte 8 fue colocado como tipo 36 durante el proceso de la simulación. Lo anterior se debe a la modificación de las condiciones hidráulicas producto de la incorporación de los nuevos pozos; con ello el departamento encargado de equipos de bombeo, deberá colocar especial atención en este pozo y en su defecto a su rediseño.

Además se consideran los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12, como nodos tipo 36 para fines de diseño de los equipos de bombeo.

Finalmente se incorpora un caudal total $Q = 205$ L/s en el cadenamiento 12+000.

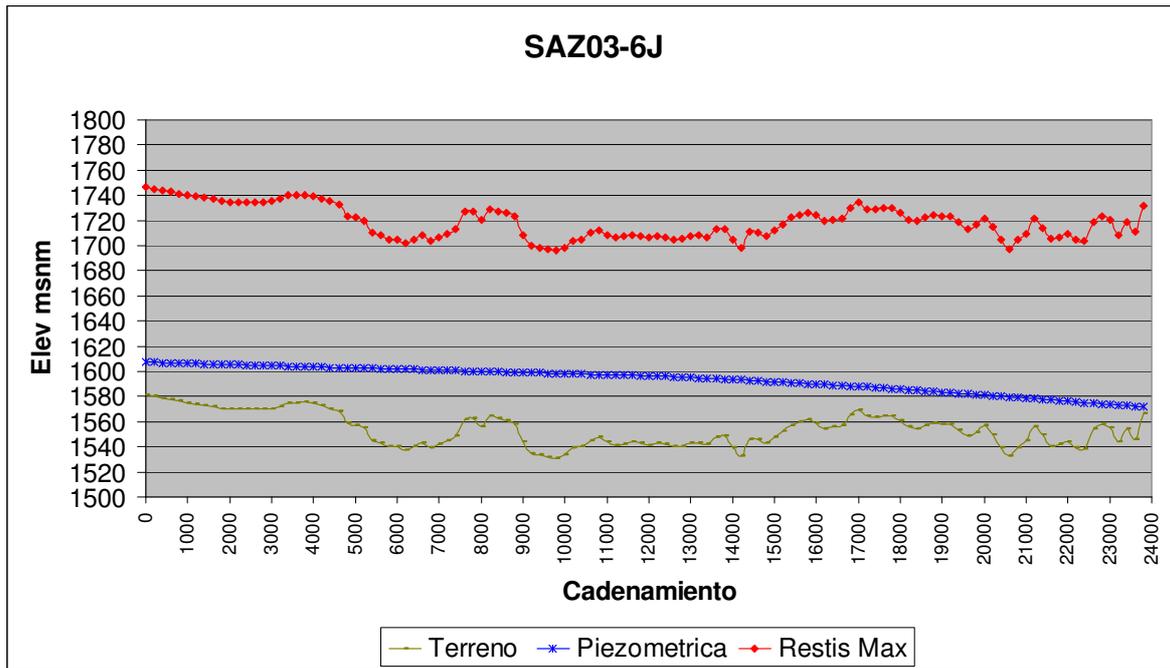


Ilustración 19 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-6J

8.22 Escenario SAZ03-7

Para este escenario se consideran TRES tipos de modelo de bomba. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario. No se consideran incorporaciones adicionales al acueducto (Pozos Riberas del Sacramento 7 al 12).

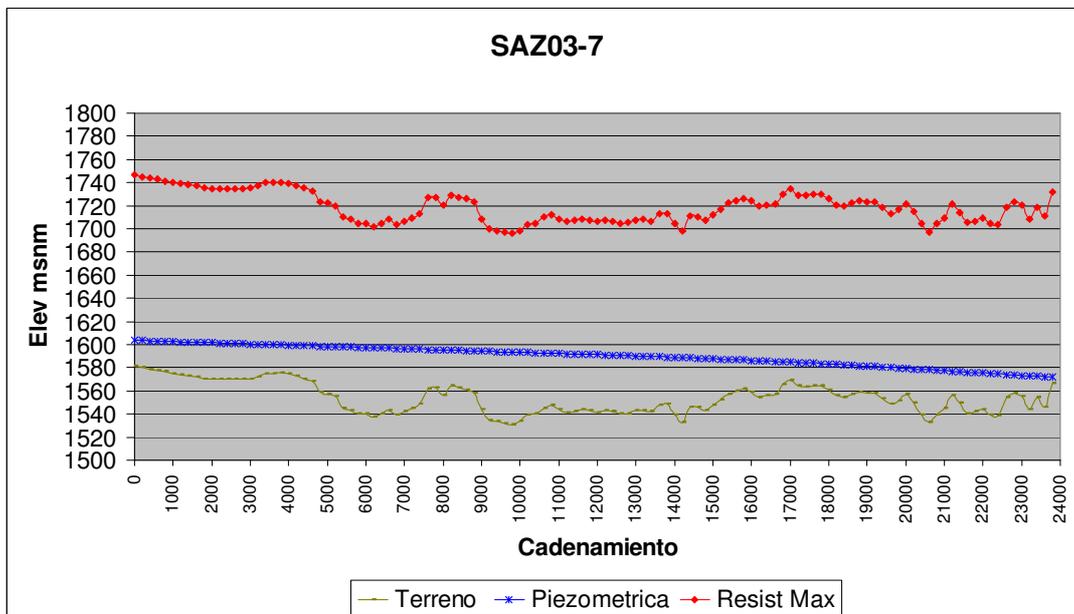


Ilustración 20 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-7

8.23 Escenario SA03-7@

Para este escenario se consideran tres tipos de modelo de bomba. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

Además en este escenario se considera la incorporación de los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12, como nodos tipo 36 para fines de diseño de los equipos de bombeo.

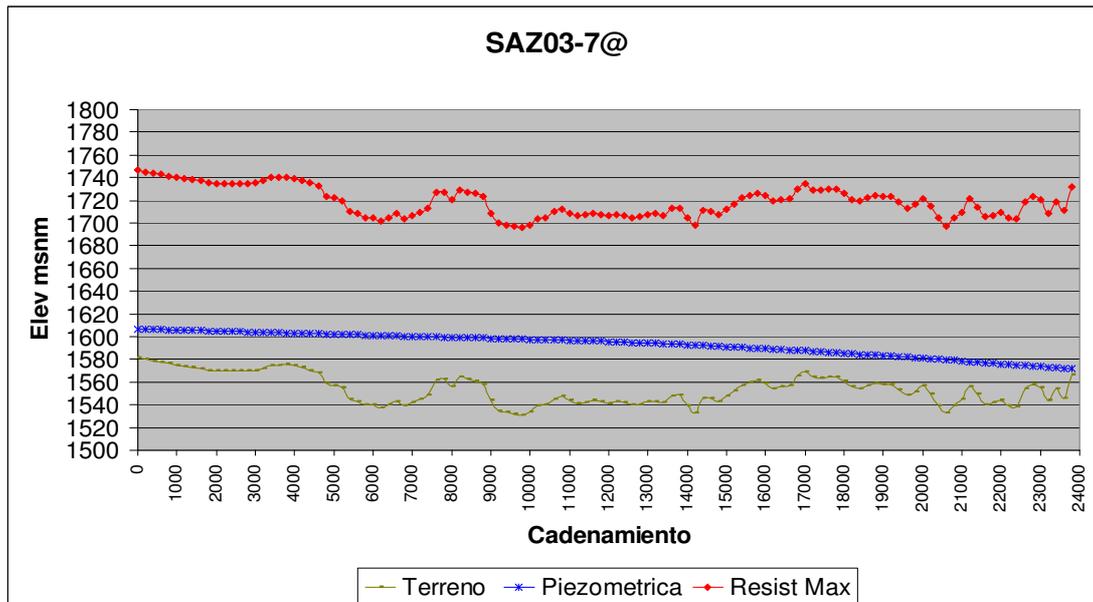


Ilustración 21 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-7@

8.24 Escenario SA03-7I

Para este escenario se consideran tres tipos de modelo de bomba. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

Además en este escenario se considera la incorporación de los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12, como nodos tipo 36 para fines de diseño de los equipos de bombeo.

Finalmente se incorpora un caudal total $Q = 174$ L/s en el cadenamiento 12+000.

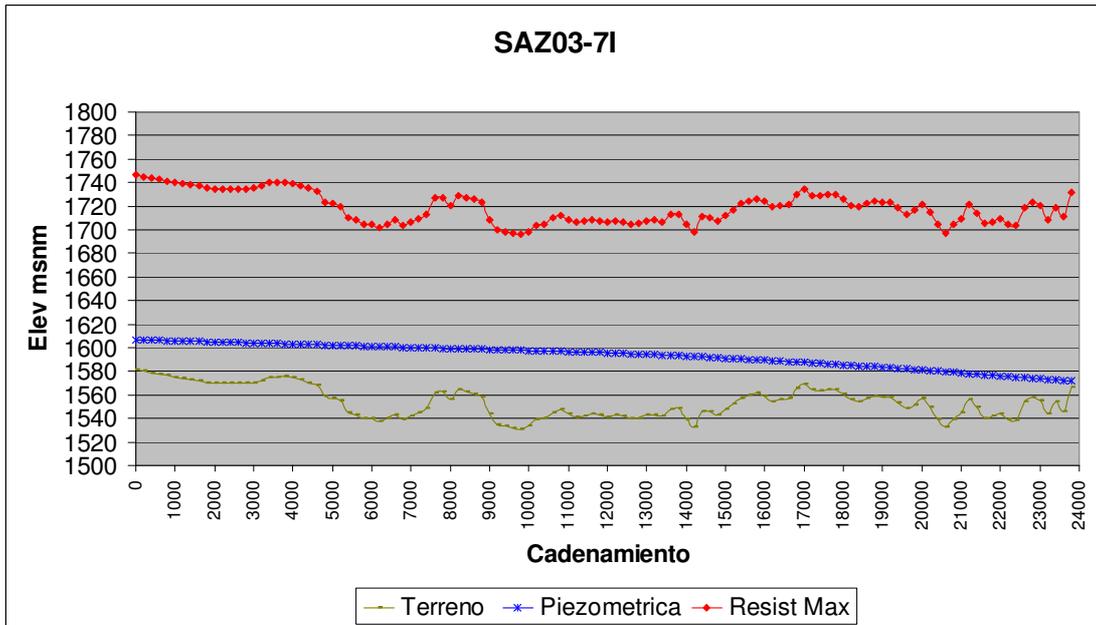


Ilustración 22 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-7I

8.25 Escenario SAZ03-7J

Para este escenario se consideran tres tipos de modelo de bomba. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

Además en este escenario se considera la incorporación de los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12, como nodos tipo 36 para fines de diseño de los equipos de bombeo.

Finalmente se incorpora un caudal total $Q = 205$ L/s en el cadenamiento 12+000.

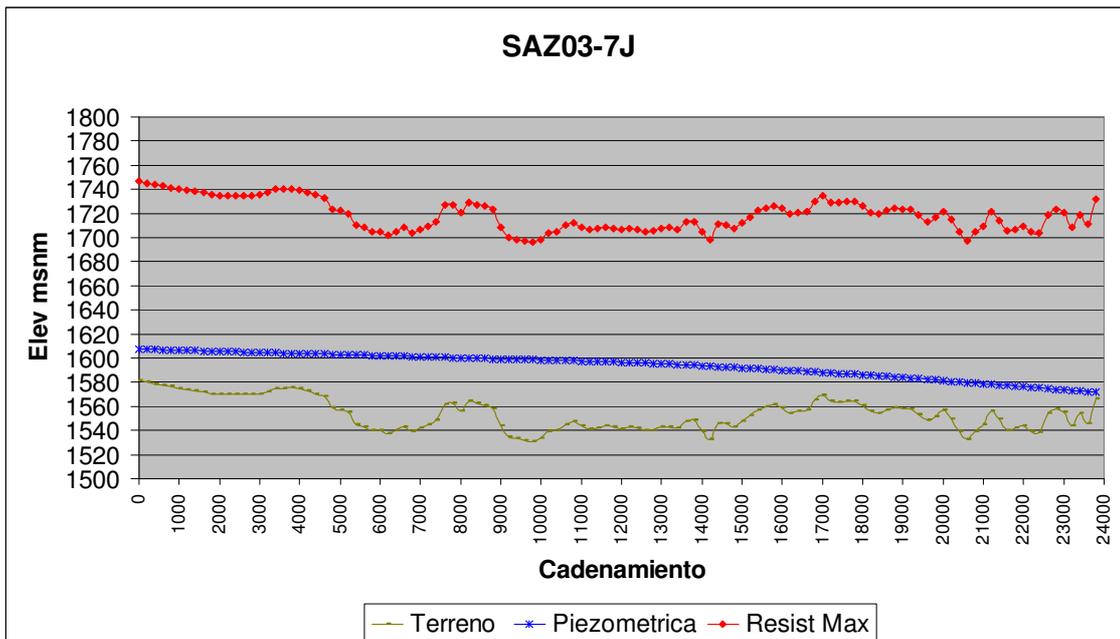


Ilustración 23 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SA03-7J

8.26 Escenario SAZ03-7K

Para este escenario se consideran tres tipos de modelo de bomba. La inclusión de los pozos Sacramento Norte 8 y 9, Riberas del Sacramento 1 al 6, Impulso y Arroyos 4, son involucrados en el análisis hidráulico de este escenario.

Además en este escenario se considera la incorporación de los pozos Riberas del Sacramento 7 al 12, como nodos tipo 36 para fines de diseño de los equipos de bombeo.

Finalmente se incorporan caudales totales de $Q = 174 \text{ L/s}$ y 205 L/s en el cadenamamiento 17+800.

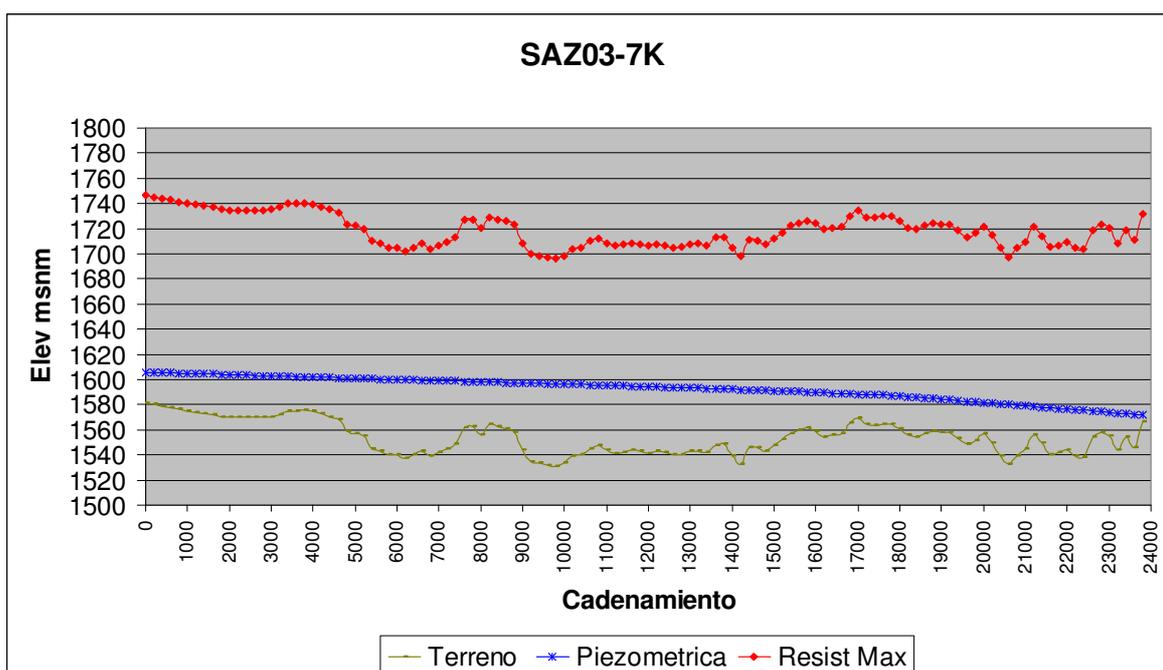


Ilustración 24 Perfil con cargas Piezométricas para el escenario SAZ03-7K

8.27 Conclusiones y Recomendaciones del análisis preliminar

Una vez concluida esta actividad, es posible resumir lo siguiente:

- Los cadenamamientos mencionados en cada una de las conclusiones y recomendaciones aquí presentadas, están referidas al plano proveniente del departamento de Fotogrametría de la JMAS; de tal manera que el Rebombeo se ubica en el cadenamamiento (0+000), la Torre de oscilación (17+000) y el Tanque Loma Larga (23+800). Con ello la longitud total del tramo analizado es de 23,800 metros [Ilustración 1].

ACUEDUCTO EL SAUZ - CHIHUAHUA

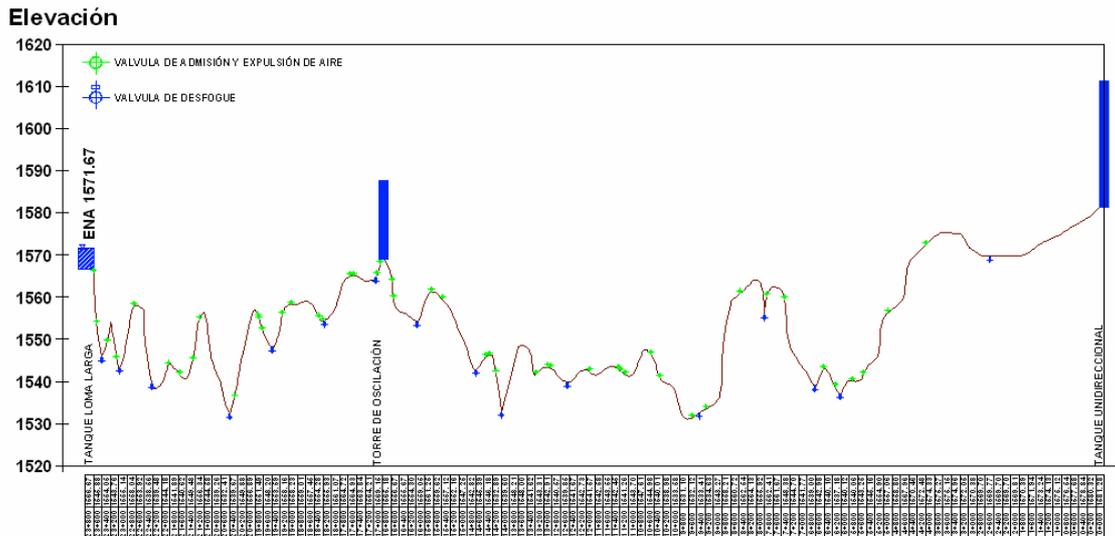


Ilustración 25. Perfil del tramo analizado “Rebombero – Tanque Loma Larga” – Conducción “El Sauz”

- El material de la conducción se compone de dos materiales: 1) Concreto Presforzado con acero de refuerzo helicoidal, tramo 0+000 a 17+000 aproximadamente, 2) Asbesto Cemento, tramo 17+000 hasta 24+800; sin embargo existe un tramo de acero ubicado entre los cadenamientos 16+800 a 17+000 (Torre de oscilación) aproximadamente [Ilustración 2].
- La torre de oscilación ubicada en el cadenamiento 17+000 cuenta con una altura 18.30 metros de altura y un desfogue (excedencias) a los 16.65 metros [Ilustración 2].

ACUEDUCTO EL SAUZ - CHIHUAHUA

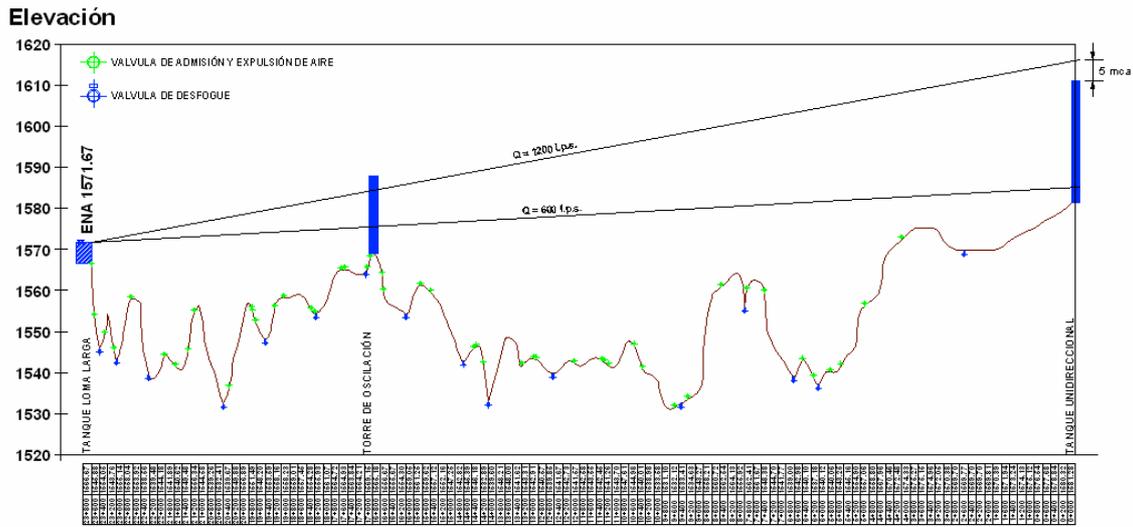
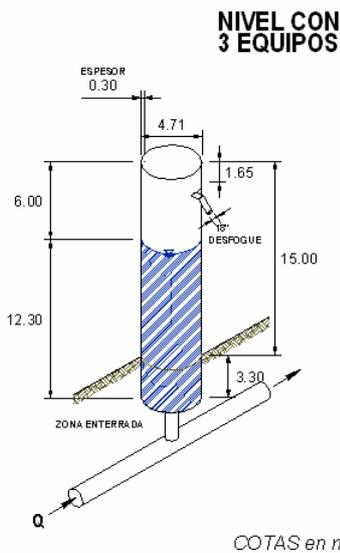


Ilustración 26 Perfil del tramo analizado “Rebombero – Tanque Loma Larga” – Conducción “El Sauz”, incluye líneas de cargas piezométricas proyectadas.

- Bajo condiciones de operación normal y actual en el acueducto (3 equipos en el Rebombero), la Torre de oscilación presenta un nivel de agua en un primer muestreo de 12.30 metros aproximadamente [Ilustración 3].
- En segundo muestreo personal de la JMAS e IMTA, realizaron la medición de nivel en la Torre de oscilación involucrando la operación de tres equipos de bombeo, la cual arrojó 9.60 metros aproximadamente, referidos a la base de la Torre. También se realizó la medición de nivel considerando cuatro bombas operando en el Rebombero, el nivel medido resultó de 11.20 metros referidos a la base del dispositivo [Ilustración 3].

TORRE DE OSCILACION PRIMER MUESTREO



TORRE DE OSCILACION SEGUNDO MUESTREO

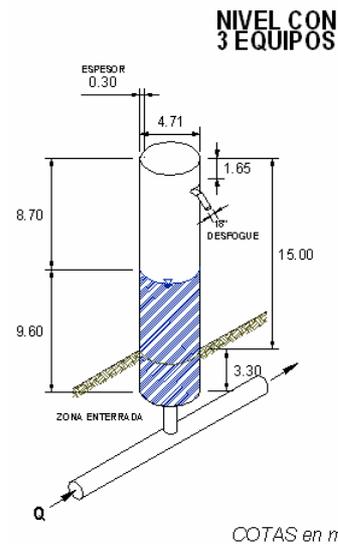


Ilustración 27 Niveles reportados por el personal de la JMAS en la Torre de oscilación del tramo Rebombero – Tanque Loma Larga

- El Tanque unidireccional ubicado a un costado del Rebombero, presenta una altura total de 29.84 metros y un desfogue ubicado en la parte superior a 28.29 metros con relación a la base del tanque.
- En condiciones normales y actuales de operación (3 equipos en el Rebombero), el Tanque unidireccional cuenta con un nivel 21.40 metros. Asimismo personal de la JMAS e IMTA midieron el nivel con dos equipos en operación en el Rebombero, resultando 16.14 metros.

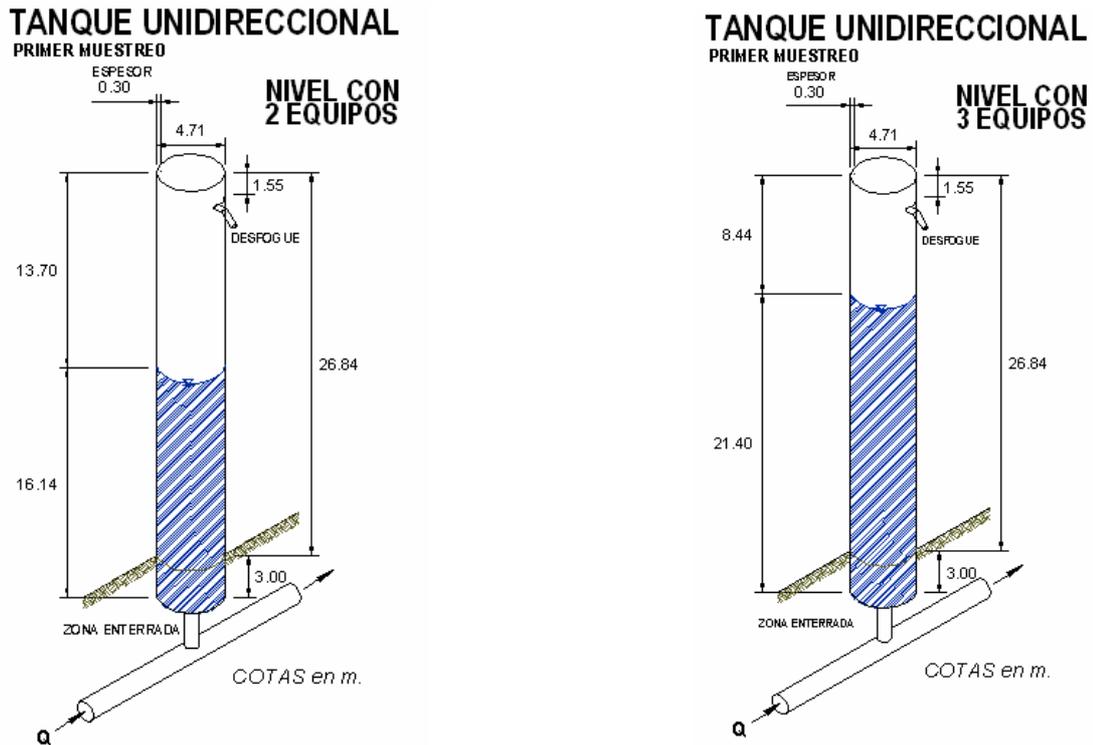


Ilustración 28. Niveles reportados por el personal de la JMAS en el Tanque Unidireccional del tramo Rebombero – Tanque Loma Larga

- Una vez recopilada la información hidráulica y de operación de la conducción y de los dispositivos de protección ubicados en el tramo analizado, en forma conjunta con la JCAS y JMAS, se procedió a la revisión y establecimiento de los posibles puntos de incorporación de la línea proveniente de la batería de los pozos Riberas de Sacramento. Los principales puntos en la definición de la ubicación sobre incorporación fueron los siguientes:
 - Ubicación de los pozos Riberas de Sacramento #7 al #13.
 - Tipo de material en la conducción (tramo Rebombero – Tanque Loma Larga).
 - Aspectos constructivos de preparación y adaptación de línea.
 - Es importante mencionar que el tramo ubicado entre el Rebombero y la Torres de Oscilación (aproximadamente), el material de la conducción es concreto presforzado con acero de refuerzo helicoidal; esto obliga a presentar dos situaciones: 1) Búsqueda de pieza especial en el tramo, 2) Ubicar la conexión en

el tramo de asbesto cemento localizado en el tramo Torre de Oscilación (17+000) - Tanque Loma Larga (23+800).

- Resultado del punto anterior, se eligieron en forma conjunta, dos puntos de incorporación de la línea de conducción que los nuevos pozos:
 - Sobre el cadenamamiento 12+000 en el tramo comprendido entre el Rebombeco (0+000) y la Torres de Oscilación (17+000).
 - En el cadenamamiento 17+800, de forma posterior a la ubicación de la torre de oscilación (17+000).
- El primer punto elegido se tiene una pieza especial con diámetro de 20 pulgadas; en su parte superior presenta un plato o “comal” el cual sirve de base para la válvula de admisión y expulsión de aire de 6 pulgadas de diámetro.
- Con relación a los pozos por incorporar a la conducción, la información fue proporcionada por la JCAS y JMAS al personal del IMTA. El resumen de la misma se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 15 Características hidráulicas, administrativas y constructivas de los pozos por incorporar en el tramo de interés

POZO	No.	PERFORISTA	DESARROLLADOR	ESTADO	Q (l/s) aforado	Q (l/s) proyectado	Comentarios	CT	ND
Riberas de Sacramento	7	Perforaciones Bujaidar	MISA	En Perforación		25.00		1542	1372
Riberas de Sacramento	8	Perforaciones Bujaidar	MISA	En Perforación		25.00		1538	1368
Riberas de Sacramento	9	Perforaciones Bujaidar	MISA	Aforado	53.93	32.00		1530	1360
Riberas de Sacramento	10	Perforaciones Bujaidar	MISA	Aforado	33.07	32.00		1527	1357
Riberas de Sacramento	11	Perforaciones Bujaidar	MISA	Aforado	40.79	20.00		1532	1362
Riberas de Sacramento	12	Perforaciones Bujaidar	MISA	Aforado	32.68	40.00		1530	1360
Riberas de Sacramento	13	Perforaciones Bujaidar	MISA	En Perforación			En proceso		

- A partir de la tabla anterior se aprecia que la sumatoria de los caudales proyectados por la JCAS y JMAS son 174 litros por segundo.
- La longitud total de la tubería que transporta los caudales de los pozos proyectados (Riberas del Sacramento) y que conectaría con el tramo Rebombeco – Tanque Loma Larga, son 7860 metros aproximadamente.

A partir de lo anterior y ejecutado el análisis se concluye lo siguiente:

- La conducción presenta suficiente capacidad hidráulica para incorporar los siete pozos. Se realizaron diferentes escenarios que incluyen hasta un caudal total transportado en la conducción de 2000 L/s, esto conlleva a una velocidad promedio de 3.00 m/s aproximadamente. Lo anterior se ubica dentro de los rangos permisibles, establecidos en las recomendaciones emitidas por la Comisión Nacional del Agua; sin embargo la limitante radica en los niveles que podrían presentarse en la Torre de oscilación y Tanque unidireccional ubicados en el tramo de interés al realizar la incorporación.
- Producto del análisis transitorio se establece que debido a la topografía del tramo, en caso de algún paro repentino en todos los equipos ubicados en el Rebombeco, la línea de cargas piezométricas no presenta sobrepresiones máximas mayores a la clase (cédula) de los tubos de concreto presforzado y asbesto cemento instalados en el tramo analizado.
- La tubería que transportaría los 174 L/s resulta de 14 pulgadas con una velocidad promedio de 1.75 metros por segundo. Este diámetro resultante obedece, a la posible incorporación de nuevos pozos a la propia tubería.

- Es recomendable que una vez incorporados los pozos (Riberas del Sacramento #7 al #13), el acueducto en este tramo, mantenga una operación permanente con únicamente tres equipos en operación en el Rebombeo.
- El punto anterior se debe a dos situaciones:
 - Resultado de las simulaciones se tiene que en caso de operar de forma permanente con cuatro ó cinco equipos en el Rebombeo, la presión aumentaría a niveles mayores en la torre de oscilación; en el tanque ocurriría de la misma forma, sin embargo existe una válvula de altitud instalada que impide la elevación del nivel.
 - Posibles problemas de sumergencia que podrían presentar las bombas y con ello presentarse el fenómeno de cavitación.
- En el escenario de incorporar los pozos (Riberas del Sacramento #7 al #13⁺) **en el cadenamiento 12+000**, el nivel proyectado en la Torre de oscilación (17+000) será de 14.92 metros con respecto a la base del dispositivo de protección; esto resulta 2.62 metros mayor, con respecto a los 12.30 metros que reporta en un primer muestreo bajo condiciones actuales de operación. Para el caso del Tanque unidireccional, el nivel proyectado con la incorporación de los nuevos pozos ($Q = 174 \text{ L/s}$) y considerando únicamente tres equipos en operación en el Rebombeo, resulta de 25.43 metros referidos a la base del tanque. El valor anterior es 4.43 metros mayor a los 21.40 metros medidos por la JMAS e IMTA durante un recorrido en campo.
- Para el segundo escenario, en el cual los nuevos pozos se incorporarían en el **cademamiento 17+800**, los niveles en la Torre de oscilación alcanzarían 14.82 metros, esto es 2.52 metros mayor con respecto a los 12.30 metros medidos por el personal de la JMAS e IMTA durante un recorrido en campo. El Tanque unidireccional tendrá un nivel con la incorporación de 23.16 metros con respecto a la base del dispositivo. Este valor presenta un incremento de 1.76 metros con respecto a los 21.40 metros medidos por la JMAS e IMTA bajo condiciones de operación actuales (sin incorporación).
- En ambos escenarios ($Q = 174 \text{ L/s}$), se concluye que la incorporación no rebasa los niveles máximos permitidos en los dos dispositivos de protección: Tanque unidireccional y Torre de oscilación.
- Hasta este punto se concluye, que el dispositivo de protección que limita la incorporación de nuevos pozos y con ello posibles derrames, será la Torre de oscilación. Este se debe fundamentalmente a la ubicación dentro del tramo analizado y la altura menor comparada con el Tanque unidireccional.
- **En el primer escenario** de incorporación de la batería de pozos sobre el cadenamiento (12+000), se establece que el límite permitido de caudal por adicionar a la línea de conducción “El Sauz” será de 210 litros por segundo; con ello el Tanque unidireccional reporta un nivel de 26.30 metros y la Torre de oscilación 15.55 metros, esto es 1.10 metros aproximadamente, por debajo del nivel del desfogue de la propia Torre.

⁺ Recordar que el pozo #13 no es considerado dentro del análisis debido a que se carece de información básica como el nivel freático, caudal proyectado, entre otros.

- **Para el segundo escenario** de incorporación (cadenamiento 17+800), se establece que el límite permitido de caudal por adicionar a la línea de conducción “El Sauz” será de 205 litros por segundo; con ello el Tanque unidireccional reporta un nivel de 23.63 metros y la Torre de oscilación 15.58 metros, esto es 1.00 metro aproximadamente, por debajo del nivel del desfogue de la propia Torre.
- La diferencia de caudal máximo permitido por incorporar es mínima entre los escenarios analizados, sin embargo la diferencia radica en la proximidad del segundo escenario (17+800) con respecto a la Torre de oscilación; además, este último dispositivo de protección presenta una altura menor, lo que se traduce en menor margen de holgura.
- La tubería de 14 pulgadas proyectada originalmente para transportar un caudal con 174 L/s, mantiene su diseño; únicamente aumentaría la velocidad a 2.11 metros por segundo.
- En el futuro la JMAS y JCAS, podría considerar la posibilidad de la convertir la Torre de oscilación (17+000) en un Tanque unidireccional, a través de la instalación de una tubería adicional de llenado lento. Esto evitaría los posibles derrames de agua que pudieran presentarse de forma esporádica por la operación del acueducto.

8.28 Análisis hidráulico definitivo en flujo permanente de la conducción “El Sauz”

Derivado del análisis preliminar, el personal de las Juntas Central y Municipal de Chihuahua (JCAS y JMAS), realizaron nuevas consideraciones en la incorporación de caudal a la conducción “El Sauz”. Las principales modificaciones con relación al análisis preliminar son:

- Incorporación de nuevos pozos denominados JCAS. El número de pozos por adicionar será de seis (JCAS # 6 al # 11).
- Adición de los pozos Riberas del Sacramento # 13 al #18, para un total de seis pozos.
- En suma se incorporarán en este análisis un total de 12 pozos, además de los Riberas del Sacramento # 7 al # 12 (18 pozos).

Estos cambios se presentan en las ilustraciones siguientes:

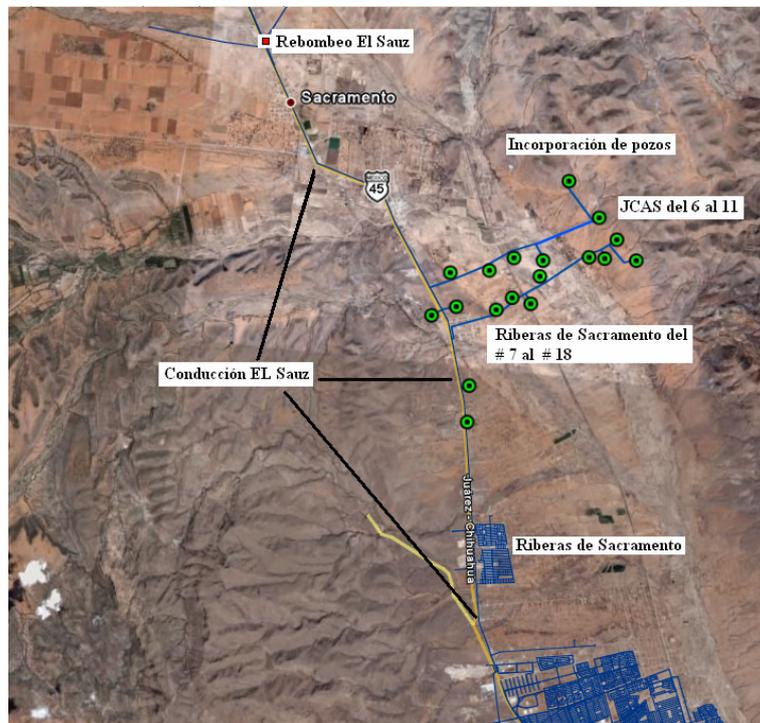


Ilustración 29 Vista en planta de los pozos por incorporar a la conducción El Sauz – Última Propuesta



Ilustración 30 Detalle de la vista en planta de los pozos por incorporar, incluye Riberas del Sacramento #7 al #18 y JCAS #6 al #11.

Con base en los registros reportados por el personal de la JMÁS, el caudal total proyectado por incorporar al acueducto será de 524 litros por segundo. El desglose de los pozos se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 16. Relación de nuevos pozos por incorporar a la conducción “El Sauz”, (JMÁS, 2008)

Nombre de Pozo	Caudal estimado (L/s)
Riberas del Sacramento # 7	25
Riberas del Sacramento # 8	25
Riberas del Sacramento # 9	32
Riberas del Sacramento # 10	32
Riberas del Sacramento # 11	20
Riberas del Sacramento # 12	40
Riberas del Sacramento # 13	70
Riberas del Sacramento # 14	30
Riberas del Sacramento # 15	30
Riberas del Sacramento # 16	30
Riberas del Sacramento # 17	30
Riberas del Sacramento # 18	30
SUBTOTAL	394
Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) # 6	30
Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) # 7	30
Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) # 8	30
Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) # 9	30
Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) # 10	30
Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) # 11	30
SUBTOTAL	180
TOTAL	574

8.29 Escenario SAZ03-R1

En este escenario se considera la incorporación de 160 L/s sobre cadenamiento (8+200), producto de la aportación de caudal de los pozos Riberas del Sacramento #13, #16, #17 y #18. En este sitio se ubica la válvula expulsora #14 con diámetro de 20 pulgadas.

Sobre el cadenamiento 8+800 se conectan los pozos Riberas del Sacramento #14 y #15, para un caudal total $Q = 60$ litros por segundo. En este punto se localiza la válvula expulsora #16, con diámetro de 20 pulgadas.

Los pozos Riberas del Sacramento #9, #10, #11, #12 se incorporan en el cadenamiento 9+600 para un caudal total $Q = 124$ litros por segundo.

En el cadenamiento 11+000 se ubica el pozo Riberas del Sacramento #8, con caudal total $Q = 25$ litros por segundo; asimismo el pozo Riberas del Sacramento #7 se localiza sobre el cadenamiento 11+800 y aporta un caudal a la conducción “El Sauz” de 25 litros por segundo.

Los pozos Riberas del Sacramento #1 al #6, así como Impulso, Arroyos 4 y Sacramento Norte #8 y #9, son considerados en el análisis hidráulico de este escenario.

Finalmente para este escenario, se consideran tres tipos de bomba diferentes en el Rebombeo.

8.30 Escenario SAZ03-R2

En este escenario se considera la incorporación de 160 L/s sobre cadenamiento (8+200), producto de la aportación de caudal de los pozos Riberas del Sacramento #13, #16, #17 y #18. En este sitio se ubica la válvula expulsora #14 con diámetro de 20 pulgadas.

Sobre el cadenamiento 8+800 se conectan los pozos Riberas del Sacramento #14 y #15, para un caudal total $Q = 60$ litros por segundo. En este punto se localiza la válvula expulsora #16, con diámetro de 20 pulgadas.

Los pozos Riberas del Sacramento #9, #10, #11, #12 y los JCAS # 6, # 7, # 8, # 9, #10 y #11 se incorporan en el cadenamiento 9+600 para un caudal total $Q = 304$ litros por segundo.

En el cadenamiento 11+000 se ubica el pozo Riberas del Sacramento #8, con caudal total $Q = 25$ litros por segundo; asimismo el pozo Riberas del Sacramento #7 se localiza sobre el cadenamiento 11+800 y aporta un caudal a la conducción “El Sauz” de 25 litros por segundo.

Los pozos Riberas del Sacramento #1 al #6, así como Impulso, Arroyos 4 y Sacramento Norte #8 y #9, son considerados en el análisis hidráulico de este escenario.

Finalmente para este escenario, se consideran tres tipos de bomba diferentes en el Rebombeo.

8.31 Escenario SAZ03-R3, definitivo

En este escenario se considera la incorporación de 220 L/s sobre cadenamiento (8+200), producto de la aportación de caudal de los pozos Riberas del Sacramento #13, #16, #17 #18 y de los JCAS #6 y #7. En este sitio se ubica la válvula expulsora #14 con diámetro de 20 pulgadas.

Sobre el cadenamiento 8+800 se conectan los pozos Riberas del Sacramento #14 y #15, para un caudal total $Q = 60$ litros por segundo. En este punto se localiza la válvula expulsora #16, con diámetro de 20 pulgadas.

Los pozos Riberas del Sacramento #9, #10, #11, #12 y los JCAS # 8, # 9, #10 y #11 se incorporan en el cadenamiento 9+600 para un caudal total $Q = 244$ litros por segundo.

En el cadenamiento 11+000 se ubica el pozo Riberas del Sacramento #8, con caudal total $Q = 25$ litros por segundo; asimismo el pozo Riberas del Sacramento #7 se localiza sobre el cadenamiento 11+800 y aporta un caudal a la conducción “El Sauz” de 25 litros por segundo.

Los pozos Riberas del Sacramento #1 al #6, así como Impulso, Arroyos 4 y Sacramento Norte #8 y #9, son considerados en el análisis hidráulico de este escenario.

Finalmente se consideran tres tipos de bomba diferentes en el Rebombeo.

En las ilustraciones siguientes se presentan los resultados que componen este análisis hidráulico. Se encuentran desglosados con base en nodos, tramos y nodos especiales (bombas).

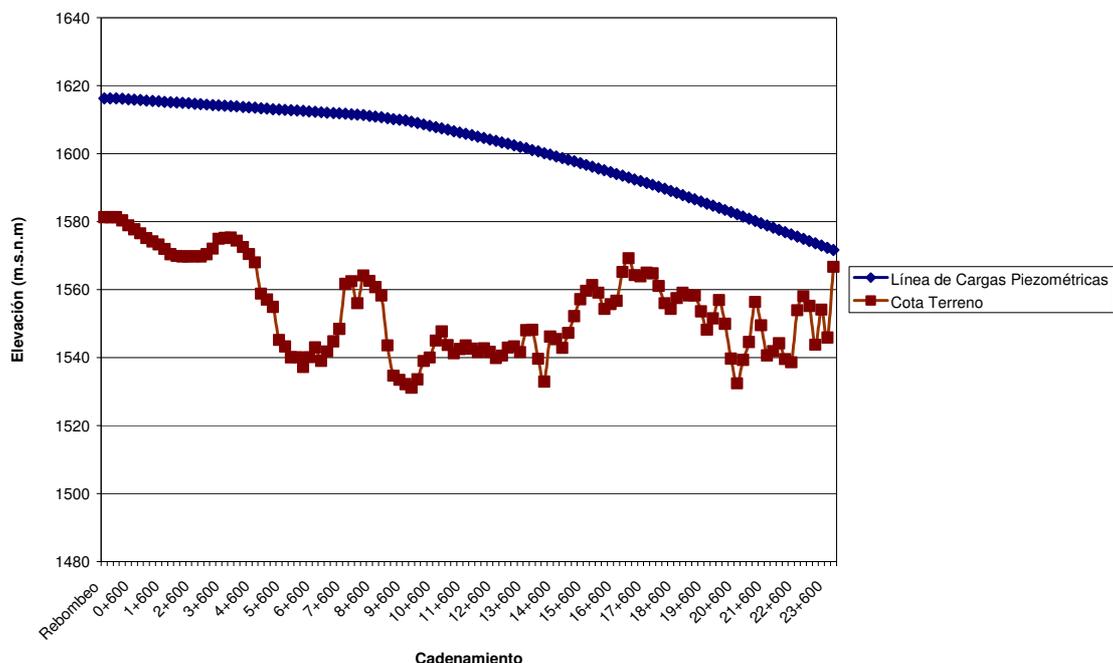


Ilustración 31 Envoltorio de presiones máximas, tramo Rebombeo – Tanques Loma Larga

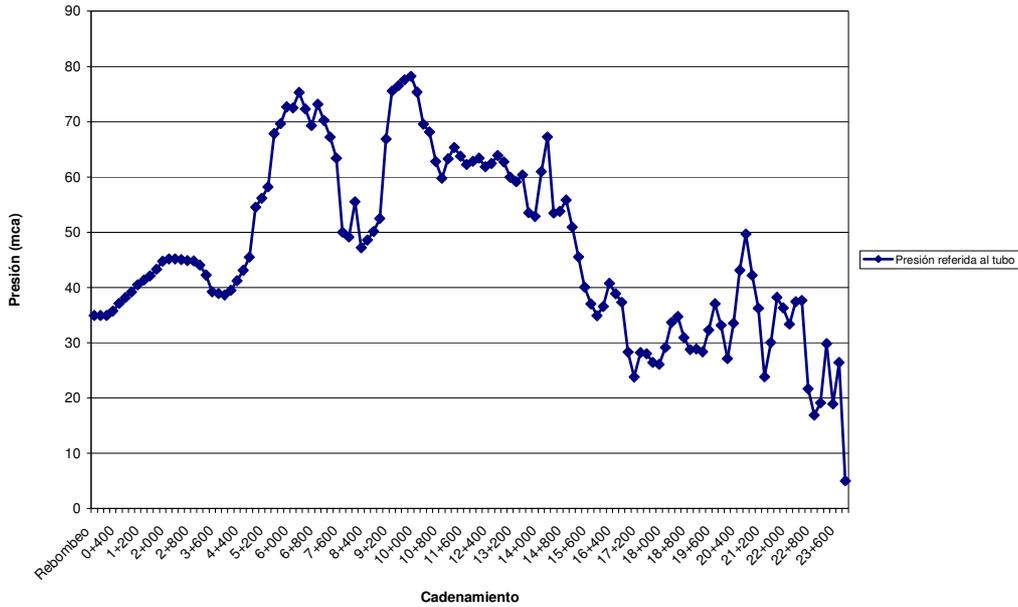


Ilustración 32 Presión dentro de la tubería, Tramo Reboleo – Tanques Loma Larga.

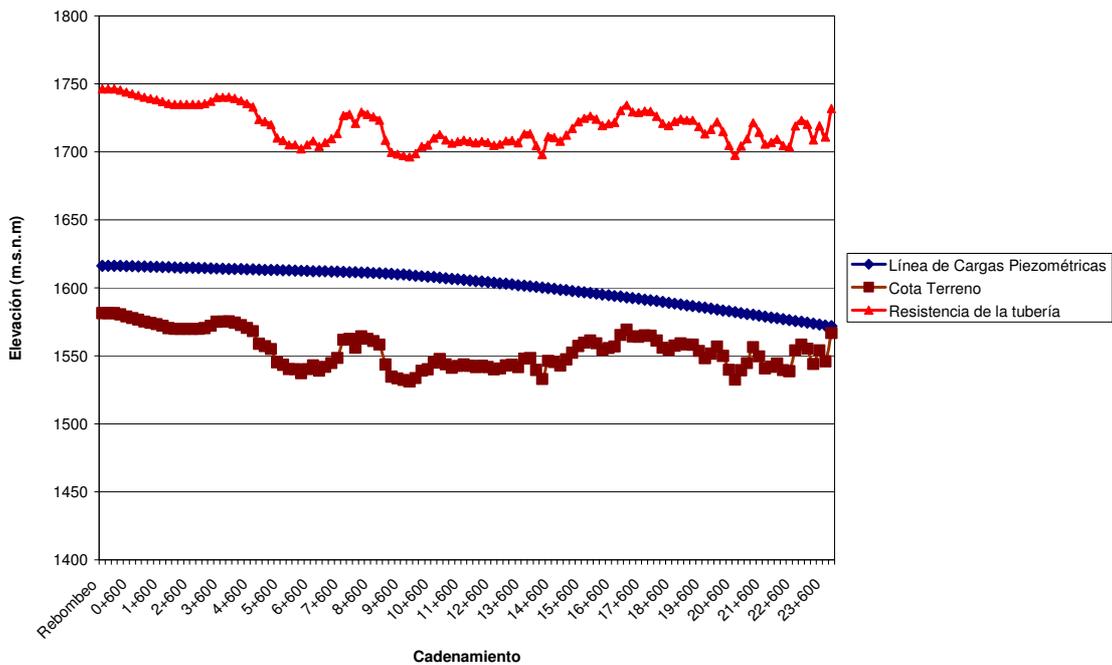


Ilustración 33 Envoltorio de presiones máximas vs Resistencia de la tubería, tramo Reboleo – Tanques Loma Larga

A través de las ilustraciones anteriores se determina que, bajo condiciones normales de servicio, la incorporación de los pozos presenta presiones máximas de 8.0 kg/cm^2 ; este último valor resulta de un orden de magnitud menor, si es comparado con la resistencia máxima de la tubería otorgada por el fabricante, el cual de acuerdo con el departamento de Red Hidráulica, resulta de 16.5 kg/cm^2 . Por lo tanto, la tubería no tendrá problemas de colapso ante sobrepresiones máximas, producto de la incorporación de los pozos.

8.32 Análisis transitorio de la conducción “El Sauz”, tramo Rebombeo – Tanques Loma Larga

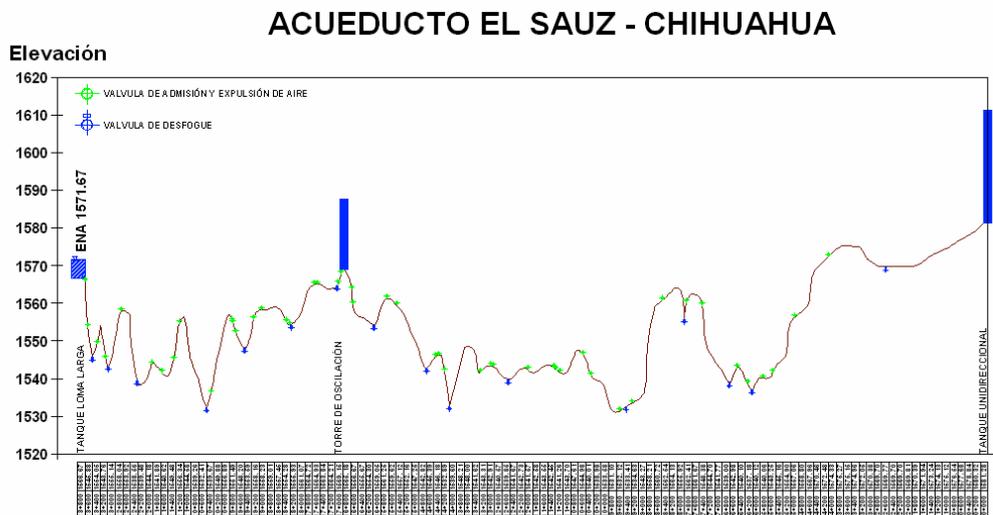
Una vez realizado el análisis en flujo permanente, se procedió al cálculo con flujo no permanente o transitorio. Es importante mencionar que este tipo de análisis requiere de la siguiente información:

De forma resumida el análisis se realiza con base en la siguiente secuencia:

- Perfil topográfico de la conducción con elevaciones, diámetro, material y clase de tubería y accesorios por tramos.
- Niveles de agua en la toma y en la descarga de las bombas.
- Curvas características de las bombas.
- Momento de inercia de bombas y motores acoplados.
- Gastos de diseño y forma de operación
- Ubicación de elementos de protección (válvulas de admisión y expulsión de aire, torres de oscilación, tanques unidireccionales, etc).

8.33 Ubicación de dispositivos de protección

En el tramo analizado existen tres diferentes tipos de dispositivos de protección. Los dos primeros, mencionados previamente en la sección número cuatro del presente documento son: Tanque Unidireccional (Cad: 0+000) y Torre de Oscilación (Cad: 17+000),



(Ilustración 34).

ACUEDUCTO EL SAUZ - CHIHUAHUA

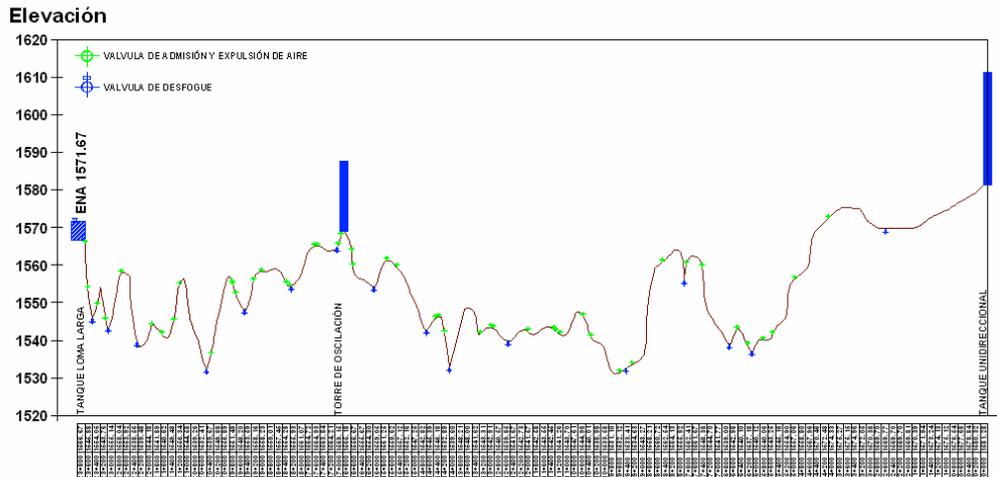


Ilustración 34 Perfil del tramo analizado “Rebombero – Tanque Loma Larga” – Conducción “El Sauz” (ilustración repetida para fines didácticos para el lector).

El último dispositivo de protección resulta la(s) válvula(s) de admisión y expulsión de aire. Para el levantamiento en campo que incluye, ubicación, número de válvula y elevación (Tabla 17), se obtuvo el apoyo del personal de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS).

Tabla 17 Ubicación de válvulas de admisión y expulsión de aire en el tramo Rebombero – Tanques Loma Larga

		Punto	Cadenamiento	Elevación (msnm)
		Rebombeo El Sauz	0+000	1581.15
El Sauz Etapa I	1	Expulsora 06	4+211	1571.62
El Sauz Etapa I	2	Expulsora 103	5+099	1552.27
El Sauz Etapa I	3	Expulsora 08	5+679	1541.22
El Sauz Etapa I	4	Expulsora 102	5+932	1537.41
El Sauz Etapa I	5	Expulsora 12	6+335	1546.90
El Sauz Etapa I	6	Expulsora 101	6+610	1540.07
El Sauz Etapa I	7	Expulsora 13	7+532	1563.46
El Sauz Etapa I	8	Expulsora 14	7+953	1564.41
El Sauz Etapa I	9	Expulsora 15	8+581	1558.67
El Sauz Etapa I	10	Expulsora 16	9+381	1532.58
El Sauz Etapa I	11	Expulsora 17	9+708	1538.62
El Sauz Etapa I	12	Expulsora 18	10+473	1547.91
El Sauz Etapa I	13	Expulsora 19	10+672	1546.25
El Sauz Etapa I	14	Expulsora 20	11+287	1543.80
El Sauz Etapa I	15	Expulsora 22	11+397	1540.66
El Sauz Etapa I	16	Expulsora 21	11+449	1540.66
El Sauz Etapa I	17	Expulsora 24	12+124	1543.77
El Sauz Etapa I	18	Expulsora 100	13+044	1540.29
El Sauz Etapa I	19	Expulsora 25	13+106	1540.23
El Sauz Etapa I	20	Expulsora 26	13+387	1550.92
El Sauz Etapa I	21	Expulsora 27	14+325	1548.69
El Sauz Etapa I	22	Expulsora 28	14+488	1544.31
El Sauz Etapa I	23	Expulsora 29	14+562	1544.31
El Sauz Etapa I	24	Expulsora 30	15+589	1563.52
El Sauz Etapa I	25	Expulsora 31	15+839	
El Sauz Etapa I	26	Expulsora 33	16+742	1569.43
El Sauz Etapa I	27	Expulsora 34	16+772	1569.43
El Sauz Etapa I	28	Expulsora 36	17+052	1561.98
El Sauz Etapa I	29	Expulsora 37	17+131	1561.25
El Sauz Etapa I	30	Expulsora 38	17+680	1566.37
El Sauz Etapa I	31	Expulsora 39	17+754	1562.71
El Sauz Etapa I	32	Expulsora 40	18+401	1555.48
El Sauz Etapa I	33	Expulsora 41	18+489	1557.82
El Sauz Etapa I	34	Expulsora 43	19+150	1555.76
El Sauz Etapa I	35	Expulsora 42	19+363	1559.42
El Sauz Etapa I	36	Expulsora 45	19+825	1554.69
El Sauz Etapa I	37	Expulsora 44	19+904	1552.52
El Sauz Etapa I	38	Expulsora 46	19+923	1547.22
El Sauz Etapa I	39	Expulsora 47	20+473	1539.77
El Sauz Etapa I	40	Expulsora 49	21+310	1551.64
El Sauz Etapa I	41	Expulsora 48	21+459	1558.52
El Sauz Etapa I	42	Expulsora 50	21+768	1542.83
El Sauz Etapa I	43	Expulsora 51	22+041	1544.85
El Sauz Etapa I	44	Expulsora 52	22+842	1558.69
El Sauz Etapa I	45	Expulsora 53	23+258	1544.19
El Sauz Etapa I	46	Expulsora 54	23+480	1558.92
El Sauz Etapa I	47	Expulsora 55	23+723	1547.30
El Sauz Etapa I	48	Expulsora 56	23+800	1561.80

Con base en lo anterior, se introdujeron las válvulas, así como los demás dispositivos de protección al programa de simulación hidráulica en estado transitorio, ARIETE®.



Ilustración 35 Ventana de trabajo del programa de cómputo ARIETE®, desarrollado por el IMTA

8.34 Momento Inercia y celeridad de la onda

Para el cálculo del momento de inercia, se emplearon las expresiones siguientes, propuestas por el método Thorley.

$$WR^2 = I(\text{motor}) = 0.0043 \left(\frac{P}{N} \right)^{1.48}$$

$$WR^2 = I(\text{bomba}) = 0.03768 \left(\frac{P}{N^3} \right)^{0.9556}$$

Aunque se conoce que, $GD^2 = 4WR^2$, por lo tanto el momento volante final se expresa de la forma siguiente:

$$GD^2 = 4 \times \left[I(\text{motor}) = 0.0043 \left(\frac{P}{N} \right)^{1.48} + I(\text{bomba}) = 0.03768 \left(\frac{P}{N^3} \right)^{0.9556} \right]$$

Finalmente la expresión anterior deberá afectarse de forma proporcional al número de pasos que contiene cada conjunto bomba-motor.

De forma particular, los resultados obtenidos del momento volante en los equipos de bombeo del acueducto “El Sauz” se presentan a continuación:

Tabla 18 Cálculo del momento de inercia de los equipos ubicados en el sitio conocido como “Rebombero”- acueducto El Sauz, así como de pozos ubicados en el tramo analizado.

Nodo	Potencia (HP)	Potencia (KW)	RPM	Número de impulsores	WR2 fórmula Thorley (motor) (Kg.m2)	WR2 fórmula Thorley (bomba) (Kg.m2)	WR2 fórmula Thorley (motor+bomba) (Kg.m2)	GD2 fórmula Thorley (motor+bomba) (Kg.m2)
RS1	125	93.2125	3450	3	0.565350715	0.247424027	0.812774742	3.251
RS2	100	74.57	3450	6	0.406341451	0.399820132	0.806161582	3.225
RS6	100	74.57	3450	5	0.406341451	0.333183443	0.739524894	2.958
RS5	100	74.57	3450	5	0.406341451	0.333183443	0.739524894	2.958
RS3	100	74.57	3450	5	0.406341451	0.333183443	0.739524894	2.958
RS4	100	74.57	3450	5	0.406341451	0.333183443	0.739524894	2.958
SN9	174	129.7518	1770	10	2.476713895	7.665002325	10.14171622	40.567
SN8	13	9.6941	1760	6	0.053720593	0.391861856	0.445582449	1.782
AR4	125	93.2125	3450	4	0.565350715	0.329898702	0.895249418	3.581
B4	300	223.71	1760	2	5.592990684	2.622192313	8.215182997	32.861
B5	300	223.71	1785	2	5.477448186	2.518278778	7.995726964	31.983

Estos datos son introducidos al programa como elemento de protección. Para el caso de la celeridad o velocidad de propagación de la onda de presión, se atendieron las recomendaciones emitidas por la Comisión Nacional del Agua en su manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS), en específico en el libro Fenómenos Transitorios.

Con base en el criterio anterior, se presenta la siguiente expresión:

$$a = \frac{a_o}{\sqrt{1 + \frac{E_{agua} D}{E_{mat} \delta}}}$$

donde:

a_o , velocidad del sonido en el agua, 1425 a 1440 m/s, para condiciones de temperatura de agua normales.

E_{agua} , módulo de elasticidad volumétrica del agua (21,150 kg/cm²).

E_{mat} , módulo de elasticidad (módulo de Young) del material del tubo (398,000 kg/cm²)

D , diámetro interior del tubo, 0.9144 metros para este caso.

δ , espesor de la pared del tubo, 0.083 metros (ver anexo 1)

Aplicando la expresión anterior, el valor final de la celeridad será de 1140 m/s.

8.35 Curvas Características

Con base en la información recopilada proveniente de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua, Chih. (JMAS), en específico el departamento de Suministro, las curvas características de los equipos de bombeo se presentan en el anexo 3.

8.36 Análisis hidráulico en estado transitorio

En esta etapa de análisis transitorio se inició con la configuración previamente presentada.

8.37 Escenario SAZ-R5

Considerando los datos anteriores relacionados con las válvulas de admisión y expulsión, así como de los momentos volantes de inercia y el cálculo de la celeridad de la onda, se procede a realizar el cálculo considerando flujo transitorio. Es importante mencionar que este tipo de análisis considera como condición inicial, el cálculo previo empleando flujo permanente.

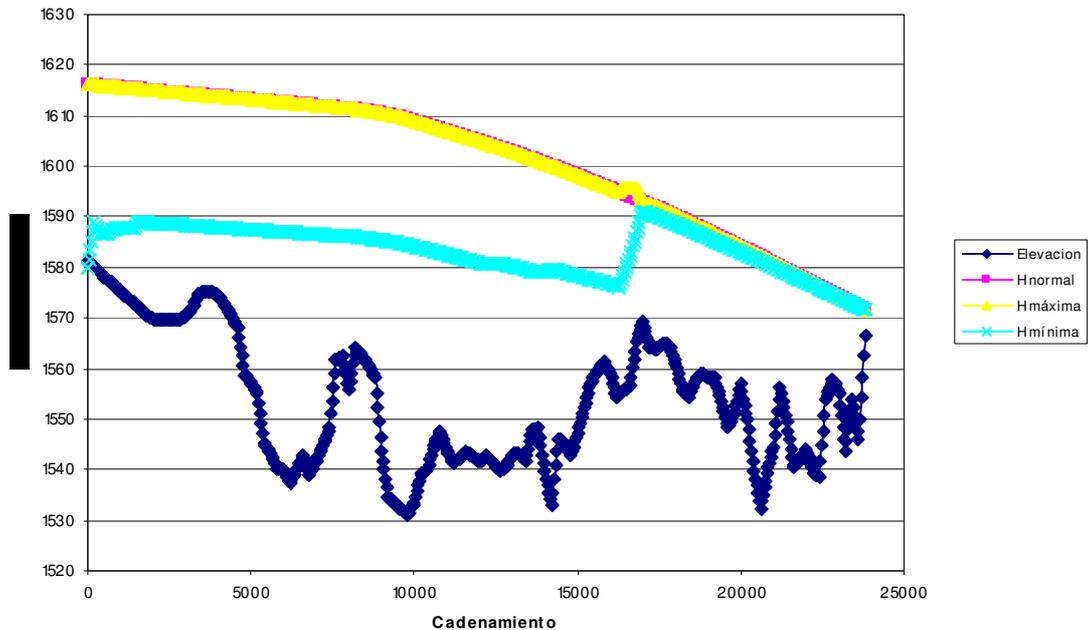


Ilustración 36 Envolventes de presión máximas y mínimas presentadas en el tramo analizado. Escenario

A partir de lo anterior y ejecutado el análisis se concluye lo siguiente:

- En suma se incorporarán un total de 12 pozos, además de los Riberas del Sacramento # 7 al # 12 (18 pozos). El caudal total por incorporar asciende a 524 litros por segundo, todo ello con base en los datos de extracción proyectados por el personal de la JMAS y JCAS.
- La conducción presenta suficiente capacidad hidráulica para incorporar los pozos. Se realizaron diferentes escenarios que incluyen hasta un caudal total transportado en la conducción de 1489.10 L/s, esto conlleva a una velocidad promedio de 2.27 m/s aproximadamente. Lo anterior se ubica dentro de los rangos permisibles, establecidos en las recomendaciones emitidas por la Comisión Nacional del Agua; sin embargo la limitante radica en los niveles que podrían presentarse en la Torre de oscilación y Tanque unidireccional ubicados en el tramo de interés al realizar la incorporación.
- Producto del análisis transitorio se establece que debido a la topografía del tramo, en caso de algún paro repentino en todos los equipos ubicados en el Rebombado, la línea de cargas piezométricas no presenta sobrepresiones máximas

mayores a la clase (cédula) de los tubos de concreto presforzado y asbesto cemento instalado en el tramo analizado. La sobrepresión máxima emitida por el fabricante asciende a 16.50 kg/cm^2 , este valor resulta de un orden de magnitud mayor al compararlo con la sobrepresión máxima de obtenida 78.22 metros de columna de agua en el cadenamamiento 9+800 del tramo analizado.

- En cuanto al diseño de las tuberías por incorporar, el diámetro de los tramos se compone de la forma siguiente:
 - La tubería que conduce 220 L/s resulta de sección variable y se compone desde 6 a 18 pulgadas. Este diámetro resultante obedece, a la distribución espacial de los pozos por incorporar. Los pozos involucrados en este tramo son: JCAS #6 y #7 y Riberas del Sacramento #13, #16, #17 y #18. Es importante mencionar que esta tubería conectaría con el acueducto sobre el cadenamamiento 8+200, recordando que el inicio se ubica (0+000) en el lugar conocido como Rebombero y el final (23+800) en los tanques Loma Larga.
 - El diámetro de la tubería en el pozo Riberas del Sacramento #15 será de 6 pulgadas.
 - De igual forma que el punto anterior, el diámetro de la tubería que conectaría al pozo Riberas del Sacramento #14 con el acueducto El Sauz, será de 6 pulgadas.
 - La tubería que conduce 244 L/s y que incluye los pozos Riberas del Sacramento #9, #10, #11 y #12, así como los JCAS #8, #9, #10 y #11, será diseñada con diámetro variable, el cual fluctúa entre 6 y 18 pulgadas. La conexión de esta tubería con el acueducto será sobre el cadenamamiento 9+600.
- Es recomendable que una vez incorporados los pozos, el acueducto en este tramo, mantenga una operación permanente con únicamente tres equipos en operación en el Rebombero.
- El punto anterior se debe a dos situaciones:
 - Resultado de las simulaciones se tiene que en caso de operar de forma permanente con cuatro ó cinco equipos en el Rebombero, la presión aumentaría a niveles mayores en la torre de oscilación; en el tanque ocurriría de la misma forma, sin embargo existe una válvula de altitud instalada que impide la elevación del nivel.
 - Posibles problemas de sumergencia que podrían presentar las bombas y con ello presentarse el fenómeno de cavitación.
- En cuanto a la modificaciones que deberán ser atendidas en los dispositivos protección del tramo analizado (Tanque Unidireccional y Torre de Oscilación), producto del análisis transitorio realizado, se tiene lo siguiente:
 - En el escenario de incorporar los 18 pozos (574 L/s), el nivel proyectado en la Torre de oscilación (17+000) será de 23.80 metros con respecto a la base del dispositivo de protección; esto resulta 5.50 metros mayor, con respecto a los 18.30 metros aproximadamente de altura total de la Torre de Oscilación.
 - En el escenario de incorporar los 18 pozos (574 L/s), el nivel proyectado en la Tanque Unidireccional será de 35.76 metros con respecto a la base del dispositivo de protección; esto resulta 5.76 metros mayor, con respecto a los 30 metros aproximadamente de altura total del Tanque Unidireccional.

- En ambos escenarios ($Q = 574 \text{ L/s}$), se concluye que la incorporación rebasará los niveles máximos permitidos en los dos dispositivos de protección: Tanque unidireccional y Torre de oscilación. Por lo que será necesario efectuar medidas que garanticen la seguridad del acueducto.
- Por tanto con el punto anterior se concluye, que el dispositivo de protección que limita la incorporación de nuevos pozos y con ello posibles derrames, será la Torre de oscilación. Este se debe fundamentalmente a la ubicación dentro del tramo analizado y la altura menor comparada con el Tanque unidireccional.
- En el futuro la JMAS y JCAS, podría considerar la posibilidad de la convertir la Torre de oscilación (17+000) en un Tanque unidireccional, a través de la instalación de una tubería adicional de llenado lento. Esto evitaría los posibles derrames de agua que pudieran presentarse de forma esporádica por la operación del acueducto.

8.38 Escenario SAZ-R6

Nuevamente el personal de la JCAS estableció una variante del Escenario SAZ-R5. Esta se debe a que la localización espacial de los pozos JCAS (#6 al #11), se ubican en el lecho de un río. Por lo anterior, se realizaron los ajustes pertinentes y se procedió a ejecutar el análisis con flujo permanente y transitorio.

La configuración de este escenario se presenta a continuación, es importante mencionar que ésta fue verificada en campo por el personal de la JCAS.

En la ilustración se observa que en “círculo” los caudales proyectados por la JCAS y JMAS. Por su parte, las líneas de color azul son las tuberías que conectan los pozos Riberas del Sacramento con el acueducto El Sauz. Finalmente la tubería de color rojo representa el caudal que producirán los pozos JCAS.

La ubicación de la conducción que transporta el caudal de los JCAS, se localiza en el cadenamamiento 2+000, con respecto al origen (Rebombeo El Sauz). Con relación a las dos conducciones adicionales, su ubicación espacial permanece idéntica al escenario anterior (SAZ-R5), estas se encuentran localizadas en los cadenamamientos 8+200 y 9+600.

Los pozos Riberas del Sacramento #14 y #15 ubicados sobre el cadenamamiento 8+800 permanecen en el mismo sitio en comparación al escenario anterior.

Finalmente los pozos Riberas del Sacramento #8 y #7, se localizan sobre los cadenamamientos 11+000 y 11+800, respectivamente.



Ilustración 37 Distribución espacial de los pozos por incorporar al acueducto en operación El Sauz

8.38.1 Consideraciones

Para este escenario, se considera de forma idéntica, el número y ubicación de válvulas de admisión y expulsión de aire. De forma similar sucede con las curvas características de las bombas, momento de inercia, celeridad de la onda y especificaciones técnicas de los dispositivos de protección, todo lo anterior se asume con base en los cálculos contenidos y descritos en el escenario SAZ-R5.

8.38.2 Análisis de flujo permanente

Considerando las nuevas modificaciones en el trazo y con ello la ubicación espacial de los caudales por incorporar, se procede al análisis hidráulico en flujo permanente. De forma similar que en los casos anteriores, la herramienta utilizada para llevar a cabo el cálculo fue el programa Análisis Hidráulico (AH).

Los resultados derivados del análisis se presentan a continuación en forma gráfica y de tabla.

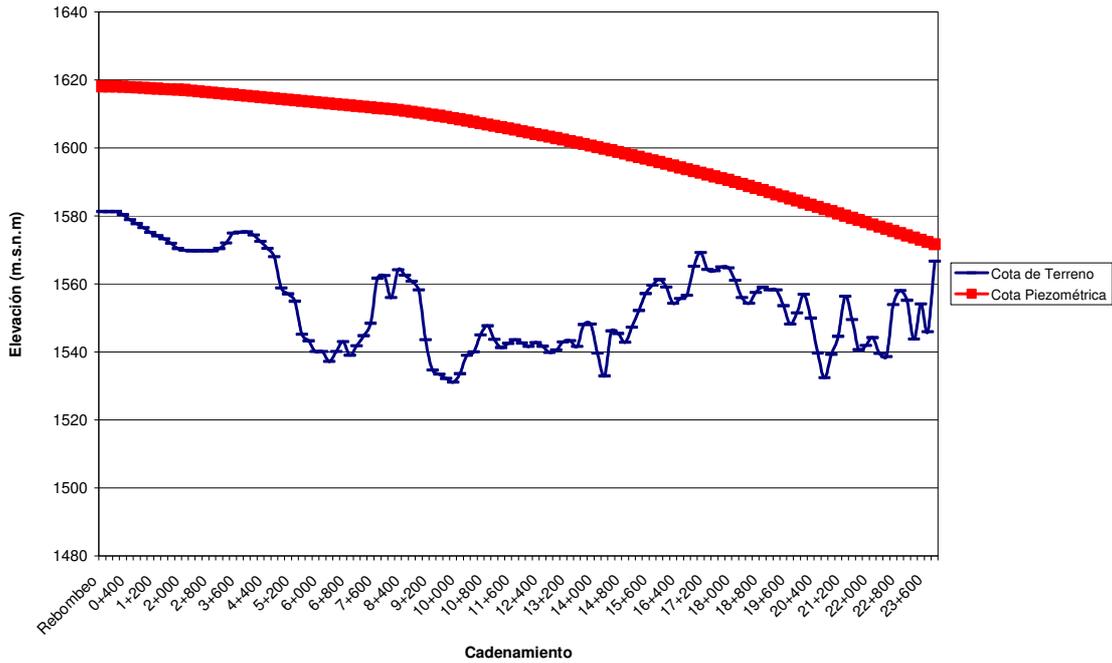


Ilustración 38 Envoltente de presión bajo condiciones de flujo permanente

A partir de la ilustración anterior, se observa que las presiones máximas oscilan los 8 kg/cm² aproximadamente. Esta situación en términos generales no representa un problema para la estructura, debido a la capacidad máxima que soporta el tubo (16 kg/cm²) de acuerdo a los datos proporcionados por el departamento de Red Hidráulica de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento, JMAS. Considerando únicamente el orden de magnitud de las presiones a lo largo del tramo analizado se tiene lo siguiente.

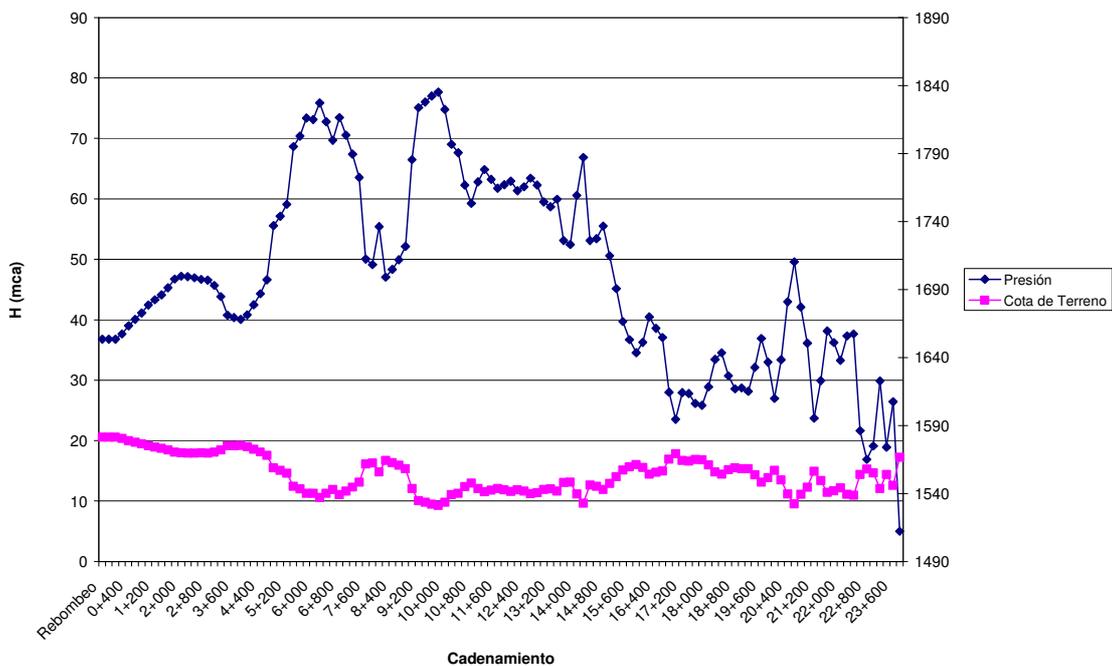


Ilustración 39 Evolución de la presión a lo largo de la conducción El Sauz.

Asimismo se presentan los resultados de este escenario se presentan de forma tabular, inicialmente en tramos, y posteriormente en nodos.

Tabla 19 Resultados en tramos correspondientes al escenario SAZ-R6

No.	TRAMO	TIPO	NODOS		LONGITUD (m)	Rug. (mm)	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
			Inicial	Final						
1	1A	0	Rebombeo	B4	1	0.03	914.4	219.44	0.33	0
2	1B	0	B4	B5	1	0.03	914.4	407.98	0.62	0
3	1	0	B5	0+200	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
4	2	0	0+200	0+400	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
5	3	0	0+400	0+600	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
6	4	0	0+600	0+800	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
7	5	0	0+800	1+000	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
8	6	0	1+000	1+200	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
9	7	0	1+200	1+400	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
10	8	0	1+400	1+600	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
11	9	0	1+600	1+800	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
12	10	0	1+800	2+000	200	0.03	914.4	562.68	0.86	0.1
13	11	0	2+000	2+200	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
14	12	0	2+200	2+400	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
15	13	0	2+400	2+600	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
16	14	0	2+600	2+800	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
17	15	0	2+800	3+000	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
18	16	0	3+000	3+200	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
19	17	0	3+200	3+400	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
20	18	0	3+400	3+600	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
21	19	0	3+600	3+800	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
22	20	0	3+800	4+000	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
23	21	0	4+000	4+200	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
24	22	0	4+200	4+400	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
25	23	0	4+400	4+600	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
26	24	0	4+600	4+800	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
27	25	0	4+800	5+000	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
28	26	0	5+000	5+200	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
29	27	0	5+200	5+400	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
30	28	0	5+400	5+600	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
31	29	0	5+600	5+800	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
32	30	0	5+800	6+000	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
33	31	0	6+000	6+200	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
34	32	0	6+200	6+400	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
35	33	0	6+400	6+600	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
36	34	0	6+600	6+800	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
37	35	0	6+800	7+000	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
38	36	0	7+000	7+200	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
39	37	0	7+200	7+400	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
40	38	0	7+400	7+600	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
41	39	0	7+600	7+800	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
42	40	0	7+800	8+000	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
43	41	0	8+000	8+200	200	0.03	914.4	772.68	1.18	0.19
44	42	0	8+200	8+400	200	0.03	914.4	932.68	1.42	0.27
45	43	0	8+400	8+600	200	0.03	914.4	932.68	1.42	0.27
46	44	0	8+600	8+800	200	0.03	914.4	932.68	1.42	0.27
47	45	0	8+800	9+000	200	0.03	914.4	992.68	1.51	0.3
48	46	0	9+000	9+200	200	0.03	914.4	992.68	1.51	0.3
49	47	0	9+200	9+400	200	0.03	914.4	992.68	1.51	0.3
50	48	0	9+400	9+600	200	0.03	914.4	992.68	1.51	0.3
51	49	0	9+600	9+800	200	0.03	914.4	1116.68	1.7	0.38
52	50	0	9+800	10+000	200	0.03	914.4	1116.68	1.7	0.38
53	51	0	10+000	10+200	200	0.03	914.4	1116.68	1.7	0.38
54	52	0	10+200	10+400	200	0.03	914.4	1116.68	1.7	0.38
55	53	0	10+400	10+600	200	0.03	914.4	1116.68	1.7	0.38
56	54	0	10+600	10+800	200	0.03	914.4	1116.68	1.7	0.38
57	55	0	10+800	11+000	200	0.03	914.4	1116.68	1.7	0.38
58	56	0	11+000	11+200	200	0.03	914.4	1141.68	1.74	0.39
59	57	0	11+200	11+400	200	0.03	914.4	1141.68	1.74	0.39
60	58	0	11+400	11+600	200	0.03	914.4	1141.68	1.74	0.39
61	59	0	11+600	11+800	200	0.03	914.4	1141.68	1.74	0.39
62	60	0	11+800	12+000	200	0.03	914.4	1166.68	1.78	0.41
63	61	0	12+000	12+200	200	0.03	914.4	1166.68	1.78	0.41
64	62	0	12+200	12+400	200	0.03	914.4	1166.68	1.78	0.41
65	63	0	12+400	12+600	200	0.03	914.4	1166.68	1.78	0.41
66	64	0	12+600	RS1	200	0.03	914.4	1166.68	1.78	0.41
67	65	0	RS1	13+000	200	0.03	914.4	1197.34	1.82	0.43
68	66	0	13+000	13+200	200	0.03	914.4	1197.34	1.82	0.43
69	67	0	13+200	RS2	200	0.03	914.4	1197.34	1.82	0.43
70	68	0	RS2	13+600	200	0.03	914.4	1231.95	1.88	0.46
71	69	0	13+600	13+800	200	0.03	914.4	1231.95	1.88	0.46
72	70	0	13+800	14+000	200	0.03	914.4	1231.95	1.88	0.46
73	71	0	14+000	14+200	200	0.03	914.4	1231.95	1.88	0.46
74	72	0	14+200	14+400	200	0.03	914.4	1231.95	1.88	0.46
75	73	0	14+400	14+600	200	0.03	914.4	1281.57	1.95	0.49

76	74	0	14+600	14+800	200	0.03	914.4	1281.57	1.95	0.49
77	75	0	14+800	15+000	200	0.03	914.4	1281.57	1.95	0.49
78	76	0	15+000	15+200	200	0.03	914.4	1281.57	1.95	0.49
79	77	0	15+200	15+400	200	0.03	914.4	1281.57	1.95	0.49
80	78	0	15+400	15+600	200	0.03	914.4	1307.08	1.99	0.51
81	79	0	15+600	15+800	200	0.03	914.4	1307.08	1.99	0.51
82	80	0	15+800	16+000	200	0.03	914.4	1307.08	1.99	0.51
83	81	0	16+000	16+200	200	0.03	914.4	1327.96	2.02	0.53
84	82	0	16+200	16+400	200	0.03	914.4	1327.96	2.02	0.53
85	83	0	16+400	16+600	200	0.03	914.4	1327.96	2.02	0.53
86	84	0	16+600	16+800	200	0.03	914.4	1327.96	2.02	0.53
87	85	0	16+800	17+000	200	0.03	914.4	1327.96	2.02	0.53
88	86	0	17+000	17+200	200	0.03	914.4	1327.96	2.02	0.53
89	87	0	17+200	17+400	200	0.03	914.4	1327.96	2.02	0.53
90	88	0	17+400	17+600	200	0.03	914.4	1327.96	2.02	0.53
91	89	0	17+600	17+800	200	0.03	914.4	1327.96	2.02	0.53
92	90	0	17+800	18+000	200	0.03	914.4	1413.52	2.15	0.59
93	91	0	18+000	18+200	200	0.03	914.4	1413.52	2.15	0.59
94	92	0	18+200	18+400	200	0.03	914.4	1413.52	2.15	0.59
95	93	0	18+400	18+600	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
96	94	0	18+600	18+800	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
97	95	0	18+800	19+000	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
98	96	0	19+000	19+200	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
99	97	0	19+200	19+400	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
100	98	0	19+400	19+600	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
101	99	0	19+600	19+800	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
102	100	0	19+800	20+000	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
103	101	0	20+000	20+200	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
104	102	0	20+200	20+400	200	0.03	914.4	1443.07	2.2	0.62
105	103	0	20+400	20+600	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
106	104	0	20+600	20+800	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
107	105	0	20+800	21+000	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
108	106	0	21+000	21+200	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
109	107	0	21+200	21+400	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
110	108	0	21+400	21+600	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
111	109	0	21+600	21+800	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
112	110	0	21+800	22+000	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
113	111	0	22+000	22+200	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
114	112	0	22+200	22+400	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
115	113	0	22+400	22+600	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
116	114	0	22+600	22+800	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
117	115	0	22+800	23+000	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
118	116	0	23+000	23+200	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
119	117	0	23+200	23+400	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
120	118	0	23+400	23+600	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
121	119	0	23+600	23+800	200	0.03	914.4	1479.06	2.25	0.65
122	120	0	RS6	RS6-1	68.5	0.03	254	29.51	0.58	0.08
123	121	0	RS6-1	RS6-2	230.1	0.03	254	29.51	0.58	0.27
124	122	0	RS6-2	RS6-3	380.1	0.03	254	29.51	0.58	0.45
125	123	0	RS6-3	RS6-4	135.8	0.03	254	29.51	0.58	0.16
126	124	0	RS6-4	14+400	81.7	0.03	254	29.51	0.58	0.1
127	125	0	RS5	14+400	146.3	0.03	203.2	20.1	0.62	0.25
128	126	0	RS3	15+400	622.8	0.03	203.2	25.52	0.79	1.68
129	127	0	RS4	RS4-1	454	0.03	203.2	20.88	0.64	0.84
130	128	0	RS4-1	RS4-2	225.5	0.03	203.2	20.88	0.64	0.42
131	129	0	RS4-2	RS4-3	378.5	0.03	203.2	20.88	0.64	0.7
132	130	0	RS4-3	16+000	386.4	0.03	203.2	20.88	0.64	0.72
133	131	0	SN9	SN9-1	534	0.03	254	51.16	1.01	1.74
134	132	0	SN9-1	17+800	2187.6	0.03	254	85.56	1.69	18.69
135	133	0	SN8	SN9-1	174.2	0.03	254	34.4	0.68	0.27
136	134	0	IMPULSO	18+400	406	0.03	203.2	29.55	0.91	1.43
137	135	0	AR4	20+400	180	0.03	203.2	35.99	1.11	0.92

Tabla 20 Resultados en nodos correspondientes al escenario SAZ-R6

No.	NODO	TIPO	DESCRIPCION	C.PIEZ. (m)	COTA T. (m)	PRESION (m)	CONSUMO (L/s)
1	Rebombeo	14	BOMBA (que para)	1618.06	1581.28	36.78	-219.44
2	B4	14	BOMBA (que para)	1618.06	1581.28	36.78	-188.53
3	B5	14	BOMBA (que para)	1618.06	1581.28	36.78	-154.7
4	0+200	3	TANQUE UNIDIRECCIONAL	1617.95	1580.32	37.63	0
5	0+400	0	NUDO SIMPLE	1617.85	1578.84	39.01	0
6	0+600	0	NUDO SIMPLE	1617.74	1577.68	40.06	0
7	0+800	0	NUDO SIMPLE	1617.64	1576.54	41.1	0
8	1+000	0	NUDO SIMPLE	1617.54	1575.12	42.42	0
9	1+200	0	NUDO SIMPLE	1617.43	1574.13	43.3	0
10	1+400	0	NUDO SIMPLE	1617.33	1573.24	44.09	0
11	1+600	0	NUDO SIMPLE	1617.22	1571.94	45.28	0
12	1+800	0	NUDO SIMPLE	1617.12	1570.39	46.73	0
13	2+000	34	CONSUMO (fijo)	1617.01	1569.81	47.2	-210
14	2+200	0	NUDO SIMPLE	1616.82	1569.7	47.12	0
15	2+400	0	NUDO SIMPLE	1616.64	1569.7	46.94	0
16	2+600	0	NUDO SIMPLE	1616.45	1569.77	46.68	0
17	2+800	0	NUDO SIMPLE	1616.26	1569.7	46.56	0
18	3+000	0	NUDO SIMPLE	1616.07	1570.38	45.69	0
19	3+200	0	NUDO SIMPLE	1615.88	1572.05	43.83	0
20	3+400	0	NUDO SIMPLE	1615.69	1574.96	40.73	0
21	3+600	0	NUDO SIMPLE	1615.5	1575.15	40.35	0
22	3+800	0	NUDO SIMPLE	1615.31	1575.27	40.04	0
23	4+000	0	NUDO SIMPLE	1615.12	1574.33	40.79	0
24	4+200	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1614.94	1572.48	42.46	0
25	4+400	0	NUDO SIMPLE	1614.75	1570.46	44.29	0
26	4+600	0	NUDO SIMPLE	1614.56	1567.96	46.6	0
27	4+800	0	NUDO SIMPLE	1614.37	1558.8	55.57	0
28	5+000	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1614.18	1557.06	57.12	0
29	5+200	0	NUDO SIMPLE	1613.99	1554.9	59.09	0
30	5+400	0	NUDO SIMPLE	1613.8	1545.16	68.64	0
31	5+600	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1613.61	1543.25	70.36	0
32	5+800	0	NUDO SIMPLE	1613.42	1540.06	73.36	0
33	6+000	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1613.23	1540.12	73.11	0
34	6+200	0	NUDO SIMPLE	1613.05	1537.18	75.87	0
35	6+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1612.86	1540.1	72.76	0
36	6+600	0	NUDO SIMPLE	1612.67	1542.98	69.69	0
37	6+800	0	NUDO SIMPLE	1612.48	1539	73.48	0
38	7+000	0	NUDO SIMPLE	1612.29	1541.77	70.52	0
39	7+200	0	NUDO SIMPLE	1612.1	1544.7	67.4	0
40	7+400	0	NUDO SIMPLE	1611.91	1548.38	63.53	0
41	7+600	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1611.72	1561.67	50.05	0
42	7+800	0	NUDO SIMPLE	1611.53	1562.41	49.12	0
43	8+000	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1611.35	1555.92	55.43	0
44	8+200	34	CONSUMO (fijo)	1611.16	1564.13	47.03	-160
45	8+400	0	NUDO SIMPLE	1610.89	1562.54	48.35	0
46	8+600	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1610.62	1560.72	49.9	0
47	8+800	34	CONSUMO (fijo)	1610.35	1558.21	52.14	-60
48	9+000	0	NUDO SIMPLE	1610.05	1543.57	66.48	0
49	9+200	0	NUDO SIMPLE	1609.74	1534.63	75.11	0
50	9+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1609.44	1533.41	76.03	0
51	9+600	34	CONSUMO (fijo)	1609.14	1532.12	77.02	-124
52	9+800	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1608.76	1531.1	77.66	0
53	10+000	0	NUDO SIMPLE	1608.38	1533.58	74.8	0
54	10+200	0	NUDO SIMPLE	1608	1538.98	69.02	0
55	10+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1607.62	1540.01	67.61	0
56	10+600	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1607.25	1544.98	62.27	0
57	10+800	0	NUDO SIMPLE	1606.87	1547.61	59.26	0
58	11+000	34	CONSUMO (fijo)	1606.49	1543.7	62.79	-25
59	11+200	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1606.09	1541.26	64.83	0
60	11+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1605.7	1542.45	63.25	0
61	11+600	0	NUDO SIMPLE	1605.31	1543.55	61.76	0
62	11+800	34	CONSUMO (fijo)	1604.91	1542.58	62.33	-25
63	12+000	0	NUDO SIMPLE	1604.5	1541.57	62.93	0
64	12+200	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1604.09	1542.73	61.36	0
65	12+400	0	NUDO SIMPLE	1603.68	1541.67	62.01	0
66	12+600	0	NUDO SIMPLE	1603.27	1539.85	63.42	0
67	RS1	13	BOMBA (trabajando)	1602.86	1540.57	62.29	-30.67
68	13+000	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1602.42	1542.91	59.51	0
69	13+200	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1601.99	1543.31	58.68	0
70	RS2	13	BOMBA (trabajando)	1601.56	1541.62	59.94	-34.61
71	13+600	0	NUDO SIMPLE	1601.1	1548	53.1	0
72	13+800	0	NUDO SIMPLE	1600.65	1548.21	52.44	0
73	14+000	0	NUDO SIMPLE	1600.19	1539.6	60.59	0
74	14+200	0	NUDO SIMPLE	1599.74	1532.89	66.85	0
75	14+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1599.28	1546.18	53.1	0

76	14+600	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1598.79	1545.39	53.4	0
77	14+800	0	NUDO SIMPLE	1598.3	1542.82	55.48	0
78	15+000	0	NUDO SIMPLE	1597.81	1547.25	50.56	0
79	15+200	0	NUDO SIMPLE	1597.32	1552.16	45.16	0
80	15+400	0	NUDO SIMPLE	1596.83	1557.12	39.71	0
81	15+600	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1596.32	1559.62	36.7	0
82	15+800	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1595.81	1561.25	34.56	0
83	16+000	0	NUDO SIMPLE	1595.3	1559.05	36.25	0
84	16+200	0	NUDO SIMPLE	1594.77	1554.3	40.47	0
85	16+400	0	NUDO SIMPLE	1594.24	1555.67	38.57	0
86	16+600	0	NUDO SIMPLE	1593.72	1556.67	37.05	0
87	16+800	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1593.19	1565.18	28.01	0
88	17+000	2	TORRE DE OSCILACION	1592.67	1569.15	23.52	0
89	17+200	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1592.14	1564.21	27.93	0
90	17+400	0	NUDO SIMPLE	1591.62	1563.84	27.78	0
91	17+600	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1591.09	1564.93	26.16	0
92	17+800	0	NUDO SIMPLE	1590.57	1564.72	25.85	0
93	18+000	0	NUDO SIMPLE	1589.97	1561.07	28.9	0
94	18+200	0	NUDO SIMPLE	1589.38	1555.93	33.45	0
95	18+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1588.79	1554.28	34.51	0
96	18+600	0	NUDO SIMPLE	1588.18	1557.45	30.73	0
97	18+800	0	NUDO SIMPLE	1587.56	1559.01	28.55	0
98	19+000	0	NUDO SIMPLE	1586.94	1558.23	28.71	0
99	19+200	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1586.33	1558.16	28.17	0
100	19+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1585.71	1553.59	32.12	0
101	19+600	0	NUDO SIMPLE	1585.1	1548.2	36.9	0
102	19+800	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1584.48	1551.49	32.99	0
103	20+000	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1583.87	1556.89	26.98	0
104	20+200	0	NUDO SIMPLE	1583.25	1549.88	33.37	0
105	20+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1582.64	1539.67	42.97	0
106	20+600	0	NUDO SIMPLE	1581.99	1532.41	49.58	0
107	20+800	0	NUDO SIMPLE	1581.35	1539.26	42.09	0
108	21+000	0	NUDO SIMPLE	1580.7	1544.58	36.12	0
109	21+200	0	NUDO SIMPLE	1580.06	1556.34	23.72	0
110	21+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1579.41	1549.48	29.93	0
111	21+600	0	NUDO SIMPLE	1578.77	1540.62	38.15	0
112	21+800	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1578.12	1541.89	36.23	0
113	22+000	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1577.48	1544.18	33.3	0
114	22+200	0	NUDO SIMPLE	1576.83	1539.48	37.35	0
115	22+400	0	NUDO SIMPLE	1576.19	1538.56	37.63	0
116	22+600	0	NUDO SIMPLE	1575.54	1553.92	21.62	0
117	22+800	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1574.9	1558.04	16.86	0
118	23+000	0	NUDO SIMPLE	1574.25	1555.14	19.11	0
119	23+200	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1573.61	1543.76	29.85	0
120	23+400	5	VALV.ADMIS.Y EXPUL. DE	1572.96	1554.05	18.91	0
121	23+600	0	NUDO SIMPLE	1572.32	1545.88	26.44	0
122	23+800	7	TANQUE (nivel constant	1571.67	1566.67	5	1479.06
123	RS6	13	BOMBA (trabajando)	1600.34	1532.08	68.26	-29.51
124	RS6-1	0	NUDO SIMPLE	1600.26	1533.41	66.85	0
125	RS6-2	0	NUDO SIMPLE	1599.99	1534.86	65.13	0
126	RS6-3	0	NUDO SIMPLE	1599.54	1544.68	54.86	0
127	RS6-4	0	NUDO SIMPLE	1599.38	1544.94	54.44	0
128	RS5	13	BOMBA (trabajando)	1599.54	1548.12	51.42	-20.1
129	RS3	13	BOMBA (trabajando)	1598.5	1573.52	24.98	-25.52
130	RS4	13	BOMBA (trabajando)	1597.98	1543.42	54.56	-20.88
131	RS4-1	0	NUDO SIMPLE	1597.14	1546.36	50.78	0
132	RS4-2	0	NUDO SIMPLE	1596.72	1554.57	42.15	0
133	RS4-3	0	NUDO SIMPLE	1596.01	1553.26	42.75	0
134	SN9	13	BOMBA (trabajando)	1611	1500.13	110.87	-51.16
135	SN9-1	0	NUDO SIMPLE	1609.25	1510.08	99.17	0
136	SN8	13	BOMBA (trabajando)	1609.53	1509.91	99.62	-34.4
137	IMPULSO	13	BOMBA (trabajando)	1590.22	1560	30.22	-29.55
138	AR4	13	BOMBA (trabajando)	1583.55	1540	43.55	-35.99

Derivado del análisis se observa que la incorporación de los pozos en el cadenamamiento 2+000 de los pozos JCAS, sobreeleva la línea de cargas piezométricas a 37.63 metros, rebasando el nivel del Tanque Unidireccional con altura de 30 metros aproximadamente. Esto se debe a la proximidad de los pozos por incorporar con respecto al Tanque y al Rebombeo.

Por tanto durante el análisis transitorio se espera que este nivel proyectado en el Tanque Unidireccional, sea de un orden de magnitud mayor con respecto al enfoque permanente.

8.39 Análisis transitorio, escenario SAZ-R6

Considerando los datos descritos en el escenario previo (SAZ-R5), relacionados con las válvulas de admisión y expulsión, así como de los momentos volantes de inercia y el cálculo de la celeridad de la onda, se procede a realizar el cálculo considerando flujo transitorio. Es importante mencionar que este tipo de análisis considera como condición inicial, el cálculo previo empleando flujo permanente.

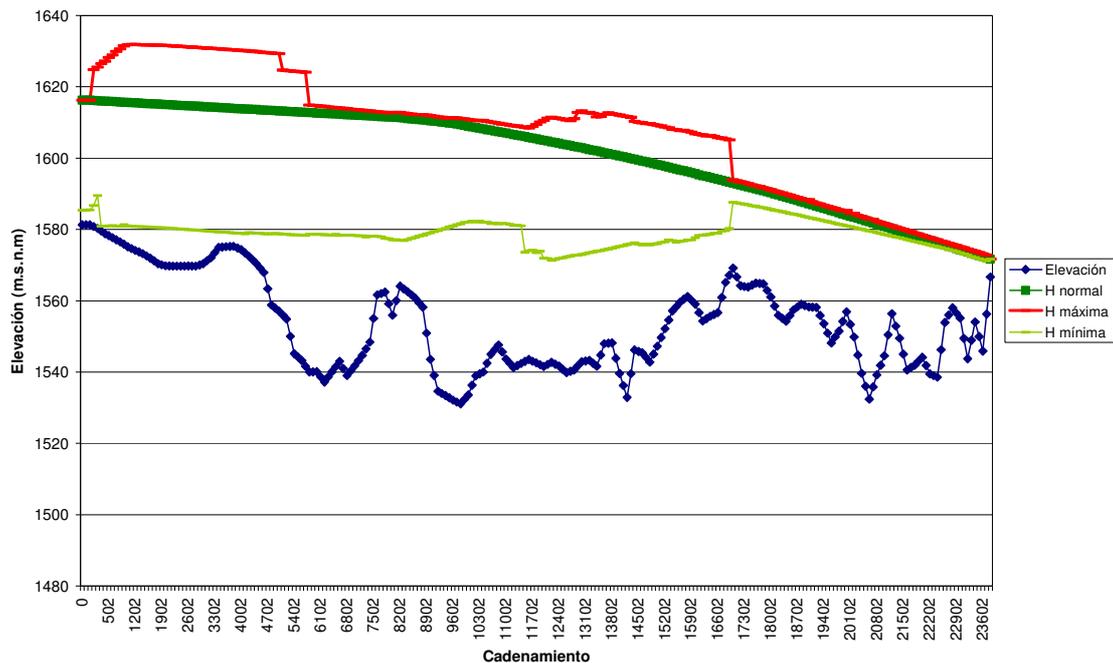


Ilustración 40 Envolventes de presión máxima, mínima y normal (permanente) producto del análisis transitorio en el tramo Rebombero – Tanques Loma Larga de la conducción El Sauz.

A partir de lo anterior y ejecutado el análisis se concluye lo siguiente:

- En suma se incorporarán un total de 19 pozos, los Riberas del Sacramento # 7 al # 12 (12 pozos) y los JCAS #6 al #11 (7 pozos). El caudal total por incorporar asciende a 604 litros por segundo, todo ello con base en los datos de extracción proyectados por el personal de la JMAS y JCAS.
- La conducción presenta suficiente capacidad hidráulica para incorporar los pozos. Se realizaron diferentes escenarios que incluyen hasta un caudal total transportado en la conducción de 1479.06 L/s, esto conlleva a una velocidad promedio de 2.25 m/s aproximadamente. Lo anterior se ubica dentro de los rangos permisibles, establecidos en las recomendaciones emitidas por la Comisión Nacional del Agua; sin embargo la limitante radica en los niveles que podrían presentarse en la Torre de oscilación y Tanque unidireccional ubicados en el tramo de interés al realizar la incorporación.
- Producto del análisis transitorio se establece que debido a la topografía del tramo, en caso de algún paro repentino en todos los equipos ubicados en el

Rebombeo, la línea de cargas piezométricas no presenta sobrepresiones máximas mayores a la clase (cédula) de los tubos de concreto presforzado y asbesto cemento instalado en el tramo analizado. La sobrepresión máxima emitida por el fabricante asciende a 16.50 kg/cm^2 , este valor resulta de un orden de magnitud mayor al compararlo con la sobrepresión máxima de obtenida 77.66 metros de columna de agua en el cadenamiento 9+800 del tramo analizado.

- En cuanto al diseño de las tuberías por incorporar, el diámetro de los tramos se compone de la forma siguiente:
 - La tubería que conduce 160 L/s resulta de sección variable y se compone desde 6 a 12 pulgadas. Este diámetro resultante obedece, a la distribución espacial de los pozos por incorporar. Los pozos involucrados en este tramo son los Riberas del Sacramento #13, #16, #17 y #18. Es importante mencionar que esta tubería conectaría con el acueducto sobre el cadenamiento 8+200, recordando que el inicio se ubica (0+000) en el lugar conocido como Rebombeo y el final (23+800) en los tanques Loma Larga.
 - El diámetro de la tubería en el pozo Riberas del Sacramento #15 será de 6 pulgadas.
 - De igual forma que el punto anterior, el diámetro de la tubería que conectaría al pozo Riberas del Sacramento #14 con el acueducto El Sauz, será de 6 pulgadas.
 - La tubería que conduce 124 L/s y que incluye los pozos Riberas del Sacramento #9, #10, #11 y #12, será diseñada con diámetro variable, el cual fluctúa entre 6, 8 y 10 pulgadas. La conexión de esta tubería con el acueducto será sobre el cadenamiento 9+600.
- Es recomendable que una vez incorporados los pozos, el acueducto en este tramo, mantenga una operación permanente con únicamente tres equipos en operación en el Rebombeo.
- El punto anterior se debe a dos situaciones:
 - Resultado de las simulaciones se tiene que en caso de operar de forma permanente con cuatro ó cinco equipos en el Rebombeo, la presión aumentaría a niveles mayores en la torre de oscilación; en el tanque ocurriría de la misma forma, sin embargo existe una válvula de altitud instalada que impide la elevación del nivel.
 - Posibles problemas de sumergencia que podrían presentar las bombas y con ello presentarse el fenómeno de cavitación.
- En cuanto a la modificaciones que deberán ser atendidas en los dispositivos protección del tramo analizado (Tanque Unidireccional y Torre de Oscilación), producto del análisis transitorio realizado, se tiene lo siguiente:
 - En el escenario de incorporar los 19 pozos (604 L/s), el nivel proyectado en la Torre de oscilación (17+000) será de 24.71 metros con respecto a la base del dispositivo de protección; esto resulta 6.41 metros mayor, con respecto a los 18.30 metros aproximadamente de altura total de la Torre de Oscilación.
 - En el escenario de incorporar los 19 pozos (604 L/s), el nivel proyectado en la Tanque Unidireccional será de 45.19 metros con respecto a la base del dispositivo de protección; esto resulta 15.19 metros mayor, con respecto a los 30 metros aproximadamente de altura total del Tanque Unidireccional.

- En ambos escenarios ($Q = 604 \text{ L/s}$), se concluye que la incorporación rebasará los niveles máximos permitidos en los dos dispositivos de protección: Tanque unidireccional y Torre de oscilación. Por lo que será necesario efectuar medidas que garanticen la seguridad del acueducto.
- Si se compara con el escenario anterior (SAZ-R5) se observa que el nivel del Tanque Unidireccional se eleva 2 metros aproximadamente entre ambos, siendo mayor en el escenario SAZ-R6. Lo anterior se debe a que en este último escenario, se propone la incorporación a sólo dos kilómetros del sitio conocido como Rebombeco y del Tanque unidireccional, lo que sobreeleva la línea piezométrica durante el transitorio.
- Por tanto con el punto anterior se concluye, que los dispositivos de protección que limitan la incorporación de nuevos pozos y con ello posibles derrames, serán la Torre de oscilación y el Tanque Unidireccional.
- En el futuro la JMAS y JCAS, podría considerar la posibilidad de la convertir la Torre de oscilación (17+000) en un Tanque unidireccional, a través de la instalación de una tubería adicional de llenado lento. Esto evitaría los posibles derrames de agua que pudieran presentarse de forma esporádica por la operación del acueducto.
- Asimismo debido al nivel que alcanza el agua en el Tanque Unidireccional producto del transitorio, se establece la posibilidad de controlar este nivel a través de una válvula de altitud.
- Esta medida (válvula de altitud) elevará el orden de magnitud de las sobrepresiones durante el transitorio, dado que presurizará de forma adicional la tubería.

8.40 ANEXO 1

Especificaciones técnicas de la tubería analizada

A continuación las especificaciones técnicas provenientes de fabricante (Compañía Mexicana de Concreto Pretensado, COMECOP, S.A. de C.V.), en relación a la tubería de concreto analizada en el tramo de la conducción El Sauz.

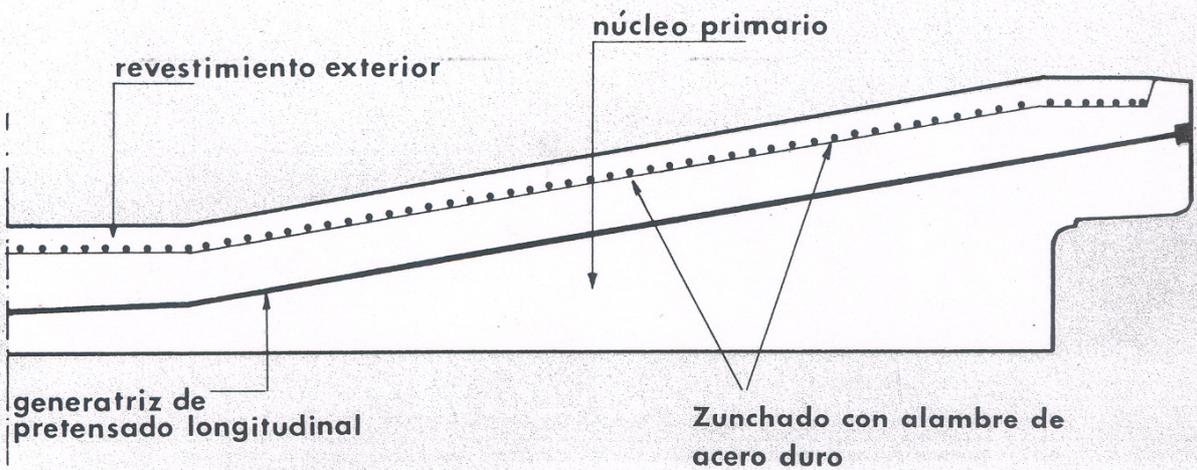


PRESENTACION

Los productos fabricados por COMECOP, tienen el beneficio de la experiencia adquirida después de numerosos años por las sociedades SOCEA y BONNA cuyas primeras fabricaciones de tubo pretensado se remontan a 1937.

Su desarrollo dentro del mundo entero con la creación de fábricas (Argel, Marruecos, Túnez, Senegal, Países Bajos, Irán, Africa del Sur, Turquía, etc.) se ha logrado gracias a las condiciones económicas y técnicas de sus productos.

- Su simple proceso de fabricación permite un control constante de la calidad.
- Hermeticidad absoluta de los tubos y de sus uniones.
- Elevada resistencia a todas las presiones y cargas requeridas por las condiciones de servicio debido al empleo en su fabricación de materiales seleccionados.
- Permanente y elevado coeficiente hidráulico debido a la tersa pared interior obtenida por centrifugación, superior a C-145 (Hazen & Williams)
- Facilidad de instalación asegurada por la junta autocentrable.
- Flexibilidad de la tubería permitida por los anillos de junta hechos a base de hule y por el perfil de los extremos. (Movimientos por deflexión y/o longitudinales)
- No deterioro, ya que el concreto resiste particularmente bien la corrosión y protege los aceros contra agentes agresivos, no dejando partes metálicas expuestas.



SERIE NORMAL

COTAS EN mm.

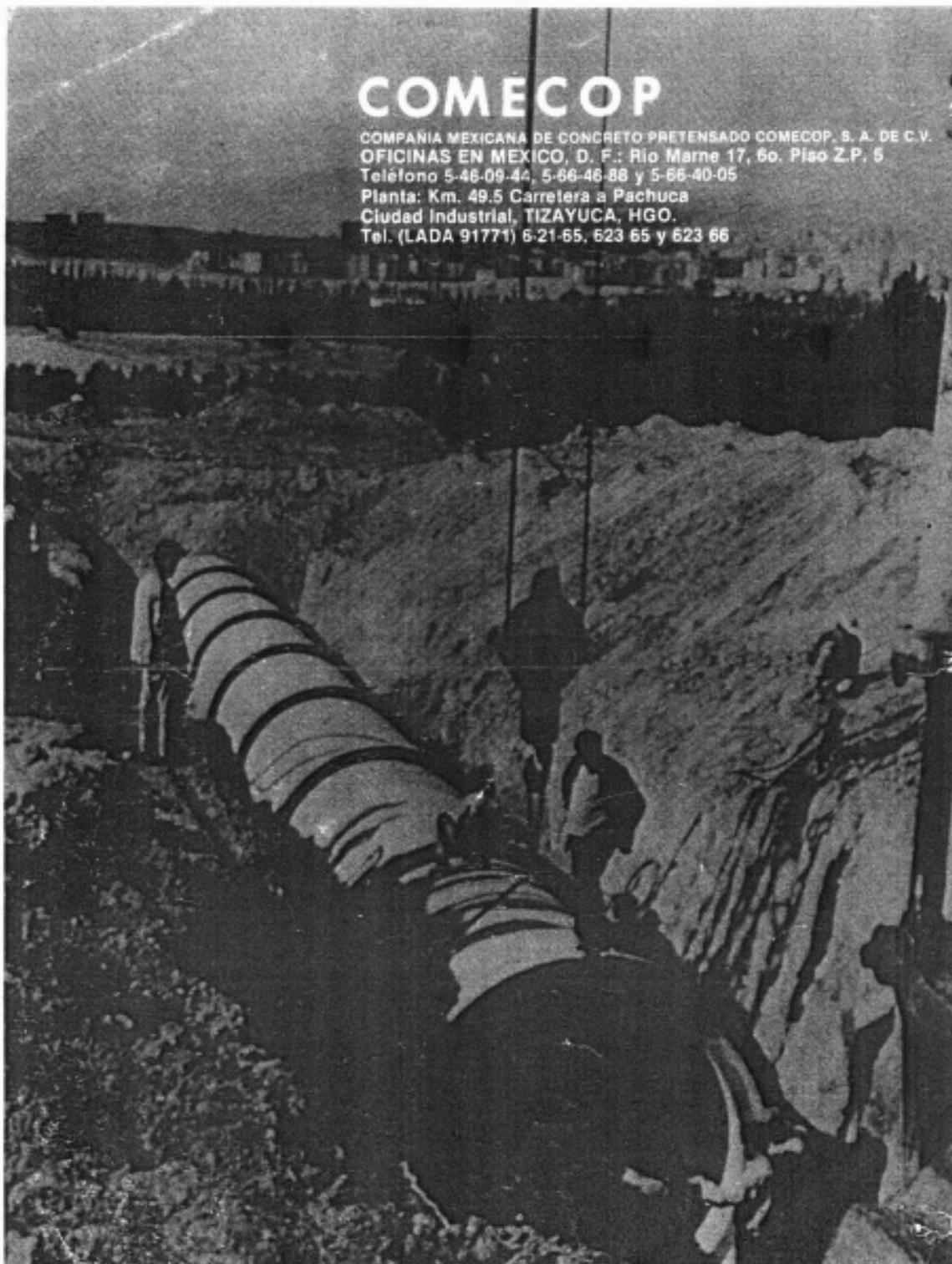
CENTRIFUGADO	DIAMETRO NOMINAL	ESPESOR DE PARED	DIAMETRO EXTERIOR		LARGO		PESO		PRESION MAXIMA SERVICIO m.c.a.	DIAMETRO JUNTA DE HULE
			CUERPO	CAMPANA	UTIL	TOTAL	Kg/m.l.	Kg/TUBO		
CENTRIFUGADO	920	83	1 086	1 319	7 000	7 131	800	5 600	165	22
	1 020	89	1 196	1 429	7 000	7 131	866	6 000	165	22
	1 220	99	1 416	1 684	7 000	7 148	1 171	8 200	165	24
	1 400	108	1 616	1 878	7 000	7 148	1 500	10 500	165	24
	1 520	114	1 746	2 035	7 000	7 161	1 714	12 000	165	26
	1 820	129	2 076	2 387	7 000	7 174	2 286	16 000	165	28
	2 120	144	2 406	2 744	7 000	7 193	3 000	20 000	165	30
COLADO	2 100	153	2 406	2 744	5 000	5 193	3 000	15 000	165	30
	2 300	163	2 640	3 024	5 000	5 210	3 600	18 000	165	38
	2 500	173	2 870	3 200	5 000	5 210	4 400	22 000	165	38

SERIE REFORZADA

CENTRIFUGADO	DIAMETRO NOMINAL	ESPESOR DE PARED	DIAMETRO EXTERIOR		LARGO		PESO		PRESION MAXIMA SERVICIO m.c.a.	DIAMETRO JUNTA DE HULE
			CUERPO	CAMPANA	UTIL	TOTAL	Kg/m.l.	Kg/TUBO		
CENTRIFUGADO	900	93	1 086	1 319	7 000	7 131	886	6 200	210	22
	1 000	99	1 196	1 429	7 000	7 131	970	6 800	210	22
	1 200	109	1 416	1 684	7 000	7 148	1 257	8 800	205	24
	1 380	118	1 616	1 878	7 000	7 148	1 571	11 000	200	24
	1 500	124	1 746	2 035	7 000	7 161	1 785	12 500	200	26
	1 800	139	2 076	2 387	7 000	7 174	2 414	16 900	195	28
	2 100	154	2 406	2 744	7 000	7 193	3 143	21 000	190	30

COMECOP

COMPANIA MEXICANA DE CONCRETO PRETENSADO COMECOP. S. A. DE C.V.
OFICINAS EN MEXICO, D. F.: Rio Marne 17, 6o. Piso Z.P. 5
Teléfono 5-46-09-44, 5-66-46-88 y 5-66-40-05
Planta: Km. 49.5 Carretera a Pachuca
Ciudad Industrial, TIZAYUCA, HGO.
Tel. (LADA 91771) 6-21-65, 623 65 y 623 66



**8.41 ANEXO 2. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA
ESCENARIO SAZ03-R3**

Los resultados en nodos una vez realizado el cálculo se presenta a continuación:

RESULTADOS PARA LOS NODOS							
No.	N O D O	TIPO	D E S C R I P C I O N	C.PIEZ.	COTA T.	PRESION	CONSUMO
				(m)	(m)	(m)	(L/s)
1	Rebombeo	14	BOMBA (que para)	1616.2	1581.28	34.92	-224.87
2	B4	14	BOMBA (que para)	1616.2	1581.28	34.92	-199.52
3	B5	14	BOMBA (que para)	1616.2	1581.28	34.92	-179.04
4	0+200	0	NUDO SIMPLE	1616.08	1580.32	35.76	0
5	0+400	0	NUDO SIMPLE	1615.96	1578.84	37.12	0
6	0+600	0	NUDO SIMPLE	1615.84	1577.68	38.16	0
7	0+800	0	NUDO SIMPLE	1615.72	1576.54	39.18	0
8	1+000	0	NUDO SIMPLE	1615.6	1575.12	40.48	0
9	1+200	0	NUDO SIMPLE	1615.48	1574.13	41.35	0
10	1+400	0	NUDO SIMPLE	1615.36	1573.24	42.12	0
11	1+600	0	NUDO SIMPLE	1615.24	1571.94	43.31	0
12	1+800	0	NUDO SIMPLE	1615.13	1570.39	44.74	0
13	2+000	0	NUDO SIMPLE	1615.01	1569.81	45.2	0
14	2+200	0	NUDO SIMPLE	1614.89	1569.7	45.19	0
15	2+400	0	NUDO SIMPLE	1614.77	1569.7	45.07	0
16	2+600	0	NUDO SIMPLE	1614.65	1569.77	44.88	0
17	2+800	0	NUDO SIMPLE	1614.53	1569.7	44.83	0
18	3+000	0	NUDO SIMPLE	1614.41	1570.38	44.03	0
19	3+200	0	NUDO SIMPLE	1614.29	1572.05	42.24	0
20	3+400	0	NUDO SIMPLE	1614.17	1574.96	39.21	0
21	3+600	0	NUDO SIMPLE	1614.06	1575.15	38.91	0
22	3+800	0	NUDO SIMPLE	1613.94	1575.27	38.67	0
23	4+000	0	NUDO SIMPLE	1613.82	1574.33	39.49	0
24	4+200	0	NUDO SIMPLE	1613.7	1572.48	41.22	0
25	4+400	0	NUDO SIMPLE	1613.58	1570.46	43.12	0
26	4+600	0	NUDO SIMPLE	1613.46	1567.96	45.5	0

RESULTADOS PARA LOS NODOS							
No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCION	C.PIEZ.	COTA T.	PRESION	CONSUMO
				(m)	(m)	(m)	(L/s)
27	4+800	0	NUDO SIMPLE	1613.34	1558.8	54.54	0
28	5+000	0	NUDO SIMPLE	1613.22	1557.06	56.16	0
29	5+200	0	NUDO SIMPLE	1613.1	1554.9	58.2	0
30	5+400	0	NUDO SIMPLE	1612.99	1545.16	67.83	0
31	5+600	0	NUDO SIMPLE	1612.87	1543.25	69.62	0
32	5+800	0	NUDO SIMPLE	1612.75	1540.06	72.69	0
33	6+000	0	NUDO SIMPLE	1612.63	1540.12	72.51	0
34	6+200	0	NUDO SIMPLE	1612.51	1537.18	75.33	0
35	6+400	0	NUDO SIMPLE	1612.39	1540.1	72.29	0
36	6+600	0	NUDO SIMPLE	1612.27	1542.98	69.29	0
37	6+800	0	NUDO SIMPLE	1612.15	1539	73.15	0
38	7+000	0	NUDO SIMPLE	1612.03	1541.77	70.26	0
39	7+200	0	NUDO SIMPLE	1611.92	1544.7	67.22	0
40	7+400	0	NUDO SIMPLE	1611.8	1548.38	63.42	0
41	7+600	0	NUDO SIMPLE	1611.68	1561.67	50.01	0
42	7+800	0	NUDO SIMPLE	1611.56	1562.41	49.15	0
43	8+000	0	NUDO SIMPLE	1611.44	1555.92	55.52	0
44	8+200	34	CONSUMO (fijo)	1611.32	1564.13	47.19	-221
45	8+400	0	NUDO SIMPLE	1611.11	1562.54	48.57	0
46	8+600	0	NUDO SIMPLE	1610.89	1560.72	50.17	0
47	8+800	34	CONSUMO (fijo)	1610.68	1558.21	52.47	-60
48	9+000	0	NUDO SIMPLE	1610.44	1543.57	66.87	0
49	9+200	0	NUDO SIMPLE	1610.19	1534.63	75.56	0
50	9+400	0	NUDO SIMPLE	1609.95	1533.41	76.54	0
51	9+600	34	CONSUMO (fijo)	1609.71	1532.12	77.59	-244
52	9+800	0	NUDO SIMPLE	1609.32	1531.1	78.22	0
53	10+000	0	NUDO SIMPLE	1608.93	1533.58	75.35	0
54	10+200	0	NUDO SIMPLE	1608.55	1538.98	69.57	0

RESULTADOS PARA LOS NODOS							
No.	N O D O	TIPO	D E S C R I P C I O N	C.PIEZ.	COTA T.	PRESION	CONSUMO
				(m)	(m)	(m)	(L/s)
55	10+400	0	NUDO SIMPLE	1608.16	1540.01	68.15	0
56	10+600	0	NUDO SIMPLE	1607.78	1544.98	62.8	0
57	10+800	0	NUDO SIMPLE	1607.39	1547.61	59.78	0
58	11+000	34	CONSUMO (fijo)	1607.01	1543.7	63.31	-25
59	11+200	0	NUDO SIMPLE	1606.6	1541.26	65.34	0
60	11+400	0	NUDO SIMPLE	1606.2	1542.45	63.75	0
61	11+600	0	NUDO SIMPLE	1605.8	1543.55	62.25	0
62	11+800	34	CONSUMO (fijo)	1605.4	1542.58	62.82	-25
63	12+000	0	NUDO SIMPLE	1604.98	1541.57	63.41	0
64	12+200	0	NUDO SIMPLE	1604.56	1542.73	61.83	0
65	12+400	0	NUDO SIMPLE	1604.14	1541.67	62.47	0
66	12+600	0	NUDO SIMPLE	1603.72	1539.85	63.87	0
67	RS1	13	BOMBA (trabajando)	1603.3	1540.57	62.73	-30.33
68	13+000	0	NUDO SIMPLE	1602.86	1542.91	59.95	0
69	13+200	0	NUDO SIMPLE	1602.42	1543.31	59.11	0
70	RS2	13	BOMBA (trabajando)	1601.98	1541.62	60.36	-34.53
71	13+600	0	NUDO SIMPLE	1601.52	1548	53.52	0
72	13+800	0	NUDO SIMPLE	1601.06	1548.21	52.85	0
73	14+000	0	NUDO SIMPLE	1600.59	1539.6	60.99	0
74	14+200	0	NUDO SIMPLE	1600.13	1532.89	67.24	0
75	14+400	0	NUDO SIMPLE	1599.66	1546.18	53.48	0
76	14+600	0	NUDO SIMPLE	1599.17	1545.39	53.78	0
77	14+800	0	NUDO SIMPLE	1598.67	1542.82	55.85	0
78	15+000	0	NUDO SIMPLE	1598.17	1547.25	50.92	0
79	15+200	0	NUDO SIMPLE	1597.67	1552.16	45.51	0
80	15+400	0	NUDO SIMPLE	1597.17	1557.12	40.05	0
81	15+600	0	NUDO SIMPLE	1596.65	1559.62	37.03	0
82	15+800	0	NUDO SIMPLE	1596.13	1561.25	34.88	0

RESULTADOS PARA LOS NODOS							
No.	N O D O	TIPO	D E S C R I P C I O N	C.PIEZ.	COTA T.	PRESION	CONSUMO
				(m)	(m)	(m)	(L/s)
83	16+000	0	NUDO SIMPLE	1595.62	1559.05	36.57	0
84	16+200	0	NUDO SIMPLE	1595.08	1554.3	40.78	0
85	16+400	0	NUDO SIMPLE	1594.55	1555.67	38.88	0
86	16+600	0	NUDO SIMPLE	1594.02	1556.67	37.35	0
87	16+800	0	NUDO SIMPLE	1593.48	1565.18	28.3	0
88	17+000	2	TORRE DE OSCILACION	1592.95	1569.15	23.8	0
89	17+200	0	NUDO SIMPLE	1592.42	1564.21	28.21	0
90	17+400	0	NUDO SIMPLE	1591.88	1563.84	28.04	0
91	17+600	0	NUDO SIMPLE	1591.35	1564.93	26.42	0
92	17+800	0	NUDO SIMPLE	1590.82	1564.72	26.1	0
93	18+000	0	NUDO SIMPLE	1590.22	1561.07	29.15	0
94	18+200	0	NUDO SIMPLE	1589.62	1555.93	33.69	0
95	18+400	0	NUDO SIMPLE	1589.02	1554.28	34.74	0
96	18+600	0	NUDO SIMPLE	1588.39	1557.45	30.94	0
97	18+800	0	NUDO SIMPLE	1587.77	1559.01	28.76	0
98	19+000	0	NUDO SIMPLE	1587.14	1558.23	28.91	0
99	19+200	0	NUDO SIMPLE	1586.52	1558.16	28.36	0
100	19+400	0	NUDO SIMPLE	1585.9	1553.59	32.31	0
101	19+600	0	NUDO SIMPLE	1585.27	1548.2	37.07	0
102	19+800	0	NUDO SIMPLE	1584.65	1551.49	33.16	0
103	20+000	0	NUDO SIMPLE	1584.03	1556.89	27.14	0
104	20+200	0	NUDO SIMPLE	1583.4	1549.88	33.52	0
105	20+400	0	NUDO SIMPLE	1582.78	1539.67	43.11	0
106	20+600	0	NUDO SIMPLE	1582.12	1532.41	49.71	0
107	20+800	0	NUDO SIMPLE	1581.47	1539.26	42.21	0
108	21+000	0	NUDO SIMPLE	1580.82	1544.58	36.24	0
109	21+200	0	NUDO SIMPLE	1580.16	1556.34	23.82	0
110	21+400	0	NUDO SIMPLE	1579.51	1549.48	30.03	0

RESULTADOS PARA LOS NODOS							
No.	N O D O	TIPO	D E S C R I P C I O N	C.PIEZ.	COTA T.	PRESION	CONSUMO
				(m)	(m)	(m)	(L/s)
111	21+600	0	NUDO SIMPLE	1578.86	1540.62	38.24	0
112	21+800	0	NUDO SIMPLE	1578.2	1541.89	36.31	0
113	22+000	0	NUDO SIMPLE	1577.55	1544.18	33.37	0
114	22+200	0	NUDO SIMPLE	1576.9	1539.48	37.42	0
115	22+400	0	NUDO SIMPLE	1576.24	1538.56	37.68	0
116	22+600	0	NUDO SIMPLE	1575.59	1553.92	21.67	0
117	22+800	0	NUDO SIMPLE	1574.94	1558.04	16.9	0
118	23+000	0	NUDO SIMPLE	1574.28	1555.14	19.14	0
119	23+200	0	NUDO SIMPLE	1573.63	1543.76	29.87	0
120	23+400	0	NUDO SIMPLE	1572.98	1554.05	18.93	0
121	23+600	0	NUDO SIMPLE	1572.32	1545.88	26.44	0
122	23+800	7	TANQUE (nivel constan	1571.67	1566.67	5	1489.1
123	RS6	13	BOMBA (trabajando)	1600.71	1532.08	68.63	-29.39
124	RS6-1	0	NUDO SIMPLE	1600.63	1533.41	67.22	0
125	RS6-2	0	NUDO SIMPLE	1600.36	1534.86	65.5	0
126	RS6-3	0	NUDO SIMPLE	1599.92	1544.68	55.24	0
127	RS6-4	0	NUDO SIMPLE	1599.76	1544.94	54.82	0
128	RS5	13	BOMBA (trabajando)	1599.91	1548.12	51.79	-19.58
129	RS3	13	BOMBA (trabajando)	1598.83	1573.52	25.31	-25.37
130	RS4	13	BOMBA (trabajando)	1598.27	1543.42	54.85	-20.73
131	RS4-1	0	NUDO SIMPLE	1597.43	1546.36	51.07	0
132	RS4-2	0	NUDO SIMPLE	1597.02	1554.57	42.45	0
133	RS4-3	0	NUDO SIMPLE	1596.32	1553.26	43.06	0
134	SN9	13	BOMBA (trabajando)	1611.16	1500.13	111.03	-51.05
135	SN9-1	0	NUDO SIMPLE	1609.43	1510.08	99.35	0
136	SN8	13	BOMBA (trabajando)	1609.7	1509.91	99.79	-34.32
137	IMPULSO	13	BOMBA (trabajando)	1590.44	1560	30.44	-29.46
138	AR4	13	BOMBA (trabajando)	1583.69	1540	43.69	-35.89

RESULTADOS PARA LOS TRAMOS

No.	TRAMO	TIPO	NODOS		LONGITUD	Rug. (mm)	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
			Inicial	Final						
1	1A	0	Rebombero	B4	1	0.03	914.4	224.87	0.34	0
2	1B	0	B4	B5	1	0.03	914.4	424.39	0.65	0
3	1	0	B5	0+200	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
4	2	0	0+200	0+400	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
5	3	0	0+400	0+600	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
6	4	0	0+600	0+800	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
7	5	0	0+800	1+000	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
8	6	0	1+000	1+200	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
9	7	0	1+200	1+400	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
10	8	0	1+400	1+600	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
11	9	0	1+600	1+800	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
12	10	0	1+800	2+000	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
13	11	0	2+000	2+200	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
14	12	0	2+200	2+400	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
15	13	0	2+400	2+600	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
16	14	0	2+600	2+800	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
17	15	0	2+800	3+000	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
18	16	0	3+000	3+200	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
19	17	0	3+200	3+400	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
20	18	0	3+400	3+600	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
21	19	0	3+600	3+800	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
22	20	0	3+800	4+000	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
23	21	0	4+000	4+200	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
24	22	0	4+200	4+400	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
25	23	0	4+400	4+600	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
26	24	0	4+600	4+800	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12

RESULTADOS PARA LOS TRAMOS

No.	TRAMO	TIPO	NODOS		LONGITUD	Rug. (mm)	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
			Inicial	final						
28	26	0	5+000	5+200	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
29	27	0	5+200	5+400	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
30	28	0	5+400	5+600	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
31	29	0	5+600	5+800	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
32	30	0	5+800	6+000	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
33	31	0	6+000	6+200	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
34	32	0	6+200	6+400	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
35	33	0	6+400	6+600	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
36	34	0	6+600	6+800	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
37	35	0	6+800	7+000	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
38	36	0	7+000	7+200	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
39	37	0	7+200	7+400	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
40	38	0	7+400	7+600	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
41	39	0	7+600	7+800	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
42	40	0	7+800	8+000	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
43	41	0	8+000	8+200	200	0.03	914.4	603.43	0.92	0.12
44	42	0	8+200	8+400	200	0.03	914.4	824.43	1.26	0.21
45	43	0	8+400	8+600	200	0.03	914.4	824.43	1.26	0.21
46	44	0	8+600	8+800	200	0.03	914.4	824.43	1.26	0.21
47	45	0	8+800	9+000	200	0.03	914.4	884.43	1.35	0.24
48	46	0	9+000	9+200	200	0.03	914.4	884.43	1.35	0.24
49	47	0	9+200	9+400	200	0.03	914.4	884.43	1.35	0.24
50	48	0	9+400	9+600	200	0.03	914.4	884.43	1.35	0.24
51	49	0	9+600	9+800	200	0.03	914.4	1128.43	1.72	0.39
52	50	0	9+800	10+000	200	0.03	914.4	1128.43	1.72	0.39
53	51	0	10+000	10+200	200	0.03	914.4	1128.43	1.72	0.39
54	52	0	10+200	10+400	200	0.03	914.4	1128.43	1.72	0.39

RESULTADOS PARA LOS TRAMOS

No.	TRAMO	TIPO	NODOS		LONGITUD	Rug. (mm)	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
			Inicial	Final						
55	53	0	10+400	10+600	200	0.03	914.4	1128.43	1.72	0.39
56	54	0	10+600	10+800	200	0.03	914.4	1128.43	1.72	0.39
57	55	0	10+800	11+000	200	0.03	914.4	1128.43	1.72	0.39
58	56	0	11+000	11+200	200	0.03	914.4	1153.43	1.76	0.4
59	57	0	11+200	11+400	200	0.03	914.4	1153.43	1.76	0.4
60	58	0	11+400	11+600	200	0.03	914.4	1153.43	1.76	0.4
61	59	0	11+600	11+800	200	0.03	914.4	1153.43	1.76	0.4
62	60	0	11+800	12+000	200	0.03	914.4	1178.43	1.79	0.42
63	61	0	12+000	12+200	200	0.03	914.4	1178.43	1.79	0.42
64	62	0	12+200	12+400	200	0.03	914.4	1178.43	1.79	0.42
65	63	0	12+400	12+600	200	0.03	914.4	1178.43	1.79	0.42
66	64	0	12+600	RS1	200	0.03	914.4	1178.43	1.79	0.42
67	65	0	RS1	13+000	200	0.03	914.4	1208.76	1.84	0.44
68	66	0	13+000	13+200	200	0.03	914.4	1208.76	1.84	0.44
69	67	0	13+200	RS2	200	0.03	914.4	1208.76	1.84	0.44
70	68	0	RS2	13+600	200	0.03	914.4	1243.29	1.89	0.46
71	69	0	13+600	13+800	200	0.03	914.4	1243.29	1.89	0.46
72	70	0	13+800	14+000	200	0.03	914.4	1243.29	1.89	0.46
73	71	0	14+000	14+200	200	0.03	914.4	1243.29	1.89	0.46
74	72	0	14+200	14+400	200	0.03	914.4	1243.29	1.89	0.46
75	73	0	14+400	14+600	200	0.03	914.4	1292.26	1.97	0.5
76	74	0	14+600	14+800	200	0.03	914.4	1292.26	1.97	0.5
77	75	0	14+800	15+000	200	0.03	914.4	1292.26	1.97	0.5
78	76	0	15+000	15+200	200	0.03	914.4	1292.26	1.97	0.5
79	77	0	15+200	15+400	200	0.03	914.4	1292.26	1.97	0.5
80	78	0	15+400	15+600	200	0.03	914.4	1317.63	2.01	0.52
81	79	0	15+600	15+800	200	0.03	914.4	1317.63	2.01	0.52

RESULTADOS PARA LOS TRAMOS

No.	TRAMO	TIPO	NODOS		LONGITUD	Rug. (mm)	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
			Inicial	Final						
85	83	0	16+400	16+600	200	0.03	914.4	1338.37	2.04	0.53
86	84	0	16+600	16+800	200	0.03	914.4	1338.37	2.04	0.53
87	85	0	16+800	17+000	200	0.03	914.4	1338.37	2.04	0.53
88	86	0	17+000	17+200	200	0.03	914.4	1338.37	2.04	0.53
89	87	0	17+200	17+400	200	0.03	914.4	1338.37	2.04	0.53
90	88	0	17+400	17+600	200	0.03	914.4	1338.37	2.04	0.53
91	89	0	17+600	17+800	200	0.03	914.4	1338.37	2.04	0.53
92	90	0	17+800	18+000	200	0.03	914.4	1423.74	2.17	0.6
93	91	0	18+000	18+200	200	0.03	914.4	1423.74	2.17	0.6
94	92	0	18+200	18+400	200	0.03	914.4	1423.74	2.17	0.6
95	93	0	18+400	18+600	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
96	94	0	18+600	18+800	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
97	95	0	18+800	19+000	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
98	96	0	19+000	19+200	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
99	97	0	19+200	19+400	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
100	98	0	19+400	19+600	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
101	99	0	19+600	19+800	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
102	100	0	19+800	20+000	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
103	101	0	20+000	20+200	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
104	102	0	20+200	20+400	200	0.03	914.4	1453.2	2.21	0.62
105	103	0	20+400	20+600	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
106	104	0	20+600	20+800	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
107	105	0	20+800	21+000	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
108	106	0	21+000	21+200	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
109	107	0	21+200	21+400	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
110	108	0	21+400	21+600	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65

RESULTADOS PARA LOS TRAMOS

No.	TRAMO	TIPO	NODOS		LONGITUD	Rug. (mm)	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
			Inicial	Final						
111	109	0	21+600	21+800	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
112	110	0	21+800	22+000	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
113	111	0	22+000	22+200	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
114	112	0	22+200	22+400	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
115	113	0	22+400	22+600	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
116	114	0	22+600	22+800	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
117	115	0	22+800	23+000	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
118	116	0	23+000	23+200	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
119	117	0	23+200	23+400	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
120	118	0	23+400	23+600	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
121	119	0	23+600	23+800	200	0.03	914.4	1489.1	2.27	0.65
122	120	0	RS6	RS6-1	68.5	0.03	254	29.39	0.58	0.08
123	121	0	RS6-1	RS6-2	230.1	0.03	254	29.39	0.58	0.27
124	122	0	RS6-2	RS6-3	380.1	0.03	254	29.39	0.58	0.45
125	123	0	RS6-3	RS6-4	135.8	0.03	254	29.39	0.58	0.16
126	124	0	RS6-4	14+400	81.7	0.03	254	29.39	0.58	0.1
127	125	0	RS5	14+400	146.3	0.03	203.2	19.58	0.6	0.24
128	126	0	RS3	15+400	622.8	0.03	203.2	25.37	0.78	1.66
129	127	0	RS4	RS4-1	454	0.03	203.2	20.73	0.64	0.83
130	128	0	RS4-1	RS4-2	225.5	0.03	203.2	20.73	0.64	0.41
131	129	0	RS4-2	RS4-3	378.5	0.03	203.2	20.73	0.64	0.69
132	130	0	RS4-3	16+000	386.4	0.03	203.2	20.73	0.64	0.71
133	131	0	SN9	SN9-1	534	0.03	254	51.05	1.01	1.73
134	132	0	SN9-1	17+800	2187.6	0.03	254	85.38	1.68	18.61
135	133	0	SN8	SN9-1	174.2	0.03	254	34.32	0.68	0.27
136	134	0	IMPULSO	18+400	406	0.03	203.2	29.46	0.91	1.42
137	135	0	AR4	20+400	180	0.03	203.2	35.89	1.11	0.91

RESULTADOS PARA LOS NODOS ESPECIALES

No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
1	Rebomdeo	14	BOMBA (que para)			
				Nivel ag. en la toma	1568.28	m
				Q de una bomba	224.87	L/s
				Q est. de bombeo	224.87	L/s
				Carga de la bomba	47.93	m
				Efic. de la bomba	83.04	%
				Altura de succión	1.26	m
				Potencia de la bomba	127.26	kW
				Potencia del motor	133.62	kW
No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
2	B4	14	BOMBA (que para)			
				Nivel ag. en la toma	1568.28	m
				Q de una bomba	199.52	L/s
				Q est. de bombeo	199.52	L/s
				Carga de la bomba	48.41	m
				Efic. de la bomba	83.36	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	113.6	kW
				Potencia del motor	119.28	kW

No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
3	B5	14	BOMBA (que para)			
				Nivel ag. en la toma	1568.28	m
				Q de una bomba	179.04	L/s
				Q est. de bombeo	179.04	L/s
				Carga de la bomba	48.09	m
				Efic. de la bomba	70.64	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	119.51	kW
				Potencia del motor	125.48	kW
No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
67	RS1	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1435.5	m
				Q de una bomba	30.33	L/s
				Q est. de bombeo	30.33	L/s
				Carga de la bomba	168.17	m
				Efic. de la bomba	78.61	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	63.61	kW
				Potencia del motor	69.1	kW

No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
70	RS2	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1437.5	m
				Q de una bomba	34.53	L/s
				Q est. de bombeo	34.53	L/s
				Carga de la bomba	164.99	m
				Efic. de la bomba	72.43	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	77.11	kW
				Potencia del motor	82.73	kW
No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
123	RS6	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1441.62	m
				Q de una bomba	29.39	L/s
				Q est. de bombeo	29.39	L/s
				Carga de la bomba	159.93	m
				Efic. de la bomba	84.99	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	54.22	kW
				Potencia del motor	59.42	kW

No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
128	RS5	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1440.2	m
				Q de una bomba	19.58	L/s
				Q est. de bombeo	19.58	L/s
				Carga de la bomba	159.94	m
				Efic. de la bomba	70.3	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	43.68	kW
				Potencia del motor	48.39	kW
No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
129	RS3	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1467.94	m
				Q de una bomba	25.37	L/s
				Q est. de bombeo	25.37	L/s
				Carga de la bomba	131.38	m
				Efic. de la bomba	77.97	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	41.91	kW
				Potencia del motor	46.53	kW

No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
130	RS4	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1426.68	m
				Q de una bomba	20.73	L/s
				Q est. de bombeo	20.73	L/s
				Carga de la bomba	171.95	m
				Efic. de la bomba	77.71	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	44.98	kW
				Potencia del motor	49.76	kW
No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
134	SN9	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1397.53	m
				Q de una bomba	51.05	L/s
				Q est. de bombeo	51.05	L/s
				Carga de la bomba	214.53	m
				Efic. de la bomba	74.78	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	143.58	kW
				Potencia del motor	150.76	kW

No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
136	SN8	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1409.61	m
				Q de una bomba	34.32	L/s
				Q est. de bombeo	34.32	L/s
				Carga de la bomba	200.57	m
				Efic. de la bomba	76.56	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	88.16	kW
				Potencia del motor	93.61	kW
No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
137	IMPULSO	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1421.5	m
				Q de una bomba	29.46	L/s
				Q est. de bombeo	29.46	L/s
				Carga de la bomba	169.44	m
				Efic. de la bomba	79.98	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	61.19	kW
				Potencia del motor	66.63	kW

No.	N O D O	TIPO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
138	AR4	13	BOMBA (trabajando)			
				Nivel ag. en la toma	1423.2	m
				Q de una bomba	35.89	L/s
				Q est. de bombeo	35.89	L/s
				Carga de la bomba	160.91	m
				Efic. de la bomba	78.8	%
				Altura de succión	0	m
				Potencia de la bomba	71.86	kW
				Potencia del motor	77.47	kW



8.42 ANEXO 3. CURVAS CARACTERÍSTICAS EMPLEADAS EN EL CÁLCULO HIDRÁULICO CONSIDERANDO FLUJO TRANSITORIO.

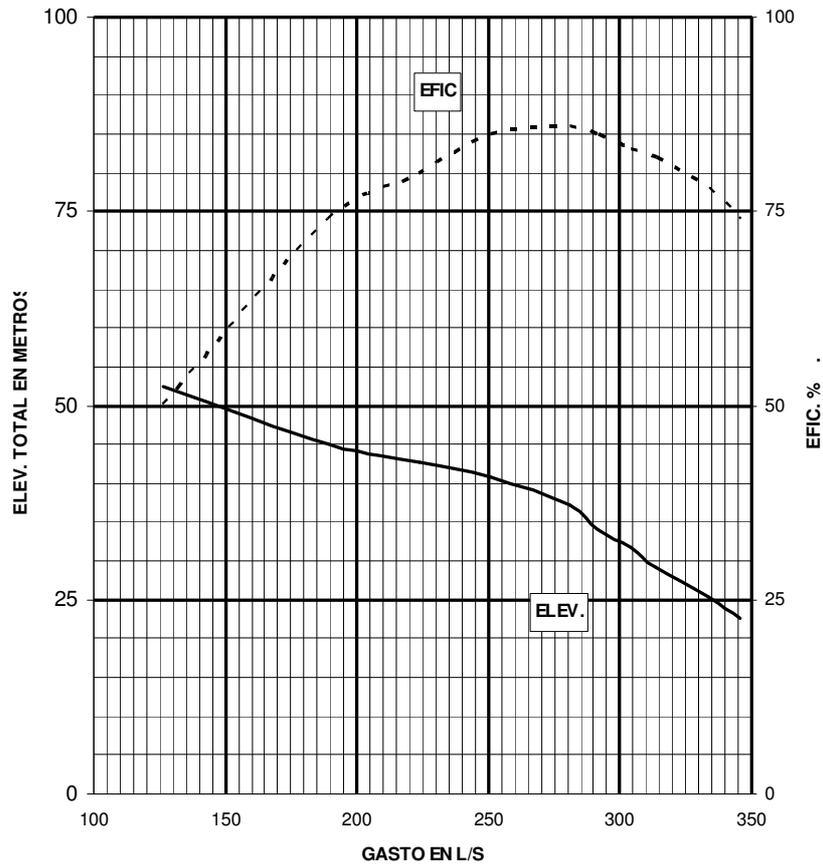


Ilustración Curva característica, equipos ubicados en el Rebompeo.

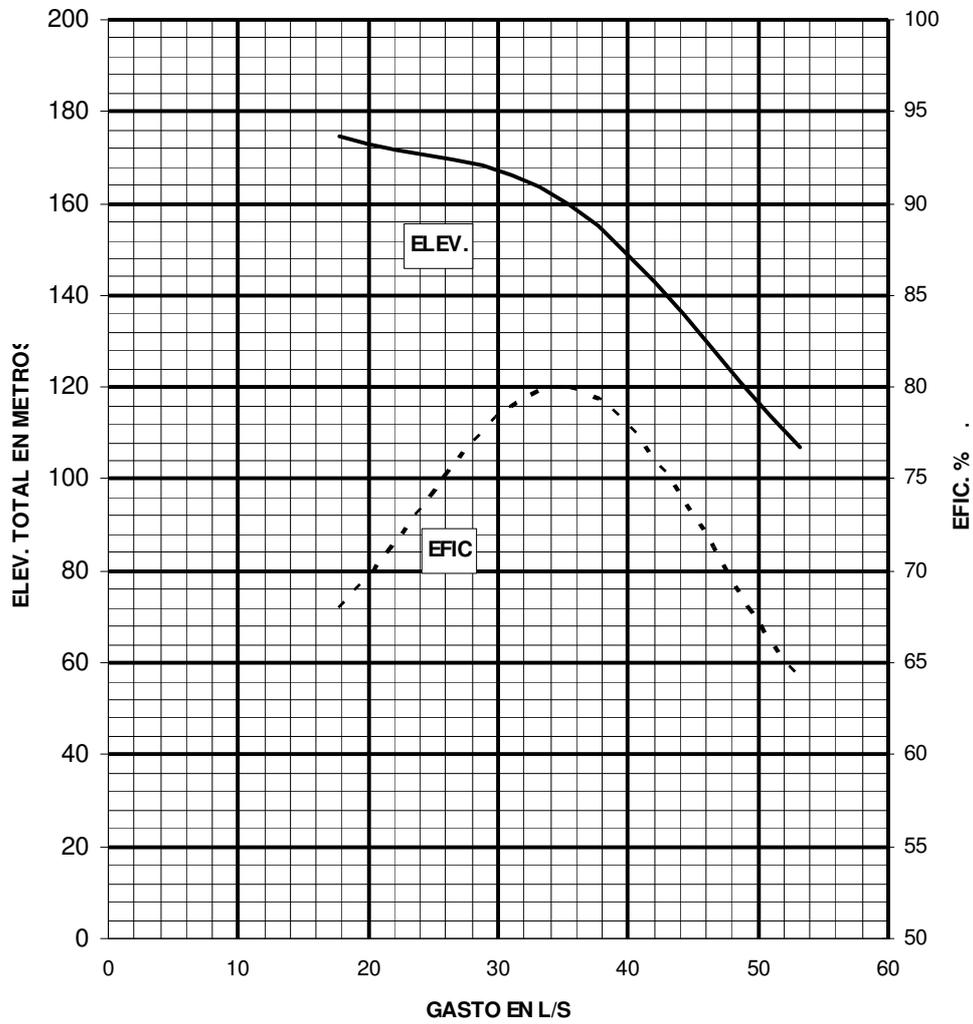


Ilustración. Curva característica, pozo Ribera del Sacramento #1

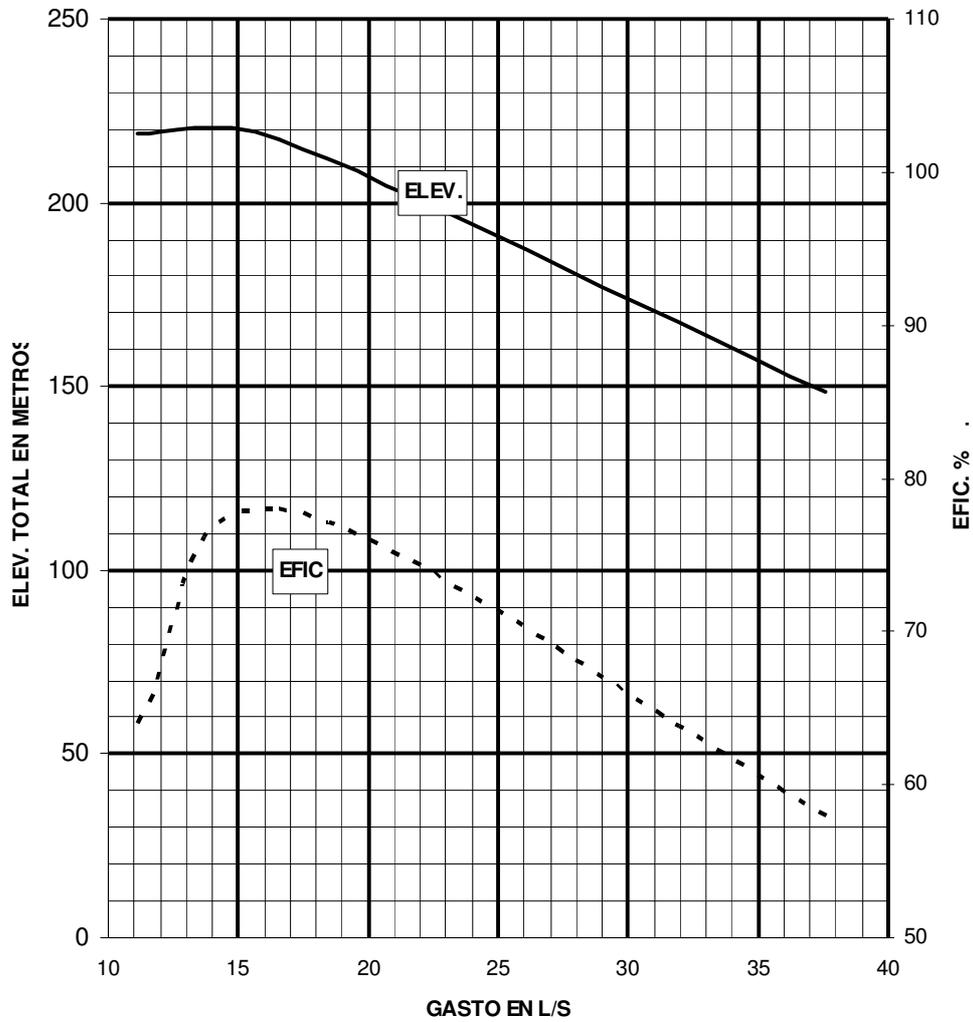


Ilustración. Curva característica, pozo Ribera del Sacramento #2

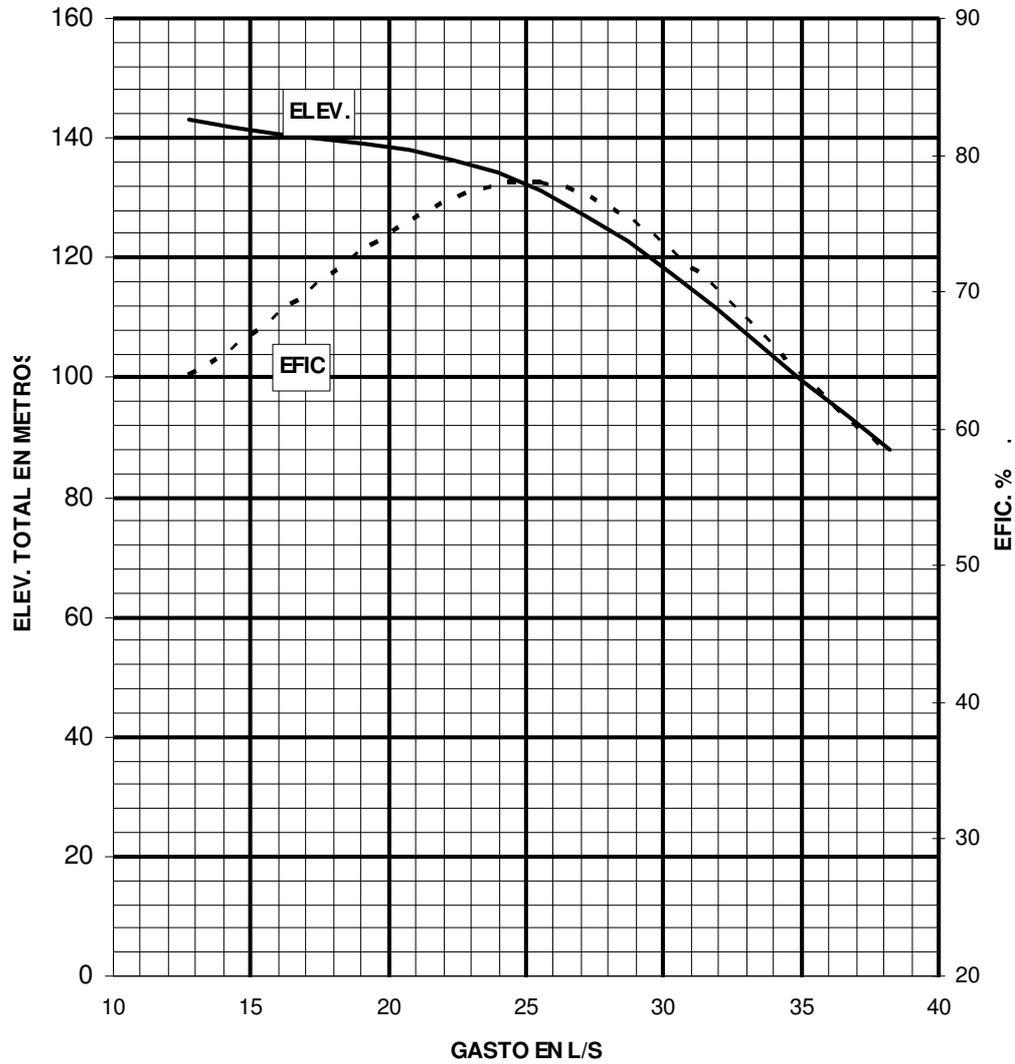


Ilustración. Curva característica, pozo Ribera del Sacramento #3

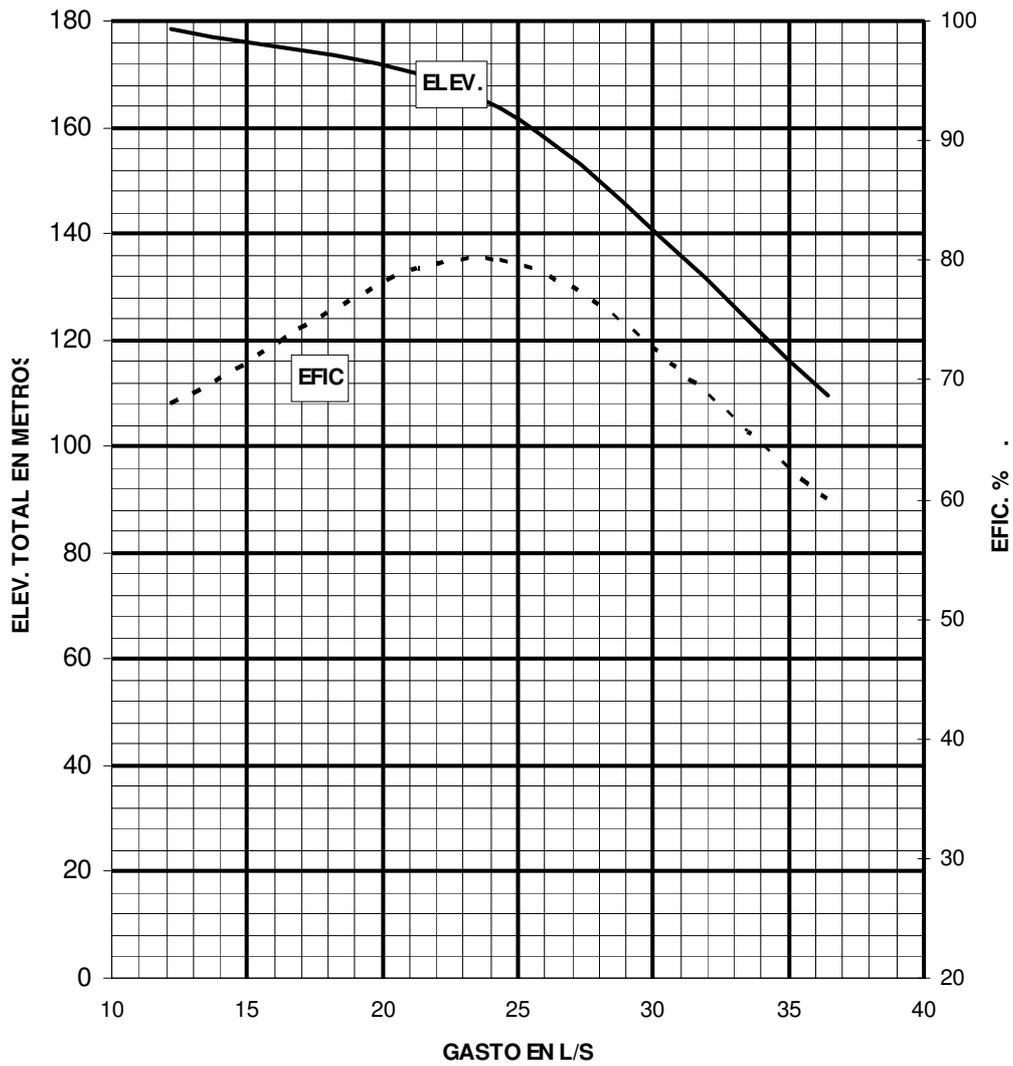


Ilustración. Curva característica, pozo Ribera del Sacramento #4

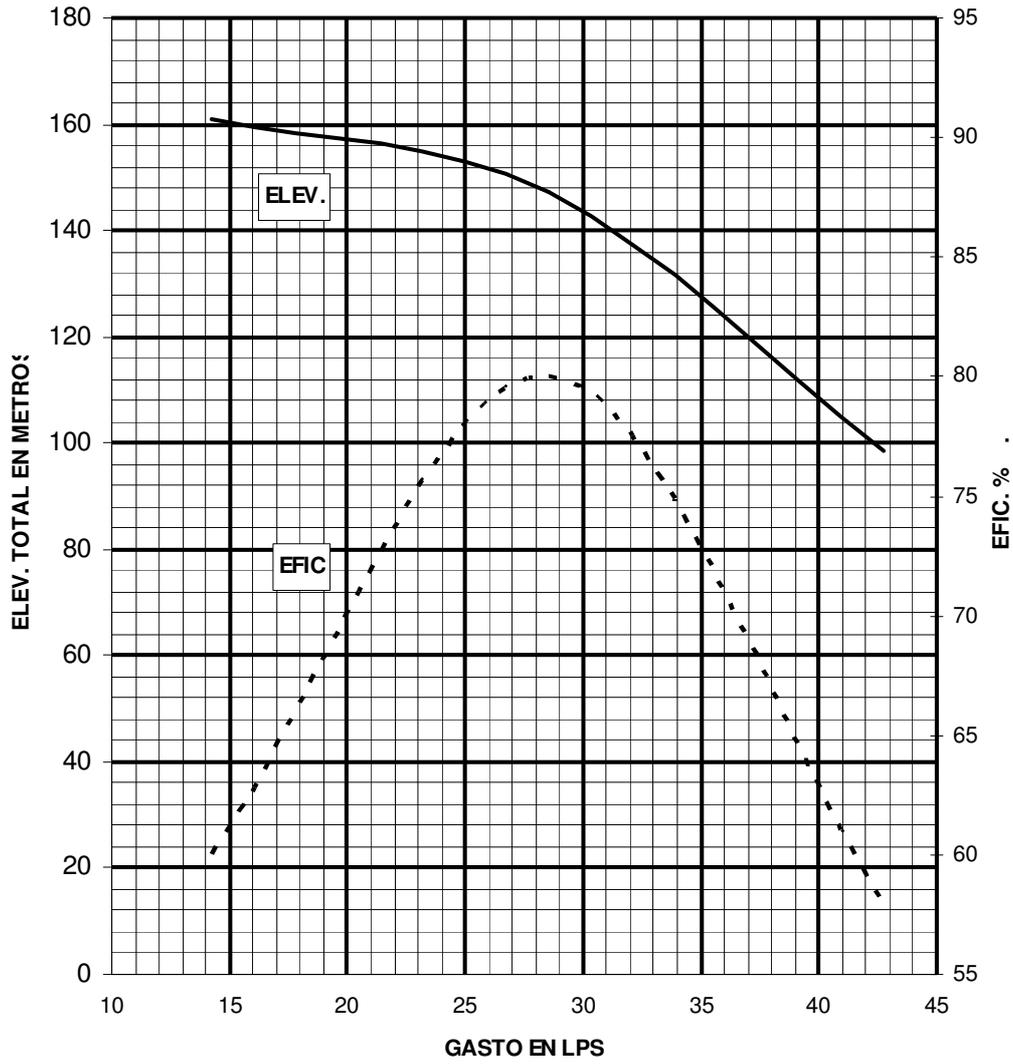


Ilustración. Curva característica, pozo Ribera del Sacramento #5

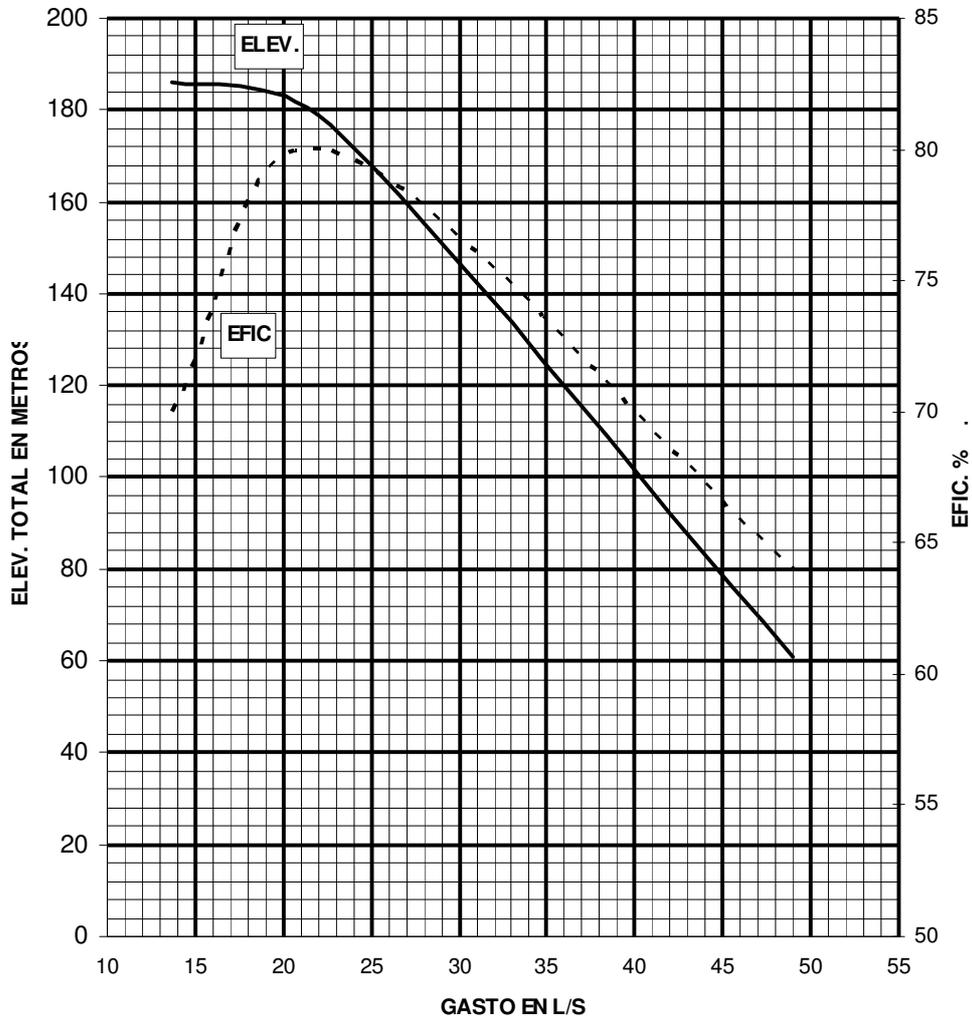


Ilustración. Curva característica, pozo Ribera del Sacramento #6

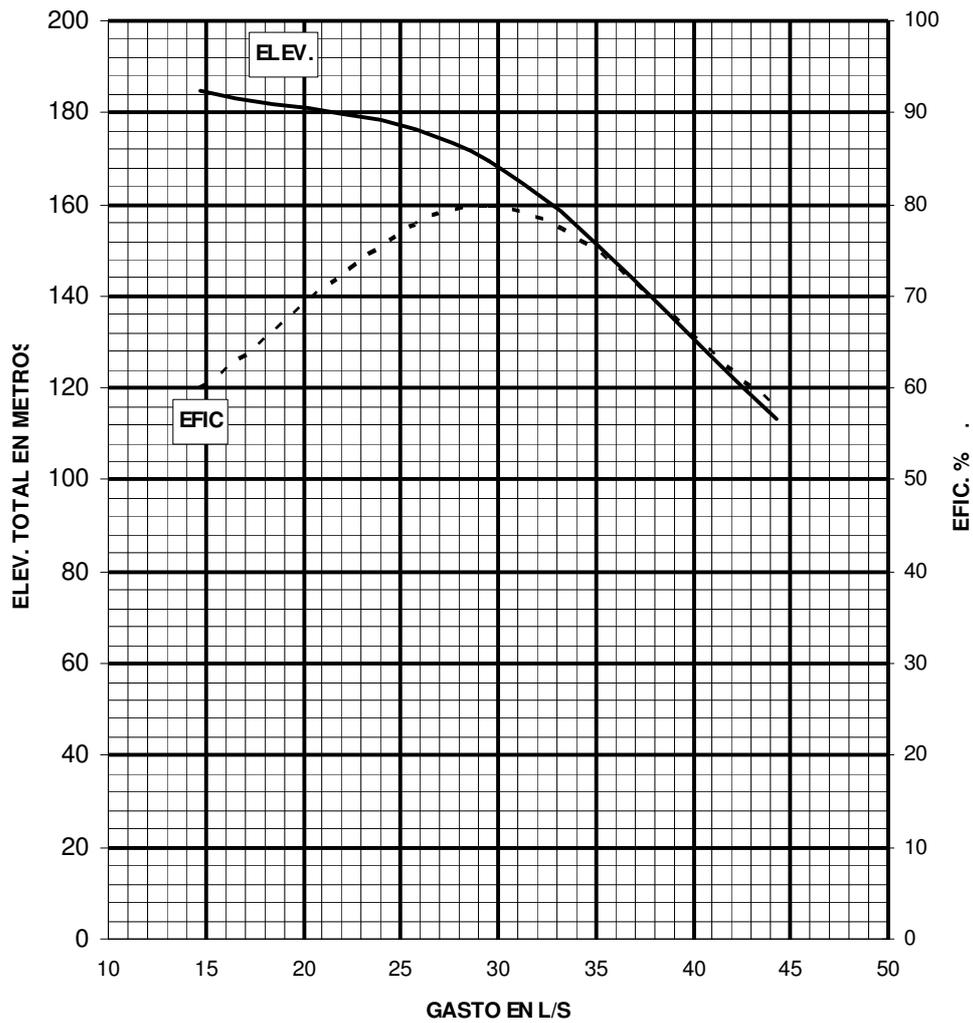


Ilustración Curva característica, pozo IMPULSO

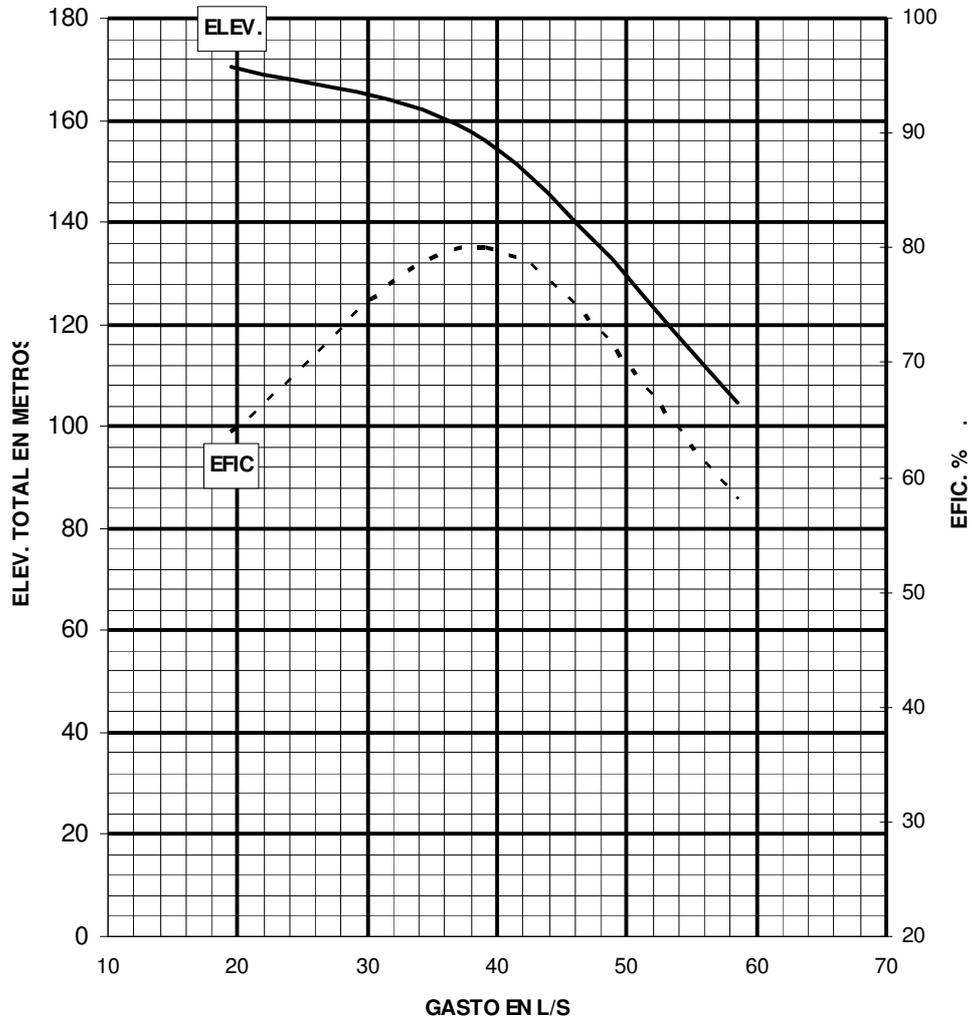


Ilustración Curva característica, pozo Arroyos4



CONVENIO DE COLABORACIÓN
JMAS/IMTA/HC-0751



**8.43 ANEXO 4. TÉRMINOS DE REFERENCIA – ANÁLISIS HIDRÁULICO
ACUEDUCTO EL SAUZ, TRAMO REBOMBEO – TANQUES LOMA LARGA.**

ANEXO TÉCNICO

JUNTA CENTRAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DE CHIHUAHUA, JCAS

SUBDIRECCIÓN TÉCNICA

CONVENIO DE COLABORACIÓN O CONTRATO DE SERVICIOS

Núm.

**Análisis hidráulico en estado permanente y transitorio del tramo
comprendido entre “El Rebombéo El Sauz” y “Tanques Loma
Larga”, ubicado en la conducción EL SAUZ de la ciudad de
Chihuahua, Chih.**

02 de septiembre de 2008
FECHA DE ELABORACIÓN



Antecedentes

Entre los principales objetivos de la Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) de la ciudad de Chihuahua se encuentra el mejorar el servicio de agua potable en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua.

A partir del diagnóstico realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) durante los años 2007 y 2008, se determinó que la conducción conocida como EL SAUZ, aporta un caudal hasta de 1200 litros por segundo (máximo horario), siendo ésta la más importante en cuanto a cantidad se refiere.

La conducción el SAUZ con base en su operación, es posible dividirla en tres tramos. El primer tramo conocido como El Sauz Etapa II, incluye la extracción donde se ubican dos baterías de pozos. La primera de ellas el SAUZ, cuenta con 11 pozos profundos, la segunda conocida como Estación Terrazas, presenta únicamente dos pozos. En total ambas baterías producen un caudal de 840 litros por segundo y finalizan el punto conocido como Caja de Cambio de Régimen, mismo que será el inicio del tramo número dos.

El segundo tramo a diferencia del primero donde el caudal es bombeado por las dos baterías de pozos, esta parte del acueducto, trabaja por gravedad debido a la topografía del lugar. Este tramo dos, finaliza en el punto conocido como Rebombeo Sauz.

Finalmente se presenta el tramo número tres comprendido entre los puntos conocidos como Rebombeo El Sauz y los Tanques Loma Larga. El Rebombeo tiene en sus instalaciones, cinco equipos, de los cuales operan de forma permanente tres y un cuarto por algunos minutos. En este punto se incorporan otros 12 pozos.

Con base en mediciones realizadas por el IMTA y corroboradas por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS), el caudal que produce el Rebombeo asciende a 1141 litros por segundo aproximadamente, con máximos de hasta 1260 litros por segundo. Lo anterior se debe al número de equipos en operación.

Este tramo número de tres, será el de interés para el presente proyecto, debido a que recientemente se pretenden incorporar en una primera etapa 12 pozos profundos; y en una segunda, seis pozos adicionales.

La relación de pozos por adicionar en la primera etapa son: Riberas de Sacramento # 7 al #18, (12 en total) y un caudal proyectado de 394 litros por segundo.

En cuanto a los pozos de la etapa dos, se encuentran: JCAS #6 al JCAS #11 (seis en total), para un gasto en conjunto de 180 litros por segundo.

Es importante mencionar que los pozos de ambas etapas, se conectarán en el tramo número tres (Rebombeo El Sauz – Tanques Loma Larga), creando así diferentes escenarios de simulación.



Requerimientos

1. Es indispensable que el prestador de servicio tenga una experiencia mínima de 7 años en trabajos relacionados con el análisis hidráulico de conducciones y en general con las actividades planteadas en este anexo técnico. Es decir, para efectuar el análisis hidráulico del tramo comprendido entre el Rebombío EL SAUZ y los tanques Loma Larga, el contratista deberá justificar su experiencia previa en otros acueductos del país.
2. Además de los años mínimos requeridos de experiencia en el tema, el prestador del servicio y específicamente el responsable técnico (persona física), deberá presentar documentos legales que avalen su experiencia en el análisis hidráulico en dos conducciones mayores de 30 pulgadas al menos del país.
3. La experiencia deberá fijarse para acueductos en operación o ampliación y no será válido en aquellos casos que se desee justificar su experiencia, con la proyección de nuevos acueductos.
4. Para corroborar la experiencia, se anexará a la propuesta técnica el curriculum vitae de cada uno de los integrantes de la plantilla de trabajo y de forma enfática del responsable técnico (indicando que trabajo desarrollará) en las distintas actividades que se solicitan de acuerdo a lo indicado en este anexo técnico.
5. El contratista deberá colocar en su propuesta técnica de forma clara y precisa, el responsable técnico del análisis hidráulico.
6. El responsable técnico por parte del prestador de servicios, deberá atender las solicitudes de la JCAS cuando ésta así lo requiera de forma presencial en las instalaciones de la propia Junta en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua.
7. El análisis hidráulico en estado permanente deberá realizarse con el apoyo de un programa de simulación (por ejemplo AH, EPANET, InfoWorks, etc) y para el estado transitorio deberá atenderse con el programa ARIETE (IMTA) o HAMMER desarrollado por la empresa Bentley Systems (antes HAESTAD METHODS).
8. El prestador de servicios deberá entregar el resultado de las simulaciones de forma impresa y digital a su contraparte (JCAS).
9. El responsable técnico deberá presentarse en las instalaciones de la JCAS con el objetivo de mostrar el resultado de las distintas alternativas o escenarios para la incorporación de los nuevos pozos al tramo de interés.
10. El responsable técnico deberá diseñar la nueva política de operación en el acueducto, producto de la incorporación de nuevos pozos.
11. El responsable técnico expondrá las medidas que deberán seguirse con apego a la política de operación diseñada por el mismo.
12. El personal de la JCAS podrá en todo momento realizar sugerencias técnicas al responsable técnico del análisis con el objetivo de generar escenarios que la JCAS esté interesado en conocer.
13. El responsable técnico deberá dar seguimiento y capacitación al personal de la JCAS en relación a los escenarios generados.
14. La recopilación de información realizada por el prestador de servicios será apoyada por el personal de la JCAS.
15. Toda la información que sea suministrada como insumo, se derive o produzca de la ejecución de los trabajos realizados por el prestador de servicios, es propiedad de la JCAS.
16. Los lineamientos técnicos de diseño y análisis serán apegados a las recomendaciones emitidas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y por la American Water Works Association (AWWA).



Resultados esperados

1. Escenarios de simulación con la información hidráulica pertinente: caudal en conducción y tramo por incorporar y presión a lo largo del tramo de interés.
2. Diseño de la(s) tubería(s) por incorporar al acueducto en operación.
3. Diseño de los elementos o estructuras de protección ante la incorporación de los nuevos pozos (desglosar por cada escenario presentado).
4. Diseño de los equipos de bombeo en los nuevos pozos.
5. Rediseño de los pozos conectados directamente en el tramo analizado (en caso de ser necesario).



Metodología

1. **Recopilación de información:** En esta etapa el contratista deberá obtener la información concerniente a:
 - a. Trazo de la conducción (altimetría y planimetría);
 - b. Diámetro de la tubería;
 - c. Material y clase de la conducción (resistencia ante sobre y subpresiones);
 - d. Curvas características de la bombas ubicadas en el Rebombeo
 - e. Datos relacionados con el conjunto bomba-motor: Capacidad del motor,
 - f. Ubicación de dispositivos de protección, en caso de existir. Por ejemplo, Torre de Oscilación, Tanque Unidireccional, válvulas de admisión y expulsión de aire, entre otros.
 - g. Datos relacionados a los elementos de protección
 - h. Datos relacionados con los pozos que actualmente se encuentran incorporados en el tramo analizado.
2. **Realización de visitas en campo:** El responsable técnico del prestador de servicios, deberá efectuar visitas en campo con motivo de evaluar el trabajo realizado.
3. **Medición de presión y caudal en la conducción:** Será necesaria la medición de presión en al menos 20 puntos dentro del tramo analizado (Rebombeo Sauz – Tanques Loma Larga) y de caudal si el personal de la JCAS si así lo decida.
4. **Medición de niveles en elementos de protección (Tanque Unidireccional y Torre de Oscilación):** El prestador de servicios deberá realizar mediciones de nivel en el Tanque unidireccional y Torre de Oscilación, ubicados en el tramo Rebombeo Sauz – Tanques Loma Larga. Para ello deberá realizar al menos tres campañas de monitoreo con la ayuda de un medidor de nivel. Esto con el objetivo de conocer el nivel de los dispositivos de protección, bajo diferentes condiciones de operación en el Rebombeo El Sauz (2, 3, 4 y 5 equipos en operación).
5. **Análisis hidráulico en estado permanente de la conducción sin incorporación de nuevos pozos:**
 - a. Análisis del comportamiento hidráulico no permanente o transitorio del acueducto en los paros y arranques de las bombas.
 - b. Análisis de las presiones (máximas y mínimas) que se presentan en el acueducto.
6. **Análisis hidráulico en estado transitorio del tramo sin incorporación de nuevos pozos:**
 - a. Análisis del comportamiento hidráulico no permanente o transitorio del acueducto en los paros y arranques de las bombas.
 - b. Análisis de las presiones negativas que podrían presentarse en el acueducto y sus implicaciones (emisión de recomendaciones).
 - c. Análisis de las sobrepresiones que podrían presentarse en el acueducto ante el paro de los equipos ubicados en el Rebombeo El Sauz. Generar diferentes escenarios involucrando la operación simultánea de dos, tres, cuatro o cinco equipos.



7. **Análisis hidráulico en estado permanente de la conducción con la incorporación de nuevos pozos (Generación de escenarios):**
 - a. Considerando únicamente la incorporación de los pozos Riberas del Sacramento #7 al #18.
 - b. Considerando los pozos Riberas del Sacramento #7 al #18 y los denominados como JCAS #6 al #11.
 - c. Diseño de la tubería para cada escenario propuesto, incluye diámetro, clase y material.

8. **Análisis hidráulico en estado transitorio de la conducción con la incorporación de nuevos pozos (Generación de escenarios):**
 - a. Considerando únicamente la incorporación de los pozos Riberas del Sacramento #7 al #18.
 - b. Considerando los pozos Riberas del Sacramento #7 al #18 y los denominados como JCAS #6 al #11.
 - c. Diseño de la tubería para cada escenario propuesto, incluye diámetro, clase y material.
 - d. Análisis de las sobrepresiones y subpresiones en caso de paro repentino de los nuevos equipos de bombeo (incorporados); emitir recomendaciones en la política de operación de los mismos (apagado y encendido) y sus implicaciones en el tramo analizado.
 - e. Análisis de las sobrepresiones y subpresiones para el caso de paro repentino de forma individual de cada equipo por incorporar (nuevos pozos). Emitir resultados, implicaciones y recomendaciones por cada uno de los pozos.
 - f. Análisis de las sobrepresiones y subpresiones para el caso de paro repentino de todos los equipos incluye los ubicados en los siguientes puntos: Rebombeo El Sauz, aquellos ubicados en el tramo Rebombeo El Sauz y Tanques Loma Larga, y finalmente los pozos nuevos.

9. **Comparativa de escenarios:** El responsable técnico deberá realizar un análisis comparativo de las diferentes opciones o escenarios generados, con el objetivo de mostrar las ventajas y desventajas de cada una de ellas. Asimismo se deberá exponer de forma presencial este análisis ante las autoridades de la Junta Central de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JCAS). Asimismo deberá indicar las implicaciones u obras adicionales que se requerirían en su caso.

10. **Elección del escenario óptimo:** El responsable técnico deberá exponer e indicar los motivos de su elección entre los escenarios analizados y las implicaciones u obras adicionales que se requerirían.

11. **Informe final:** El prestador de servicios deberá entregar al personal de la JCAS, el reporte técnico involucrando los puntos descritos en este anexo técnico, así como el proyecto ejecutivo del escenario seleccionado con planos a detalle y costos.



Núm.	Descripción de actividades o acciones
1	Recopilación de información
2	Realización de visitas y reuniones técnicas con motivo de la supervisión de los trabajos, incluye la definición de procedimientos en forma conjunta con la empresa consultora y la JCAS.
3	Medición de presión y caudal en la conducción
4	Medición de niveles en elementos de protección (Tanque Unidireccional y Torre de Oscilación):
5	Análisis hidráulico en estado permanente de la conducción sin incorporación de nuevos pozos
6	Análisis hidráulico en estado transitorio del tramo sin incorporación de nuevos pozos
7	Elaboración de informe
8	Análisis hidráulico en estado transitorio de la conducción <u>con la incorporación de nuevos pozos (Generación de escenarios)</u>
9	Comparativa de escenarios
10	Elección del escenario óptimo
11	Informe final y proyecto ejecutivo

Núm. de actividad o acción	Calendario de ejecución de actividades o acciones											
	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	xxxx	xx										
2	xxxx	xxxx	xxxx									
3		xxxx	xxxx									
4			xxxx									
5		xxxx	xxxx									
6	xxxx	xxxx										
7												
Avance físico prog. %	30	70	100									