



## INFORME FINAL

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

## (PARTE 1. DIAGNÓSTICO)

CONVENIO DE COLABORACIÓN: JMAS/IMTA/HC-0751



Noviembre del 2008



**INFORME FINAL**

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

**(PARTE 1. DIAGNÓSTICO)**

**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 Ortíz  
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 del Departamento de Planeación e Ingeniería.  
Ing. David Muñoz Holguín, Jefe del Departamento de Red Hidráulica.  
Ing. Marco Antonio Velazco Báez, Jefe del 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 del 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 1. DIAGNÓSTICO)

### ÍNDICE

1.	RESUMEN EJECUTIVO (PARTE 1. DIAGNÓSTICO).....	21
2.	INTRODUCCIÓN .....	28
2.1	Antecedentes .....	28
2.2	Objetivos .....	29
2.2.1	Objetivo general .....	29
2.2.2	Objetivos específicos.....	29
2.3	Metodología .....	30
2.4	Recopilación y análisis de la información disponible.....	32
2.5	Estudios técnicos realizados con anterioridad en la ciudad de Chihuahua .....	33
2.6	Visitas y recorridos de campo .....	37
2.7	Recomendaciones.....	38
3.	INFORMACIÓN BÁSICA.....	39
3.1	Servicios públicos .....	40
3.1.1	Agua potable .....	40
3.1.2	Drenaje Urbano .....	41
3.1.3	Energía eléctrica.....	42
3.1.4	Alumbrado público.....	42
3.2	Clima .....	42



3.2.1	Precipitación total mensual .....	43
3.2.2	Temperatura media mensual .....	45
3.3	Actividades económicas principales .....	47
3.3.1	Industria.....	47
3.3.2	Comercio .....	48
3.3.3	Turismo .....	48
3.3.4	Ingresos de la población.....	49
3.4	Población de la ciudad de Chihuahua .....	49
3.4.1	Crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Chihuahua.....	49
3.4.2	Crecimiento histórico de la población (fuente: INEGI 2005).....	51
3.4.3	Índice de hacinamiento.....	53
3.4.4	Población actual .....	54
3.4.5	Población futura .....	54
3.4.6	Análisis de los diversos métodos de proyección de la población .....	57
3.5	Proyección de la demanda de agua de la ciudad al año 2030 .....	60
3.6	Comparativo entre los gastos de oferta - demanda y concesión de agua .....	62
3.7	Tomas domiciliarias .....	67
3.8	Usos no autorizados y autorizados no medidos .....	67
3.8.1	Usos no autorizados .....	67
3.8.2	Usos autorizados no medidos.....	68
3.9	Recomendaciones y conclusiones .....	69
4.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN .....	72
4.1	Fuente superficial .....	72



4.2	Fuente subterránea.....	73
4.2.1	Acuífero Chihuahua Sacramento (ACHS) .....	74
4.2.2	Acuífero Tabalaopa Aldama (ATA) .....	75
4.2.3	Acuífero Sáuz – Encinillas (ASE).....	76
4.2.4	Volúmenes de agua extraídos de los acuíferos.....	77
4.3	Líneas de conducción .....	84
4.3.1	Conducción Puerta de Chihuahua. ....	85
4.3.2	Conducción Ojos de Chuviscar .....	87
4.3.3	Conducción El Sáuz Etapas I y II.....	90
4.3.4	Conducción Tabalaopa – Aldama .....	94
4.3.5	Conducción Aldama Nombre de Dios. ....	96
4.3.6	Conducción Panamericana .....	98
4.3.7	Conducción Sacramento Norte.....	99
4.3.8	Conducción Sacramento Viejo.....	101
4.4	Tanques del sistema .....	103
4.5	Rebombeos del sistema .....	107
4.6	Red de distribución.....	109
4.6.1	Diámetro y longitud de tubería en la red de distribución.....	110
4.7	Planta potabilizadora .....	112
4.8	Operación del sistema .....	112
4.8.1	Zonas de influencia de tanques y pozos .....	112
4.8.2	Telemetría.....	117
4.8.3	Válvulas reguladoras, sostenedoras y automáticas .....	117



4.9	Recomendaciones y Conclusiones .....	119
5.	REGISTROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	123
5.1	Macromedición.....	123
5.2	Micromedición .....	124
5.3	Estadísticas de fugas.....	126
5.3.1	Fugas anuales por colonia .....	127
5.3.2	Fugas en tuberías al año por kilómetro de red .....	129
5.4	Recomendaciones y conclusiones .....	130
6.	CAMPAÑAS DE MEDICIÓN .....	132
6.1	Verificación de medidores domiciliarios .....	132
6.1.1	Rango de exactitud de los medidores.....	133
6.1.2	Pruebas para la verificación del error en los medidores domiciliarios .....	133
6.1.3	Equipo empleado.....	134
6.1.4	Realización de la prueba .....	134
6.1.5	Marca de los medidores verificados en campo .....	137
6.1.6	Cálculo de los errores de medición de los micromedidores.....	137
6.1.7	Errores de medición para una apertura del 100% .....	138
6.1.8	Errores de medición para una apertura del 50% .....	140
6.1.9	Errores de medición para una apertura del 5% .....	141
6.1.10	Errores de medición global .....	142
6.1.11	Análisis de frecuencia de los errores de sobremedición y submedición.....	143
6.2	Macromedición.....	144
6.2.1	Actividades previas a la campaña de medición.....	144



6.2.2	Equipo de medición empleado .....	145
6.2.3	Campaña de medición de caudales en la conducción Puerta de Chihuahua .....	146
6.2.4	Campaña de medición de caudales en la conducción Ojos de Chuviscar .....	154
6.2.5	Campaña de medición de caudales en la conducción El Sáuz .....	160
6.2.6	Campaña de medición de caudales en la conducción Tabalaopa Aldama. ....	171
6.2.7	Campaña de medición de caudales en la conducción Aldama Nombre de Dios. ....	180
6.2.8	Campaña de medición de caudales en la conducción Panamericana .....	187
6.2.9	Campaña de medición de caudales en la conducción Sacramento Norte. ....	189
6.2.10	Campaña de medición de caudal en la conducción Sacramentos Viejo .....	192
6.3	Eficiencia electromecánica de pozos de bombeo .....	194
6.3.1	Definición de eficiencias .....	194
6.3.2	Potencia de entrada a la bomba .....	195
6.3.3	Potencia de entrada al motor .....	196
6.3.4	Potencia de salida de la bomba .....	196
6.3.5	Carga total de bombeo.....	197
6.3.6	Evaluación de perdidas por fricción en la columna .....	198
6.3.7	Medición de parámetros .....	198
6.3.8	Medición de caudal .....	199
6.3.9	Determinación de las eficiencias de los equipos electromecánicos. ....	206
6.3.10	Análisis estadístico de las eficiencias globales de los equipos de bombeo de los pozos profundos calculadas mes a mes por la JMAS .....	211
6.3.11	Campaña de sustitución de equipos de bombeo.....	216
6.4	Registros de presión .....	217



6.4.1	Resultados de las mediciones de presión .....	219
6.4.2	Variación de presiones por zona de influencia.....	225
6.5	Estatus de válvulas de seccionamiento.....	231
6.6	Recomendaciones y conclusiones .....	234
7.	<b>BALANCE VOLUMÉTRICO.....</b>	<b>238</b>
7.1	Tarea 1. Suministro de agua potable .....	238
7.2	Tarea 2. Estimación de consumos medidos autorizados .....	240
7.2.1	Usuarios con servicio medido .....	240
7.2.2	Correcciones por errores en al medición.....	240
7.2.3	Consumo medido corregido por los errores de medición .....	240
7.3	Tarea 3. Estimación de usos no medidos autorizados.....	241
7.3.1	Usos del agua no medida autorizada.....	241
7.3.2	Usuarios de cuota fija.....	242
7.3.3	Uso de agua no medida autorizada.....	242
7.3.4	Entrega de agua en pipas.....	242
7.3.5	Consumo total considerando servicio medido y usos no medidos autorizados .....	243
7.4	Tarea 4. Estimación de pérdidas totales en el sistema. ....	243
7.5	Tarea 5. Estimación de pérdidas identificadas y eliminadas.....	244
7.5.1	Conexiones no autorizadas regularizadas .....	244
7.6	Tarea 6. Estimación de pérdidas potenciales en el sistema.....	245
7.7	Tarea 7. Pérdidas potenciales en tomas domiciliarias.....	245
7.8	Tarea 8. Pérdidas potenciales en la red de distribución. ....	245
7.9	Tarea 9. Pérdidas potenciales por consumos no autorizados y subsidios. ....	246



7.10	Resumen y conclusiones del Balance Volumétrico de Agua en Chihuahua.....	246
8.	INDICADORES DE GESTIÓN .....	250
8.1	Definición de las eficiencias en un sistema de agua potable.....	250
8.2	Eficiencia física del sistema .....	251
8.3	Eficiencia de facturación.....	251
8.4	Eficiencia de cobro.....	251
8.5	Eficiencia Comercial.....	252
8.6	Eficiencia global del sistema.....	252
8.7	Eficiencia de cobranza .....	252
8.8	Porcentaje de tomas que pagan su servicio de agua a tiempo.....	253
8.9	Dotación de agua potable para la ciudad de Chihuahua.....	253
8.10	Índice de continuidad en el servicio.....	254
8.11	Costo de energía eléctrica unitario por bombeo para extracción de agua.....	257
8.12	Comparación con otros sistemas de agua potable.....	262
8.13	Recomendaciones y conclusiones .....	262
9.	CONCLUSIONES DEL PROYECTO POR CAPÍTULO .....	264
9.1	Capítulo 2, Recopilación y análisis de la Información general.....	264
9.2	Capítulo 3, Información Básica.....	264
9.3	Capítulo 4, Descripción del sistema.....	266
9.4	Capítulo 5, Funcionamiento del sistema .....	268
9.5	Capítulo 6, Campaña de medición .....	269
9.6	Capítulo 7, Balance volumétrico.....	273
9.7	Capítulo 8, Eficiencias del sistema .....	273



10.	RECOMENDACIONES .....	274
11.	ANEXO A. RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE MICROMEDIDORES DOMICILIARIOS. ....	276
12.	ANEXO B. MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS.....	289



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Esquema del balance de agua para la ciudad de Chihuahua (año 2007).....	27
Tabla 3.1. Cobertura de los servicios públicos en la ciudad de Chihuahua (fuente: Enciclopedia de los municipios de México, Chihuahua, 2007).....	41
Tabla 3.2. Incorporación de nuevas fuentes de suministro de agua potable a la ciudad de Chihuahua (fuente: JCAS, reunión estatal de Organismos Operadores, diciembre del 2007).....	41
Tabla 3.3. Precipitación total mensual en la estación meteorológica P. El Rajón (fuente: INEGI 2005).....	44
Tabla 3.4. Temperatura media mensual registrada en la estación Meteorológica P. El Rejón (fuente: INEGI 2005) .....	46
Tabla 3.5. Ocupación en el sector formal (fuente: Enciclopedia de los municipios de México, Chihuahua, 2007) .....	47
Tabla 3.6. Superficies de los Parques industriales (primera modalidad) .....	48
Tabla 3.7. Superficie de las Zonas industriales (segunda modalidad) .....	48
Tabla 3.8. Hoteles en la ciudad de Chihuahua .....	49
Tabla 3.9. Ingresos de la población.....	49
Tabla 3.10. Crecimiento histórico de la Mancha Urbana de la ciudad de Chihuahua (Fuente: IMPLAN Chihuahua 2007).....	50
Tabla 3.11. Clasificación de áreas verdes en la ciudad de Chihuahua (fuente: IMPLAN Chihuahua, 2007) .....	51
Tabla 3.12. Crecimiento histórico de la población de la ciudad de Chihuahua, Chihuahua (fuente INEGI 2005).....	52
Tabla 3.13. Distribución de habitantes por hogar en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua (Fuente: INEGI 2005).....	53
Tabla 3.14. Crecimiento futuro de la población según los diversos métodos.....	59
Tabla 3.15. Tasas de crecimiento futura (%) .....	60
Tabla 3.16. Proyección de gasto de suministro a la ciudad de Chihuahua para el año 2030.....	64
Tabla 3.17. Comparativo de los gastos: ofertado, demandado y concesionado en Chihuahua (calculada con base en mediciones del 2007). .....	66
Tabla 3.18. Tomas domiciliarias por tipo de usuario (año de 2007).....	67
Tabla 3.19. Usos no autorizados .....	68
Tabla 3.20. Tomas de agua para bebederos en la conducción el Sáuz.....	69
Tabla 4.1. Volumen de agua extraído por fuente de suministro en el año 2007 (m <sup>3</sup> /mes) .....	79
Tabla 4.2. Capacidad máxima de caudal producido en los pozos por acuífero y año de incorporación a la red de distribución .....	80
Tabla 4.3. Volumen de Agua concesionado por la CNA para ser extraído de los acuíferos y gasto máximo extraído en el 2007 por la JMÁS.....	81
Tabla 4.4. Títulos de concesión para explotación de los acuíferos y volumen concesionado y extraído promedio en el año 2007. ....	81
Tabla 4.5. Descripción general de las conducciones.....	84
Tabla 4.6. Longitudes y diámetros de los distinto tramos de la conducción el Sáuz.....	92
Tabla 4.7. Longitudes y diámetros de los distintos tramos de la conducción Tabalaopa Aldama	95



Tabla 4.8. Longitudes y diámetros de los distintos tramos de la conducción Aldama Nombre de Dios .....	97
Tabla 4.9. Gastos en los pozos de la batería Panamericana .....	99
Tabla 4.10. Longitudes y diámetros de los distintos tramos de la conducción Sacramento Norte .....	100
Tabla 4.11. Gastos registrados en la batería de pozos Sacramento Norte.....	101
Tabla 4.12. Gastos de la batería de pozos de Sacramento Viejo.....	102
Tabla 4.13. Clasificación de tanque y su capacidad.....	103
Tabla 4.14. Tanques superficiales en al ciudad de Chihuahua.....	105
Tabla 4.15. Tanques elevados en la ciudad de Chihuahua.....	106
Tabla 4.16. Rebombes en la ciudad de Chihuahua .....	108
Tabla 4.17. Diámetros y longitudes de la red de distribución.....	111
Tabla 4.18. Apertura y cierre de válvulas de las zonas de influencias de los tanques (17 de mayo del 2007).....	115
Tabla 4.19. Apertura y cierre de válvulas de las zonas de influencias de los tanques (17 de mayo del 2007).....	116
Tabla 4.20. Número de instalaciones que cuentan con telemetría .....	117
Tabla 4.21. Válvulas reguladoras de presión instaladas en la red de distribución.....	118
Tabla 4.22. Válvulas sostenedoras de presión y automáticas instaladas en la red de distribución .....	118
Tabla 4.23. Diámetro de las válvulas instaladas en la red de distribución.....	118
Tabla 4.24. Balance de derechos ejercidos en los acuíferos de Chihuahua .....	121
Tabla 5.1. Tipos de fallas del mes de enero a noviembre del 2007 .....	126
Tabla 5.2. Número de fallas por km de red.....	129
Tabla 6.1. Clasificación por marca de los medidores verificados en Campo. ....	137
Tabla 6.2. Errores de medición para una apertura del 50% de la llave.....	141
Tabla 6.3. Errores de medición para una apertura del 5% de la llave.....	142
Tabla 6.4. Fechas de la campaña de medición en las conducciones .....	146
Tabla 6.5. Batería de Pozos Puerta de Chihuahua y sus gastos medidos en macro y con ultrasónico .....	147
Tabla 6.6. Características del punto de medición en la conducción Puertas de Chihuahua.....	150
Tabla 6.7. Características de los puntos de medición en la conducción Puertas de Chihuahua .	151
Tabla 6.8. Gastos medidos en los equipos de bombeo de la conducción Ojos de Chuviscar ....	155
Tabla 6.9. Características de los puntos de medición en la conducción Ojos de Chuviscar.....	157
Tabla 6.10. Baterías de pozos que suministran agua a través de la conducción el Sáuz, el gasto es el registrado en los macromedidores.....	161
Tabla 6.11. Características de los puntos de medición de caudal en la conducción el Sáuz .....	162
Tabla 6.12. Características de los puntos de medición de caudal en la conducción el Sáuz (continuación).....	163
Tabla 6.13. Características de los puntos de medición de cauda en la conducción Tabalaopa Aldama .....	172
Tabla 6.14. Características de los puntos de medición de cauda en la conducción Tabalaopa Aldama (continuación).....	173



Tabla 6.15. Características de los puntos de medición de la conducción Aldama Nombre de Dios .....	181
Tabla 6.16. Características de los puntos de medición de la conducción Aldama Nombre de Dios. ....	182
Tabla 6.17. Características de los puntos de medición en la conducción Panamericana .....	187
Tabla 6.18. Características de los puntos de medición de la conducción Sacramento Norte .....	190
Tabla 6.19. Características del punto de medición en la conducción Sacramentos Viejo .....	192
Tabla 6.20. Pozos y rebombes seleccionados para el cálculo de la eficiencia electromecánica .....	199
Tabla 6.21. Características de los puntos de medición .....	200
Tabla 6.22. Cálculo de las eficiencias electromecánicas .....	207
Tabla 6.23. Cálculo de las eficiencias electromecánicas (continuación) .....	208
Tabla 6.24. Cálculo de las eficiencias electromecánicas (continuación) .....	209
Tabla 6.25. Cálculo de las eficiencias electromecánicas (continuación) .....	210
Tabla 6.26. Características de los equipos de bombeo .....	212
Tabla 6.27. Características de los equipos de bombeo (continuación) .....	213
Tabla 6.28. Características de los equipos de bombeo (continuación) .....	214
Tabla 6.29. Características de los equipos de bombeo (continuación) .....	215
Tabla 6.30. Características de los equipos de bombeo (continuación) .....	216
Tabla 6.31. Equipos de bombeo a sustituir en el 2008 por la JMAS .....	217
Tabla 6.32. Presiones promedio, mínima y máxima registradas en las diferentes zonas de influencia de tanques, pozos y rebombes, durante la campaña de medición. ....	225
Tabla 6.33. Presiones promedio, mínima y máxima registradas en las diferentes zonas de influencia de tanques, pozos y rebombes, durante la campaña de medición (continuación)....	226
Tabla 7.1. Volumen de agua producido en Chihuahua .....	239
Tabla 7.2. Volumen consumido por los usuarios que cuenta con servicio medido (m <sup>3</sup> ) .....	240
Tabla 7.3. Errores de sobre medición en los medidores domiciliarios .....	241
Tabla 7.4. Errores de sub medición en los medidores domiciliarios.....	241
Tabla 7.5. Volumen de agua consumido por los usuarios de cuota fija (m <sup>3</sup> ).....	242
Tabla 7.6. Volumen de agua suministrado en pipas (m <sup>3</sup> ).....	243
Tabla 7.7. Volumen de pérdida por fugas recuperada por el organismo operador .....	244
Tabla 7.8. Conexiones no autorizadas regularizadas .....	245
Tabla 7.9. Estadísticas de fugas en la red de distribución y en las tomas domiciliarias .....	245
Tabla 7.10. Usuarios clandestinos probables en la ciudad de Chihuahua.....	246
Tabla 7.11. Balance Volumétrico del sistema de agua potable de la ciudad de Chihuahua .....	247
Tabla 7.12. Balance Volumétrico del sistema de agua potable de la ciudad de Chihuahua (continuación).....	248
Tabla 7.13. Balance de agua en la ciudad de Chihuahua .....	249
Tabla 8.1. Eficiencia de facturación.....	251
Tabla 8.2. Eficiencia de cobro.....	252
Tabla 8.3. Eficiencia comercial.....	252
Tabla 8.4. Eficiencia de cobranza .....	252
Tabla 8.5. Tomas que pagan su servicio de agua .....	253



Tabla 8.6. Consumo por clase socioeconómica (ref. Manual de Datos básicos de la CNA, 2004)	254
Tabla 8.7. Clima según la temperatura media (Ref. manual de Datos Básicos de la CNA, 2004)	254
Tabla 8.8. Índice de continuidad en las diferentes zonas de influencia de la ciudad.	255
Tabla 8.9. Índice de continuidad en las diferentes zonas de influencia de la ciudad (continuación)	256
Tabla 8.10. Costo de energía eléctrica unitario (promedio del año 2007, fuente JMAS).	258
Tabla 8.11. Costo de energía eléctrica unitario (promedio del año 2007, fuente JMAS) continuación.	259
Tabla 8.12. Costo de energía eléctrica unitario (promedio del año 2007, fuente JMAS) continuación.	260
Tabla 8.13. Costo de energía eléctrica unitario (promedio del año 2007, fuente JMAS) continuación.	261
Tabla 8.14. Indicadores de gestión de diversas ciudades del país.	263
Tabla 9.1. Balance de derechos ejercidos en los acuíferos de Chihuahua	267
Tabla 11.1. Muestra de medidores verificados en campo.	276
Tabla 11.2. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	277
Tabla 11.3. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	278
Tabla 11.4. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	279
Tabla 11.5. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	280
Tabla 11.6. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	281
Tabla 11.7. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	282
Tabla 11.8. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	283
Tabla 11.9. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	284
Tabla 11.10. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	285
Tabla 11.11. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	286
Tabla 11.12. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).	287
Tabla 12.1. Medición del Amperaje y Voltaje entre fases en el pozo Arroyos 4	289
Tabla 12.2. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Sacramento 3	289
Tabla 12.3. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Villa Dorada 1	289
Tabla 12.4. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Tabalaopa Aldama 9	290
Tabla 12.5. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Robinson II	290
Tabla 12.6. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Aeropuerto III	290
Tabla 12.7. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Sáuz 12	290
Tabla 12.8. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Sáuz 24	291
Tabla 12.9. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Puerta de Chihuahua 4	291
Tabla 12.10. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Tabalaopa Nombre de Dios 7	291
Tabla 12.11. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Rebombeo Coronel	291
Tabla 12.12. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Rebombeo El Sáuz.	291



## ÍNDICE DE LÁMINAS

Lámina 3.1. Localización del Estado de Chihuahua (Fuente: Google Earth) .....	39
Lámina 3.2. Localización del municipio de Chihuahua.....	40
Lámina 3.3. Mapa de Climas del Estado de Chihuahua; (fuente: INEGI 2005).....	43
Lámina 3.4. Variación de la precipitación total mensual registrada en la estación meteorológica P. El Rejón (fuente: INEGI 2005) .....	45
Lámina 3.5. Variación de la Temperatura media mensual en la estación Meteorológica P. El Rejón (fuente: INEGI 2005).....	46
Lámina 3.6. Comparación entre el crecimiento de la población y la superficie que ocupa la mancha urbana en Chihuahua (fuente: IMPLAN Chihuahua, 2007) .....	51
Lámina 3.7. Crecimiento histórico de la población en la ciudad de Chihuahua (fuente INEGI, 2005).....	52
Lámina 3.8. Crecimiento futuro de la población en la ciudad de Chihuahua. ....	58
Lámina 3.9. Gasto medio diario y gasto máximo diario contra el gasto concesionado por CNA a la JMÁS.....	66
Lámina 4.1. Localización de la presa Chihuahua, fuente superficial de agua a la ciudad de Chihuahua.....	73
Lámina 4.2. Esquema para realizar el balance de un acuífero .....	74
Lámina 4.3. Acuíferos que abastecen a la ciudad de Chihuahua. ....	79
Lámina 4.4. Localización de las principales baterías de pozos en Chihuahua.....	83
Lámina 4.5. Zonas de veda de los tres acuíferos que abastecen a la ciudad de Chihuahua.....	83
Lámina 4.6. Líneas de conducción en la ciudad de Chihuahua .....	84
Lámina 4.7. Pozos, rebombeos y Tanques de la conducción Puerta de Chihuahua.....	86
Lámina 4.8. Derivaciones de agua a la red de la conducción Puerta de Chihuahua .....	87
Lámina 4.9. Pozos, Tanques y rebombeos de la conducción de Ojos de Chuviscar.....	88
Lámina 4.10. Derivaciones de agua a la red y puntos de medición de caudal en la conducción Ojos de Chuviscar .....	89
Lámina 4.11. Tanques y rebombeos alimentados de la conducción Ojos de Chuviscar.....	90
Lámina 4.12. Baterías de pozos: Pozos Estación Terrazas y El Sáuz Etapas I y II. ....	93
Lámina 4.13. Batería de pozos Riberas del Sacramento, Sacramento Norte, Arroyos y pozo profundo Impulso .....	93
Lámina 4.14. Tanques y Rebombeos alimentados por el Acueducto El Sáuz .....	94
Lámina 4.15. Baterías de Pozos de la conducción Tabalaopa Aldama.....	95
Lámina 4.16. Tanque y rebombeos alimentados de la conducción Tabalaopa Aldama .....	96
Lámina 4.17. Batería de Pozos de la Conducción Aldama Nombre de Dios.....	97
Lámina 4.18. Tanques y rebombeos que alimenta la conducción Aldama Nombre de Dios.....	98
Lámina 4.19. Pozos, tanques y derivaciones de la conducción Panamericana .....	99
Lámina 4.20. Conducción Sacramento Norte .....	100
Lámina 4.21. Batería de pozos de la conducción Sacramento Norte.....	101
Lámina 4.22. Conducción Sacramento Viejo.....	102
Lámina 4.23. Tanques Superficiales y elevados .....	104
Lámina 4.24. Diagrama de un cárcamo de bombeo típico de la ciudad de Chihuahua .....	107



Lámina 4.25. Localización de los rebombes en la ciudad de Chihuahua.....	109
Lámina 4.26. Zonas de operación de la red de distribución en Chihuahua.....	111
Lámina 4.27. Zonas de influencia de los tanques y pozos .....	113
Lámina 4.28. Zona de influencia del Tanque Colina .....	114
Lámina 4.29. Horarios de servicio de suministro de agua potable para cada colonia .....	114
Lámina 4.30. Localización de las válvulas reguladoras, sostenedoras y automáticas .....	119
Lámina 5.1. Colonias con macromedidor instalado en la entrada de la red de distribución.....	124
Lámina 5.2. Usuarios con servicio medido y cuota fija.....	125
Lámina 5.3. Zonas con alta incidencia de fugas en la red de distribución, clasificación por número de registros clave A1 del CIS.....	128
Lámina 5.4. Zonas con alta incidencia de fugas en tomas domiciliarias, clasificación por número de registros clave A3 del CIS .....	128
Lámina 5.5. Fugas en tuberías al año por km de red.....	130
Lámina 6.1. Localización de los medidores domiciliarios a verificar en campo .....	132
Lámina 6.2. Curva de característica de los medidores domiciliarios.....	133
Lámina 6.3. Unidad volumétrica.....	134
Lámina 6.4. Esquema del dispositivo para establecer los gastos de la prueba .....	135
Lámina 6.5. Formato de campo para el registro de información de las pruebas de exactitud .....	136
Lámina 6.6. Análisis de frecuencia de los errores de sobre medición .....	143
Lámina 6.7. Análisis de frecuencia de los errores de sub medición .....	144
Lámina 6.8. Variación del gasto en la línea de conducción de los pozos 1 y 2 de Puertas de Chihuahua (sitio de medición 1) .....	147
Lámina 6.9. Variación del gasto en la línea de conducción Puertas de Chihuahua pozos del 3 al 6 (sitio de medición 2).....	148
Lámina 6.10. Variación del gasto en la conducción Puerta de Chihuahua (medición de 24 horas, sitio de medición 3).....	148
Lámina 6.11. Variación del gasto en la conducción Puertas de Chihuahua a la llegada al tanque Cerro Grande (sitio de medición 4).....	151
Lámina 6.12. Variación del gasto que entra al tanque cerro grande (sitio de medición 5).....	152
Lámina 6.13. Variación del gasto en la derivación de 10 pulgadas de diámetro de la conducción Puertas de Chihuahua localizada en la calle Hidalgo (sitio de medición 6) .....	152
Lámina 6.14. Variación del gasto en la derivación de 8 pulgadas de la conducción Puertas de Chihuahua, conocida como las Garzas, localizada en la colonia Díaz Ordaz (sitio de medición 7) .....	153
Lámina 6.15. Variación del gasto en la derivación de 8 pulgadas de diámetro de la conducción Puertas de Chihuahua conocido como Los Corrales (sitio de medición 8).....	153
Lámina 6.16. Variación del gasto a la llegada al Tanque A de la Conducción Puertas de Chihuahua (sitio de medición 9) .....	154
Lámina 6.17. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar (medición de 24 horas), en el punto en donde se incorporan los 4 pozos profundos (sitio de medición 1) .....	155
Lámina 6.18. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar sobre el puente Colgante (sitio de medición 2).....	158
Lámina 6.19. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar a la altura de los Corrales (a un lado de las caballerizas, sitio de medición 3).....	158



Lámina 6.20. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar en el entronque a la presa (Sitio de medición 4).....	159
Lámina 6.21. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar en Zootecnia (sitio de medición 5).....	159
Lámina 6.22. Variación del gasto en el rebombeo El Sáuz, en la conducción El Sáuz (sitio de medición 1).....	165
Lámina 6.23. Variación del gasto en la conducción El Sáuz en el parque industrial Impulso (sitio de medición 2).....	165
Lámina 6.24. Variación del gasto en la conducción El Sáuz en Cumbres Universidad (sitio de medición 3).....	166
Lámina 6.25. Variación del gasto en la salida de 24 pulgadas del tanque Loma Larga hacia la colonia Paseos de Chihuahua (sitio de medición 5).....	166
Lámina 6.26. Variación del gasto en la salida de 18 pulgadas del tanque Loma Larga hacia la colonia Campo Bello (sitio de medición 6).....	167
Lámina 6.27. Variación del gasto en la conducción El Sáuz después del tanque Colina (sitio de medición 7).....	167
Lámina 6.28. Variación del gasto en la conducción El Sáuz a la altura del Westin Soberano (sitio de medición 8).....	168
Lámina 6.29. Variación del gasto en el paso a desnivel localizado en la calle Fco. Villa, sobre la conducción El Sáuz, la medición fue de 24 horas (sitio de medición 9).....	168
Lámina 6.30. Variación del gasto a la llegada del tanque Lomas Rejón (sitio de medición 10).....	169
Lámina 6.31. Variación del gasto en la conducción El Sáuz, en el Puente Campesina (sitio de medición 11).....	169
Lámina 6.32. Variación del gasto en la llegada al Tanque A, con la derivación hacia los Ojos de Chuviscar Cerrada (sitio de medición 12).....	170
Lámina 6.33. Variación del gasto en la llegada al Tanque A, con la derivación hacia los Ojos de Chuviscar abierta (sitio de medición 12).....	170
Lámina 6.34. Variación del Caudal en la línea principal de la Conducción Tabalaopa Aldama arriba del pozo cuatro (sitio de medición 1).....	174
Lámina 6.35. Variación del gasto en la línea de 8 pulgadas de diámetro de la incorporación de los pozos Siaz, Laguna 1, y paseos de Concordia que se conecta a la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 2).....	174
Lámina 6.36. Variación del gasto en la derivación a Praderas León de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 3).....	175
Lámina 6.37. Variación del gasto en la conducción Tabalaopa Aldama a la altura de la Calle Esperanza (sitio de medición 4).....	175
Lámina 6.38. Variación del gasto a la llegada del Rebombeo X1, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 5).....	176
Lámina 6.39. Variación del gasto en la Bomba 1 del Rebombeo X1, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 6).....	176
Lámina 6.40. Variación del gasto en la bomba 2 del Rebombeo X1, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 7).....	177
Lámina 6.41. Variación del gasto en la bomba 3 del rebombeo X1, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 8).....	177



Lámina 6.42. Variación del gasto en la Bomba 1 del Rebombeo X2, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 9) .....	178
Lámina 6.43. Variación del gasto en la Bomba 2 del rebombeo X2, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 10) .....	178
Lámina 6.44. Variación del gasto en la Bomba 3 del rebombeo X2, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 11) .....	179
Lámina 6.45. Variación del gasto a la llegada del Tanque Santa Rita, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 12) .....	179
Lámina 6.46. Variación del gasto a la salida del tanque Santa Rita, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 13) .....	180
Lámina 6.47. Variación del gasto a la salida del tanque Nombre de Dios, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 1).....	182
Lámina 6.48. Variación del gasto en la conducción Aldama Nombre de Dios a la altura del puente Ferrocarril, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 2).....	183
Lámina 6.49. Variación del gasto la conducción Aldama Nombre de Dios en Insurgentes y Calle Paracaidistas, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 3).....	183
Lámina 6.50. Variación del gasto a la llegada del Tanque 4, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 4) .....	184
Lámina 6.51. Variación del gasto en la Bomba 1 del rebombeo del Tanque 4, adentro de la estación de bombeo, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 5).....	184
Lámina 6.52. Variación del gasto en la Bomba 2 del rebombeo del Tanque 4, adentro de la estación de bombeo, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 6).....	185
Lámina 6.53. Variación del gasto en la Bomba 3 del rebombeo del Tanque 4, adentro de la estación de bombeo, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 7).....	185
Lámina 6.54. Variación del gasto en la Bomba 4 del rebombeo del Tanque 4, adentro de la estación de bombeo, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 8).....	186
Lámina 6.55. Variación del gasto en la llegada del tanque Coronel, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 9) .....	186
Lámina 6.56. Variación del gasto Av. Cantera en la unión de los pozos panamericana 4, 5 y 7 en la conducción Panamericana (medición de 24 horas, sitio de medición 1).....	188
Lámina 6.57. Variación del gasto a la llegada del tanque Panamericana en la conducción Panamericana. Sitio de medición 2).....	188
Lámina 6.58. variación del gasto en la Calle Miguel Sigala y Periférico en caudal en la conducción Sacramento Norte (24 horas, sitio de medición 1).....	191
Lámina 6.59. Variación del gasto en Lexmark 1, conducción Sacramento Norte (sitio de medición 2).....	191
Lámina 6.60. Variación del gasto en Lexmark 2, Conducción Sacramento Norte (sitio de medición 3).....	192
Lámina 6.61. Puntos de medición en la conducción Sacramentos Viejos .....	193
Lámina 6.62. Variación del gasto en la conducción Sacramentos Viejo (sitio de medición 1)...	193
Lámina 6.63. Medición de la carga total de descarga en una bomba vertical tipo turbina, NOM-001-ENER-2000.....	197
Lámina 6.64. Variación del gasto en el pozo Arroyos 4. punto uno del cálculo de eficiencia electromecánica.....	200



Lámina 6.65. Variación del gasto en el pozo Sacramentos 3, punto 2 del cálculo de eficiencia electromecánica.....	201
Lámina 6.66. Variación del gasto en el pozo Villa Dorada 1, punto 3 del cálculo de eficiencia electromecánica.....	201
Lámina 6.67. Variación del gasto en el pozo Tabalaopa Aldama 9, punto 4 del cálculo de eficiencia electromecánica .....	202
Lámina 6.68. Variación del gasto en el pozo Robinson II, punto 5 del cálculo de eficiencia electromecánica.....	202
Lámina 6.69. Variación del gasto en el pozo Aeropuerto III, punto 6 del cálculo de eficiencia electromecánica.....	203
Lámina 6.70. Variación del gasto en el pozo Sáuz no 12, punto 7 del cálculo de eficiencia electromecánica.....	203
Lámina 6.71. Variación del gasto en el pozo Sáuz no. 24, punto 8 del cálculo de eficiencia electromecánica.....	204
Lámina 6.72. Variación del gasto en el pozo Puerta de Chihuahua 4, punto 9 del cálculo de eficiencia electromecánica .....	204
Lámina 6.73. Variación del gasto en el pozo Nombre de Dios no. 7, punto 10 del cálculo de eficiencia electromecánica .....	205
Lámina 6.74. Variación del gasto en el Rebombeco Coronel, punto 11 del cálculo de eficiencia electromecánica.....	205
Lámina 6.75. Variación del gasto en el rebombeco El Sáuz, punto 12 del cálculo de eficiencia electromecánica.....	206
Lámina 6.76. Puntos donde se registró la presión.....	218
Lámina 6.77. Registrador de presión instalado en toma domiciliaria.....	219
Lámina 6.78. Isolíneas de presión en metros columna de agua, de la 1:00 am a las 5:00 am .....	220
Lámina 6.79. Isolíneas de presión en metros columna de agua, de la 5:00 am a las 10:00 am ..	221
Lámina 6.80. Isolíneas de presión en metros columna de agua, de las 10:00 am a las 16:00 horas .....	222
Lámina 6.81. Isolíneas de presión en metros columna de agua, de 16:00 a 20:00 horas.....	223
Lámina 6.82. Isolíneas de presión de las 20:00 a las 24:00 horas.....	224
Lámina 6.83. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro las 24 horas .....	227
Lámina 6.84. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro las 24 horas .....	227
Lámina 6.85. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro las 24 horas .....	228
Lámina 6.86. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro con horario de 5:00 a 20:00 horas .....	228
Lámina 6.87. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro con horario de 5:00 a 10:00 horas y de 16:00 a 20:00 horas .....	229
Lámina 6.88. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro con horario de 5:00 a 10:00 horas y de 16:00 a 20:00 horas .....	229
Lámina 6.89. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro con horario de 5:00 a 10:00 horas y de 16:00 a 20:00 horas .....	230



Lámina 6.90. Localización de las válvulas reductoras de presión y válvulas de seccionamiento 232  
Lámina 6.91. Subzonas de influencia que se pueden implementar como Distritos Hidrométricos  
.....233



## **DIAGNÓSTICO, MODELACIÓN Y PLANIFICACIÓN DE SECTORES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE CHIHUAHUA, CHIHUAHUA (PARTE 1. DIAGNÓSTICO)**

### **1. RESUMEN EJECUTIVO (PARTE 1. DIAGNÓSTICO)**

El informe del proyecto “Diagnóstico, modelación y planificación de sectores en la red de distribución de agua potable de Chihuahua, Chihuahua”, se dividió en dos partes: la primera de ellas muestra el diagnóstico del sistema (Parte 1); y la segunda se incluye la modelación y planificación de sectores de la red de distribución (Parte 2). A continuación se presenta el resumen ejecutivo del diagnóstico del sistema de distribución de la ciudad de Chihuahua (Parte 1). El resumen ejecutivo de la Parte 2 se presentará en su informe respectivo.

Tanto las Juntas Central y Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMAS y JCAS), Así como la Comisión Nacional del Agua, han llevado a cabo múltiples estudios con la finalidad de mejorar el suministro de agua potable a la ciudad. En total se encontraron 15 estudios de los cuales 14 están enfocados a incrementar el suministro de agua a la ciudad, sólo uno de ellos se realizó para conocer la distribución de pérdidas de agua potable (realizado por Anahuac Ingenieros en el año de 1992).

Esta claro que para la JMAS y la JCAS incrementar el suministro de agua a la ciudad es primordial, esto debido al acelerado crecimiento de la población. Pero también comienzan a enfocar sus esfuerzos a mejorar la distribución del agua dentro de la ciudad, este es uno de los objetivos principales del presente estudio, por ello los resultados del proyecto se dividen en dos partes, la primera que es el Diagnóstico: en el que se identifican las fortalezas y debilidades dentro del sistema; y el segundo que consiste en la modelación y planificación de sectores, lo que permitirá ordenar la distribución de agua a la red para facilitar: el suministro de agua a cada zona de influencia de los tanques y pozos, la identificación de perdidas de agua potable, la localización de usuarios clandestinos, calcular las eficiencias física, comercial y global del sistema por zonas de influencia y con esto detectar aquellas zonas en las que es necesario mejorar las eficiencias. Con el ordenamiento de la red de distribución, también se facilita la aplicación de recursos económicos para el mejoramiento de la infraestructura hidráulica.

Actualmente la cobertura de agua potable es del 93.84%, La JMAS realiza esfuerzos para mantener y mejorar este porcentaje, desde el año de 1968 se comenzó a ampliar la infraestructura hidráulica con la incorporación de nuevas conducciones de agua, es en este año en que se ponen en marcha la batería de pozos y la conducción de Ojos de Chuviscar y Panamericana. En 1977 se pone en funcionamiento la conducción de Sacramentos Viejos. En 1980 entran en marcha las conducciones de Sacramento Norte y Tabalaopa Aldama. En 1985, se instalan la conducción de Tabalaopa Nombre de Dios, en el año de 1896 la conducción de El Sáuz Etapa I y diez años después, en 1996 la Conducción El Sáuz Etapa II y por último en el año 2004 se incorpora la batería de pozos y conducción Puerta de Chihuahua.



La incorporación de todas estas conducciones de agua son necesarias ya que la ciudad de Chihuahua experimenta un crecimiento acelerado de su población, con un promedio del 3.14 %, así como su mancha urbana que tiene un crecimiento histórico de 3.78 % en su superficie. Esto obliga a la JMAS a invertir recursos económicos en incrementar su capacidad de suministro de agua.

Tomando como referencia la oferta actual y concesionada que presenta la JMAS (4766 l/s), la demanda en invierno es posible cubrirla hasta el año 2020, sin embargo debido al incremento del consumo en verano por parte de los usuarios, la demanda sólo será posible satisfacerla en esta época del año hasta el 2013, siempre y cuando que se pueda ejercer la totalidad del caudal concesionado, por tal motivo, a partir de ese año será necesaria la alternativa de nuevas fuentes de abastecimiento.

Aunque es importante mencionar que actualmente la JMAS tiene capacidad para extraer un caudal máximo de 4027 litros por segundo, caudal muy similar al gasto máximo diario demandado en el año 2007 de 4050 l/s, por lo que la demanda de verano no es posible satisfacerla en la actualidad, esto se refleja en los horarios de servicio tandeado que tiene la JMAS en algunos sectores de la ciudad.

La limitante de igualar el gasto ofertado al concesionado consiste en la dificultad de explotación/exploración de las fuentes subterráneas de los acuíferos de los que actualmente se abastece la ciudad, ya que aunque aún se tiene la posibilidad de incrementar el caudal de extracción éstos presentan problemas tanto de calidad como capacidad lo que dificulta encontrar los caudales óptimos de explotación, por lo que es necesario estudios integrales en este rubro.

En cuanto a la fuente de abasto de agua superficial, ésta es irregular (no permanente) y por lo tanto no es segura para el sustento del suministro de agua potable. La presa Chihuahua es la única que suministra agua potable de la Ciudad, aportando un volumen de los meses de mayo a julio de 374,100 m<sup>3</sup> que representa un 0.46% del volumen suministrado a la ciudad desde los meses de enero a diciembre del 2007; Es importante señalar que la JMAS cuenta con derechos de extracción de agua superficial que no puede ejercer por que la presa no alcanza a almacenarlos debido a la variabilidad de los caudales escurridos en su cuenca.

En cuanto a definición de disponibilidad de concesiones o derechos de extracción de aguas subterráneas realizada por CNA, conforme a la metodología indicada en la "NOM-011-CNA-2000," se tienen tres cuencas geohidrológicas:

- Acuífero Chihuahua-Sacramento (ACHS).- La disponibilidad se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPDA, de esta forma la disponibilidad es de 47'756,890 m<sup>3</sup>/año. Se recomienda que las nuevas concesiones se realicen fuera del área de abatimientos y concentración de pozos actuales.



- Acuífero Tabalaopa-Aldama (ATA).- Las cifras estimadas por CNA, indican que existe volumen disponible de 22'992,746 m<sup>3</sup>/año para nuevas concesiones, cuidando desde luego no concentrar las nuevas extracciones en zonas con alta densidad de aprovechamientos actuales.
- Acuífero Saúz-Encinillas (ASES).-Según los cálculos de CNA, existen volúmenes disponibles de 48'250,846 m<sup>3</sup>/año, para nuevas concesiones, aunque debe cuidarse el otorgamiento en sitios donde existen abatimientos del nivel del agua.

Cabe hacer mención que aun existiendo disponibilidad para obtener nuevos derechos de extracción en los tres acuíferos, éstos al final están regidos por las declaratorias de veda en los tres acuíferos que datan para: ACHS 1952, ATA 1953 y ASE 1978; siendo esta limitante para emplazar nuevos pozos, concretándose a la autorización de redistribución de volúmenes de los derechos ya otorgados, sustitución de pozos y compra derechos a otros usuarios que ya cuenten con ellos.

En cuanto a la red de distribución de acuerdo a los reportes estadísticos de fugas entregados por el CIS, el 62.32 % de la red de agua potable esta en buen estado. El 23.24 % requiere de un programa de detección y reparación de fugas y el 14.43% de la red debe ser rehabilitado. Cabe señalar que en casi el 40% de la longitud de la red es necesario un análisis a detalle para jerarquizar la reposición de tramos de tuberías. También es visible que este problema se concentra en la parte centro-sur de la Ciudad, considerando que ahí es donde se tienen las líneas con mayor vida útil y por ende las tuberías más viejas donde se tiene mayor incertidumbre en el catastro.

De las campañas de medición realizadas en campo, la verificación de exactitud de medidores domiciliarios en total se verificó una muestra de 416 medidores de la cual se desprende lo siguiente:

- Los medidores Azteca (51 medidores de los 416 verificados), sólo el 35.29 % de ellos midió dentro del rango de  $\pm 2.0$  % de error, el 49.02 % submidió el volumen con un error promedio de -12.73% y el 15.69% sobremidió el volumen con un error promedio de 2.48 por ciento. Esto se debe a que la mayoría de los medidores Azteca verificados en campo (56.9%) tienen más de 10 años de haberse instalados.
- En cambio los medidores Arad (se verificaron 123 de los 416 medidores), 62.60 % de la muestra cayó dentro del rango de medición correcto de  $\pm 2.0$  %, esto se debe a que la mayoría de los medidores (88.62%) se instaló después del año 2003.
- En cuanto a los medidores Invensys (se seleccionaron 23 de los 416 medidores), el 60.87 % de la muestra midió dentro del rango de  $\pm 2.0$  % de error, éstos medidores también se instalaron después del año 2002.
- De los medidores de marca Schulemberger (se verificaron 28 de los 416 micromedidores), el 57.14 % de los medidores está dentro del rango de error de medición, éstos a pesar de haberse instalado en los años de 1997 y 1998, se encuentran midiendo de manera correcta.



- En cuanto a los medidores Sensus (se seleccionaron 188 de los 416 medidores), el 56.97% de los medidores esta en el rango de error con el  $\pm 2.0$  %. Los micromedidores de esta marca se empezaron a instalar en el año del 2000 en adelante.
- De la marca Cicasa y Kent, la muestra de medidores verificados en campo es muy pequeña por lo que no es posible concluir su estado de funcionamiento.
- También hay que mencionar que la selección del punto de medición de micromedición, en varias ocasiones tuvo que ser reemplazado por el micromedidor aledaño, ya que el micromedidor o punto seleccionado no presentaba condiciones para su medición, algunos de los factores eran: que se encontraban aterrados o no funcionaban, o no había medidor. Por lo que se recomienda. una actualización de catastro de medidores, con la finalidad de identificar aquellos que se encuentran dañados y sustituirlos.

En cuanto a la medición de caudales en las conducciones. En Puerta de Chihuahua, el caudal registrado con el equipo ultrasónico fue de 416.39 l/s y el gasto registrado en los macromedidores de cada uno de los seis pozos que suministran agua esta conducción fue de 413.38 l/s, por lo que se observa que los macromedidores instalados tienen un buen funcionamiento.

En la conducción Ojos de Chiviscar, el gasto medido con el equipo ultrasónico fue de 209.54 l/s y el registrado en los macromedidores fue de 203.9 l/s, una diferencia de 5.64 l/s que representa un error del 2.76 por ciento, un error pequeño por lo que se considera que los macromedidores instalados tienen un buen funcionamiento.

En la conducción EL Sáuz, no fue posible verificar los macromedidores en las baterías de pozos, ya que no se realizó una medición de caudal en el punto donde confluyen los gastos de los pozos. Aunque se tiene una medición de caudales de los puntos de entrega a la red y llegada a tanques.

En las conducciones Tabalaopa Aldama, Aldama Nombre de Dios, dado la selección de muestra de macromedidores instalados en pozos, no se verificó la exactitud de los macromedidores.

Para la medición de caudales en la conducción Panamericana, el gasto promedio fue de 151.00 l/s registrado en el equipo ultrasónico. Este gasto resulta ser mayor que el registrado en los macromedidores de los pozos Panamericana 4, 5 y 7, que son los suministran agua a esta conducción, el caudal de los macromedidores es de 127.47 litros por segundo por lo que se recomienda verificar estos macromedidores.

Para la conducción Sacramentos Norte, se encontraron diferencias entre el caudal registrado en los macromedidores de los pozos Sacramento Norte 1 a 4 igual a 108.39 l/s y el caudal registrado con el ultrasónico de 129.93 l/s. El caudal registrado en los macromedidores de los pozos Sacramento Norte 5 a 7 fue de 104.65 l/s y el registrado con el ultrasónico fue de 141.08 l/s, por lo que es recomendable verificar estos macromedidores.

Como punto importante a mencionar es que durante la campaña de medición de caudales en las conducciones, no se detectaron fugas de agua visibles en ninguna de las tuberías o cajas de válvulas.



En cuanto a las eficiencias electromecánicas en pozos y rebombes se tiene que las eficiencias electromecánicas calculadas en campo en los Pozos: Aeropuerto III, Sáuz 12, Rebomero Coronel y Rebomero El Sáuz, son menores a 55%, por lo que se recomienda su rehabilitación o sustitución. Se recomienda evaluar los demás macromedidores y equipos de los pozos con la misma metodología, ya que sólo se verificaron 12 equipos de bombeo en campo.

Además de la evaluación de los 12 equipos de bombeo en campo, también se llevó a cabo un análisis estadístico de las eficiencias globales de todos los equipos de bombeo de los pozos profundos que lleva a cabo mes con mes el Departamento de Suministro de la JMAS se desprende que: el 45 % (56 pozos) de los pozos presentan eficiencias menores del 55% por lo que se recomienda reparar o sustituir el conjunto bomba motor. De hecho la JMAS ya cuenta con un programa de sustitución de 28 equipos de bombeo mismos que se llevarán a cabo en el año 2008.

Los 69 pozos restantes presentan eficiencias globales mayores a las recomendadas por la Norma de la Secretaría de la Energía NOM-001-ENER-2000.

En cuanto al Factor de potencia, sólo se encontraron 4 pozos profundos de los 125 pozos activos con factores de potencia menor al 0.90, estos son: Paseos la Concordia, Sacramentos Norte 1, CTU Chichontepec, y Villa Dorada. Se recomienda instalar un banco de capacitores para corregir el Factor de Potencia por lo menos a 0.90.

De la medición de presiones en 400 puntos de la red de distribución, se distinguen tres horarios de tandeo de agua: el primero de las 0:00 a las 5:00 de la mañana y el segundo de las 10:00 a las 16:00 horas (El departamento de Red Hidráulica tiene identificadas en un plano las zonas con los horarios de servicio antes descrito), el segundo de 5:00 a 20:00 horas y el tercero se suministra las 24 horas.

Se distinguieron 16 zonas de influencia del primer horario de suministro de agua que presentan áreas con bajas presiones (menores a 5 mca) como: Tanque Colina, Tanque Cerro Grande, Tanque 1 y 4, Pozo Cima – Ferrocarriles y Convenciones, Pozo 7, Tanque Nombre de Dios, Pozo Concordia, Pozo Galera 1 y 2, Conducción Ojos de Chuvistar, Pozo Urueta, Tanque Loma Larga, Tanque A y Conducción El Sáuz, Tanque B, Tanque Santa Rita, Tanque Filtros y la parte norte de la zona de influencia del Tanque Saucito.

En las otras zonas de influencia restantes en que se tienen los otros dos horarios de suministro (de las 5:00 a las 20:00 horas y las 24:00 horas); en general se observa que en estas zonas de influencia de la ciudad no se tiene problemas por bajas presiones, sólo en las partes altas de las zonas de influencia del Pozo 7, Rebomero Paso del Norte, Rebomero Cerro Prieto, Pozo Concordia, Tanque A-Conducción El Sáuz y Tanque Esperanza, registran presiones menores a 5 metros columna de agua.

En cuanto a la actualización del catastro de la red, se revisaron, en gabinete, todas las zonas de influencia de tanques, pozos y rebombes, en el que se indicó, el estatus de las válvulas, los



límites de los sectores, la condición de operación de las válvulas reguladoras y los diámetros de las tuberías. La revisión en gabinete del catastro fue el 100% de la red de distribución.

Aunque la gente de Red Hidráulica de la JMAS, reconoce que existen zonas de la ciudad, como: el Tanque A, el Tanque B, Tanque Filtros, Rebombear y Tanque Coronel y Tanque 2 de Octubre, en donde se tiene incertidumbre de la información contenida en los planos, estas zonas representa el 8.3% de la longitud total de la red, por lo que se recomienda, realizar una actualización del catastro en dichas zonas complementadas con actividades de campo para corroborar o actualizar la información contenida en los planos.

Del balance de agua (auditoría de agua en el sistema), se tiene que del volumen total producido anualmente que es de 109,883,274 m<sup>3</sup>/año (100 % del volumen), se suministra a la red de distribución 108,534,945 m<sup>3</sup>/año (el 98.77%), el restante 1.23% se entrega se entrega a diferentes usuarios antes de llegar a la red por lo que no se contabiliza en el balance. Del volumen suministrado 48,213,710 m<sup>3</sup>/año (44.42%), lo consumen los usuarios que tienen medidores y cuyo volumen se registra mes a mes, 16,591,542 m<sup>3</sup>/año (15.29%) es el volumen de agua consumido por los usuarios de cuota fija; es decir el volumen consumido total es de 64,805,252 m<sup>3</sup>/año (59.71% del volumen suministrado). Se muestra un esquema del balance de agua a continuación.

La JMAS lleva a cabo reparación de fugas en tomas domiciliarias, red de distribución, cajas de válvulas, así como la detección de diversos usuarios clandestinos, este volumen de agua recuperado representa en pérdidas identificadas y eliminadas 1,908,690 m<sup>3</sup>/año.

Lo que al final quedan son las pérdidas potenciales en el sistema que son del orden de 41,821,003 m<sup>3</sup>/año; éstas se estima que se reparten de la siguiente manera: un volumen de 7,468,167 m<sup>3</sup>/año (6.88%) se pierden por fugas en tomas domiciliarias, 15,533,385 m<sup>3</sup>/año (14.31%) se pierde por fugas en la red de distribución y 18,819,451 m<sup>3</sup>/año (17.34%) se deben a pérdidas de agua no autorizada o subsidios (ver Tabla 1.1).

En cuanto a los indicadores de evaluación (para el año 2007) se tiene que para la ciudad de Chihuahua las:

Eficiencia Física = 61.47%

Eficiencia de Facturación = 98.9%

Eficiencia de Cobro = 83.6 %

Eficiencia Comercial = 82.7%

Eficiencia Global = 50.83%

Tomas que pagan su servicio a tiempo = 52.4 %

Dotación = 280 l/h/d

Consumo = 175 l/h/d

Índice de continuidad en el servicio = 16.6 horas/día o (69.16 %)

Costo de energía unitario por bombeo de agua, sin considerar los rebombears = 0.82 \$/m<sup>3</sup>

Costo de energía unitario por bombeo (incluye los rebombears) = 1.33 \$/m<sup>3</sup>



En una tabla comparativa que se incluye en el capítulo 8, se muestra que en general los indicadores de evaluación del sistema que presenta la JMÁS se encuentran por arriba de la media nacional.

**Tabla 1.1. Esquema del balance de agua para la ciudad de Chihuahua (año 2007).**

<b>Volumen producido</b> (m3/año) 109883274 100%	<b>Volumen suministrado</b> (m3/año) 108534945 98.77%	<b>Volumen Consumido</b> (m3/año) 64805252 59.71%	<b>Volumen Consumido medido (m3/año)</b> 48213710 44.42%
			<b>Volumen Consumido No medido Autorizado (m3/año)</b> 16591542 15.29%
		<b>Agua recuperada (m3/año)</b> 1908690 1.76%	<b>Perdidas identificadas y eliminadas (m3/año)</b> 1908690 1.76%
		<b>Pérdidas potenciales en el sistema (m3/año)</b> 41821003 38.53%	<b>Fugas en tomas (m3/año)</b> 7468167 6.88%
			<b>Fugas en la red (m3/año)</b> 15533385 14.31%
	<b>Perdidas por agua no autorizada o subsidios (m3/año)</b> 18819451 17.34%		
<b>Volumen entregado antes de la red de distribución (m3/año)</b> 1351564 1.23%			



## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 Antecedentes

La Junta Municipal de Agua y Saneamiento de la ciudad de Chihuahua (JMAS) se ha propuesto conocer la situación actual de servicio y el aprovechamiento de la infraestructura existente en agua potable, así como determinar estrategias de mejora en el servicio basado en tecnología de punta. Por tal motivo, 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 el proyecto de “Diagnóstico, 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.

Los principales elementos en que se basa el proyecto son: integración de la información existente, generación de datos complementarios con mediciones de campo, actualización de los planos del sistema de distribución, evaluación de las eficiencias electromecánicas de los equipos de bombeo y de la distribución de la red, aplicación de un balance de agua, y conformación de un modelo de simulación hidráulica de la red.

Como parte de la planeación de acciones para mejorar el funcionamiento hidráulico del sistema así como para recuperar y controlar pérdidas de agua, se lleva a cabo el diagnóstico y análisis de la red de distribución con ayuda del modelo de simulación hidráulica Infoworks WS, estudios de los gastos de suministro, distribución de presiones en la red lo que conlleva a un mejor servicio de agua potable de la población atendida por la JMAS.

En este **informe** se describen:

- Objetivos del proyecto,
- Metodología empleada
- Información recopilada en JMAS,
- Presentación de una reseña de la infraestructura con una descripción de los diversos componentes del sistema de agua potable.
- Programación de las campañas de medición de presiones, caudales y exactitud de medidores.
- Presentación de los alcances del estudio
- Evaluación mediante indicadores para mejorar la eficiencia operativa del sistema



## 2.2 Objetivos

Como parte de la planeación de 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, se implementa el análisis hidráulico de la red de distribución mediante el uso del programa Infoworks WS, que permite evaluar un número elevado de opciones o escenarios de simulación, y con ello definir mejores políticas de operación alcanzando una mayor eficiencia en la infraestructura.

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, para esto se implementan las siguientes fases dentro del sistema:

- Primera fase, Diagnóstico 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..

### 2.2.1 Objetivo general

Análisis del sistema de agua potable, en el cual se obtendrá lo siguiente:

- a. Diagnóstico de la situación actual del sistema
- b. Modelo de simulación de la red de distribución

### 2.2.2 Objetivos específicos

- a) Diagnóstico de la situación actual del sistema (teniendo como año base de análisis el 2007).
  - Actualizar el catastro de la red hidráulica de agua potable, mediante la revisión de la red de agua potable, zonas de influencia de tanques y rebombes, identificación de válvulas de: seccionamiento, reductoras de presión, on-off y; horarios de suministro de agua a la red.



- Evaluar el sistema con enfoque técnico-operativo, mediante la utilización de indicadores que evalúen la situación integral actual, como: las eficiencias, física, comercial y global y; la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo.
- Conocer el nivel de pérdidas de agua a través de la realización de balances volumétricos mediante el análisis de información recopilada y generada por las diversas áreas de la JMAS durante el año 2007.

b) El modelo de simulación

- 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.

## 2.3 Metodología

a.- Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable.

El diagnóstico permitirá contar con la información catastral, operacional y comercial del sistema de abastecimiento necesario para la realizar los balances volumétricos y la modelación de la red.

- Recopilar y analizar la información disponible, tales como planos y estudios existentes, datos de equipos de bombeo y rebombeo, pozos profundos, tanques y demás infraestructura del sistema, así como datos estadísticos de fugas y facturación, y curvas de nivel. Estos planos contendrán todos los elementos de la red (depósitos, tuberías con sus diámetros y materiales, válvulas, etcétera) y cualquier información adicional que sea de utilidad para el proyecto, como información de dotaciones de agua, históricos de consumos, grandes consumidores, caudales entradas, presiones que se dispongan en los distintos puntos de la ciudad e información del crecimiento histórico de la población y de la mancha urbana.
- Analizar el funcionamiento de elementos del sistema de agua potable, tales como: pozos, rebombes, conducciones, tanques de regularización, red de distribución, etcétera, esto con la finalidad de conocer las: zonas de influencia de los mismos, presiones mínimas y máximas en



la red, vaciado y llenado de tanques. Con este análisis se pretende incrementar las horas de servicio de agua.

- Actualizar el plano de la red de distribución con cotas, longitud de tubería, diámetros, todo esto en formato digital en el programa AutoCad.
- Identificar los puntos de suministro de agua a la red de distribución, así como medir tanto los caudales como las presiones en puntos de ingreso (potabilizadora, salida de tanques y rebombeos) con el fin de verificar y complementar los registros del gasto y volumen suministrados a la ciudad y que son medidos por la JMAS.
- Realizar un balance de agua entre el volumen de agua suministrado desde las captaciones (pozos, presa) y el volumen consumido por los usuarios del sistema de agua potable, de acuerdo con el esquema propuesto por el IMTA, en un período de estudio de un año (se toma como base el año del 2007) para determinar la eficiencia entre la producción y la entrega de agua.
- Estimar indicadores de gestión: energético, eficiencia física, dotación promedio por habitante, índice de continuidad en el servicio y eficiencias electromecánicas de equipos de bombeo para las condiciones actuales. Debido a los alcances de este proyecto el IMTA propone que la JMAS, en forma posterior y basado con los resultados del diagnóstico, evalúe los índices de: administración de demanda, índice de agotamiento de aprovechamientos subterráneos, dado que para estos índices se necesitan realizar acciones específicas adicionales a las contempladas, ya que no están contemplados en los objetivos del estudio.

#### b.- Construcción del modelo de simulación hidráulica de la red de distribución

Con la ayuda del modelo de la red de distribución, desarrollado en la plataforma de Infoworks WS y calibrado, 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, se realizará lo siguiente:

- Análisis del 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.



## 2.4 Recopilación y análisis de la información disponible

Para el diagnóstico del estado actual 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 analiza para conocer con mayor detalle el funcionamiento del sistema en su conjunto, además de las características particulares y puntos críticos del sistema.

Para iniciar las actividades del estudio 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 junio de 2007 en formato de autocad. El plano está en coordenadas arbitrarias.
- Modelo de elevación digital sin indicar fecha de actualización (*sin escala*).
- 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.
- Base de datos en formato Excel del Centro de Información y Servicio (CIS) de la JMAS, ésta contiene información estadística de fugas en redes, cajas de válvulas y tomas domiciliarias, además de reportes de bajas presiones o falta de agua en algunas colonias de la ciudad. Esta información se da por ubicación (red general, toma doméstica etcétera) hasta diciembre del 2007.
- Curvas de operación de 90 equipos de bombeo de los 133 equipos de bombeo.
- Plano digital en formato de Autocad de los Sectores de facturación comercial elaborada por el departamento de planeación e ingeniería y validado por la dirección comercial.
- Base de datos en formato Excel del padrón de usuarios del Sistema de Agua Potable por parte de la Dirección Comercial de la JMAS. Por tipo de usuario con servicio medido, cuota fija, para los meses de enero a diciembre del 2007.
- Base de datos en formato Excel del registro de reportes de fallas por parte de usuarios del Sistema de Agua Potable proporcionada por el CIS, en ésta se incluyen fugas en calle, fuga en medidor, fugas en toma, fuga en caja de válvulas, fuga en casa sola, falta de agua en el sector, falta de agua en el domicilio, baja presión y aire en la línea, toda esta información se proporcionó por colonia y domicilio.



- 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.

## 2.5 Estudios técnicos realizados con anterioridad en la ciudad de Chihuahua

En la ciudad de Chihuahua se han enfocado en los últimos años a dar respuesta a las necesidades de agua potable que demanda la población, a manera de muestra se enlistan de forma cronológica los principales proyectos llevados a acabo con la tarea de mejorar el abastecimiento de agua potable.

De la casi totalidad de estos estudios, la gran mayoría se han enfocado a explorar o prospectar la adición de volúmenes de agua (agua en bloque), con la finalidad de incrementar la oferta de agua potable; sólo en una ocasión se realizó un estudio, en el año de 1992 con la finalidad de evaluar la distribución y eficiencia del servicio de agua potable en la ciudad de Chihuahua, pero éste fue una muestra piloto.

- a. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua (1978); realizó el *“Estudio Geohidrológico del Valle de Chihuahua”*.

Objetivos.- definir el comportamiento del acuífero, cuantificar y las extracciones y determinar por medio de un balance las condiciones de explotación que prevalecían en la zona.

Aportación.- Desde entonces se señaló que el acuífero estaba sobre explotado, ya que la extracción era de 50.7 Mm<sup>3</sup>/año y las recargas de 44 Mm<sup>3</sup>/año.

- b. PROYESCO, S.A. (1981), bajo contrato de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Captaciones y Conducciones de Agua, Subdirección de Estudios, Planes y Programas;



realizó el estudio de **“Prospección Geofísica de los Valles del Saúz y Tabalaopa, Chih., para proporcionar agua en bloque a la ciudad de Chihuahua, Chih.”**.

Objetivos.-, cuantificar y las extracciones y determinar por medio de un balance las condiciones de explotación que prevalecían en las zonas con la finalidad de determinar volúmenes disponibles para la extracción.

Aportación.-Aunque se concluye que el acuífero Tabalaopa-Aldama esta sobreexplotado en forma local tiene disponibilidad para la extracción de volúmenes adicionales, contemplando la perforación de las dos baterías de pozos en este acuífero para la extracción de agua potable.

- c. Secretaría de Recursos Hidráulicos (1985); realizó el **“Estudio Geohidrológico en el Valle de El Saúz-Encinillas (VSE) “**.

Objetivos.-Definir la disponibilidad en el acuífero para la extracción de volúmenes de agua para el uso de agua potable

Aportación.-El volumen anual extraído en esa fecha fue de 97 Mm<sup>3</sup>, caudal explotado con 296 pozos activos. También define el espesor del material de relleno del valle, que podría ser mayor de 400 metros, posiblemente del orden de 600 metros El balance geohidrológico realizado en la zona de concentración del bombeo (zona sur del área de estudio), indica sobreexplotación del orden de 13 Mm<sup>3</sup>/año, que se traduce en un abatimiento medio anual de 1 m/año.

En éste se recomendó la perforación de 11 pozos en el ejido Ocampo para abastecimiento de la ciudad de Chihuahua, estimándose que el caudal suministrado era de 600 l/s (actualmente es la batería de pozos El Saúz etapa I).

- d. Técnicas Geológicas y Mineras S.A. de C.V. (1988), bajo contrato de la Secretaría de Recursos Hidráulicos; realizó el **“Estudio reactivación de redes de monitoreo de los acuíferos de los valles de Casas Grandes, Chih., El Saúz-Encinillas y Ascensión, Chih,”**.

Objetivos.-Definir la disponibilidad en el acuífero para la extracción de volúmenes de agua para el uso de agua potable y definir la evolución hidrodinámica en los acuíferos.

Aportación.-La extracción estimada que incluyó únicamente la zona central y norte del VSE fue de 43 Mm<sup>3</sup>/año, volumen explotado por medio de 173 aprovechamientos. El uso agrícola resultó el más importante (93% del volumen total). La profundidad al nivel del agua oscilaba alrededor de 70 m, en las estribaciones de las sierras, hasta cero metros en la zona de manantiales. El análisis de la evolución de la profundidad al nivel del agua en pozos (período 1985-1988), indica que se presentaron abatimientos y recuperaciones **“... ambos poco significativos...”**. Se recomendó extraer un caudal del orden de 1 600 l/s



adicionales en el acuífero para todos los usos, y como incremento al caudal de la Ciudad de Chihuahua en 850 l/s. mediante 24 pozos (dos baterías de 12 pozos c/u)

- e. ANAHUAC Ingenieros, Consultores y Supervisores, (1992); hizo el **“Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de agua potable de la Ciudad de Chihuahua”**.

Aportación.- Conocer el porcentaje de pérdidas de agua potable en la red de distribución y en tomas domiciliarias, así como el porcentaje de usuarios clandestinos en el sistema.

- f. Comisión Nacional del Agua, (1994), realizo el **“Estudio de alternativas técnico económicas para abastecer agua en bloque a la Ciudad de Chihuahua”**.

Objetivos.- Se estableció los parámetros técnicos financieros de diferentes propuestas para adicionar volúmenes para agua potable a la Ciudad de Chihuahua.

Aportación.- Se analizaron propuestas de extracción de fuentes superficiales y subterráneas, tomando en cuenta la infraestructura existente en agua superficial (Luis I. León, Vírgenes) y la posibilidad de la construcción de otras, en agua subterránea no contemplo la determinación de disponibilidad de volúmenes en los acuíferos, solo la construcción de los pozos y su conducción. Se determino que las mejores alternativas eran las de fuente subterránea.

- g. Ingeniería de Evaluación y Prospección, S.A, (1996). bajo contrato de la Comisión Nacional del Agua, realizo **“el Estudio de simulación hidrodinámica del acuífero El Saúz-Encinillas, Chihuahua”**.

Objetivo.- abordar la simulación hidrodinámica, actualizar la información que permite tener un mejor conocimiento de la zona. Menciona la existencia de varios trabajos ejecutados en el área de estudio, de índole geológica debido a que en porción oriental del valle, sierra Peña Blanca, existen yacimientos de óxidos de uranio.

Aportación.-Se determino las direcciones preferentes del flujo del agua subterránea y realizo el balance y definición de diferentes zonas de características geohidrológicas.

- h. PROMMA, Programa de Modernización y Manejo del Agua (1996), Comisión Nacional del Agua, en los Estados de Sonora y Chihuahua; reactivó el estudio de **“Actualización de mediciones piezométricas de los acuíferos”**.

Objetivo.- evaluar las condiciones de los niveles estáticos en los diferentes acuíferos y determinar sus condiciones de explotación.

Aportación.-Se elaboraron planos de elevación, evolución de los niveles estáticos de los acuíferos mediante la medición física de los niveles en los pozos considerados como pilotos para el monitoreo.



- i. Técnicas Geológicas y Mineras S.A. de C.V., (1997), bajo contrato de la Comisión Nacional del Agua, ***“la Actualización de la piezometría en el Acuífero de Chihuahua-Sacramento”***.

Objetivo.- conocer la posición de la superficie piezométrica así como definir la evolución piezométrica en un lapso grande de tiempo para la zona de estudio.

Aportación.-Se elaboraron planos de configuración de curvas de igual elevación de nivel estático y configuración de evolución piezométrica del periodo de 1996-1997 dando como resultado esta última un abatimiento general del acuífero de 5 metros.

- j. Comisión Nacional del Agua, (1998); hizo el estudio de ***“Reactivación de redes de monitoreo de los acuíferos del valle El Saúz-Encinillas y Ascensión, Chi.”***.

Objetivo.-En este estudio se actualizó la información del acuífero relacionada con niveles de agua subterránea, estableciendo la red piezométrica con 36 pozos piloto de y 7 pozos piezométricos.

Aportación.- Se elaboraron planos de elevación, evolución de los niveles estáticos de los acuíferos mediante la medición física de los niveles en los pozos considerados como pilotos para el monitoreo.

- k. Instituto de Recursos Naturales Especialidad de Hidrociencias-Colegio de Postgraduados, (2000) bajo contrato de Comisión Nacional del Agua; hizo ***“Determinación de la Disponibilidad de agua en el acuífero el Saúz-Encinillas, Estado de Chihuahua”***

Aportación.- Se elaboraron planos de elevación, evolución de los niveles estáticos del acuífero y se determinó el balance físico y su disponibilidad por el REPGA, determinando que se encuentra sobreexplotado y que existe disponibilidad.

- l. Instituto de Recursos Naturales Especialidad de Hidrociencias-Colegio de Postgraduados (2000), bajo contrato de Comisión Nacional del Agua; llevo a cabo el estudio ***“Determinación de la Disponibilidad de agua en el acuífero Tabalaopa-Aldama, Estado de Chihuahua”***.

Aportación.- Se elaboraron planos de elevación, evolución de los niveles estáticos del acuífero y se determinó el balance físico y su disponibilidad por el REPGA, se concluyó que se encuentra sobreexplotado y que existe disponibilidad

- m. Instituto de Recursos Naturales Especialidad de Hidrociencias-Colegio de Postgraduados (2000), bajo contrato de Comisión Nacional del Agua; hizo ***“Determinación de la Disponibilidad de agua en el acuífero Chihuahua-Sacramento, Estado de Chihuahua”***.



Aportación.- Se elaboraron planos de elevación, evolución de los niveles estáticos del acuífero y se determinó el balance físico y su disponibilidad por el REFDA, determinando que se encuentra sobreexplotado y que existe disponibilidad

- n. Consultores y Constructores del Norte, (2000), bajo contrato de la Comisión Nacional del Agua, realizó el “**Monitoreo piezométrico de los acuíferos Chihuahua-Sacramento y Tabalaopa-Aldama**”.

Objetivo.- Elaborar los hidrografos y planos de evolución de los niveles estáticos de los acuíferos mediante la medición de los niveles en los pozos piloto.

Aportación.-La sobreexplotación y el gradiente de desarrollo urbano que tiene la ciudad de Chihuahua ha ocasionado que el cono de abatimiento detectado en el estudio de 1997 continúe presentándose al sur de la ciudad, La evolución del acuífero para el período de 1997 a 2005 (8 años) indica valores de abatimiento de los -20 a los -10 m, lo cual indica un movimiento de 2.5 metros por año.

- o. Ariel Consultores S.A. (2001), al amparo del contrato de la Comisión Nacional del Agua, llevo a cabo el proyecto “**Modelo de simulación hidrodinámica del acuífero de Chihuahua-Sacramento**”.

Objetivo.- Construcción del modelo conceptual del funcionamiento hidráulico del acuífero mediante la herramienta del software VISUALMODFLOW para el acuífero Chihuahua-Sacramento.

Aportación.-Desde el punto de vista temporal el modelo considera un período de 10 años, de 1983 a 1993. Una vez alimentado con los parámetros hidráulicos asociados a las unidades geológicas por capas, definidas las condiciones iniciales y de frontera, se calibró hasta lograr reproducir el funcionamiento histórico registrado. El análisis sensitivo a que fue sometido, mostró que el modelo es sensible ante cambios de la conductividad hidráulica, y en menor proporción a la recarga y al coeficiente de almacenamiento.

Como se puede observar, el presente estudio, se enfoca más a la mejora en la distribución del agua potable, mediante la sectorización de la red, en lugar de incrementar la oferta de agua a la ciudad. Esto se logra mediante el ordenamiento en pequeños distritos de la red de distribución, lo que facilita: la detección de fugas físicas, disminución de usuarios clandestinos, mejora de las eficiencias física, económica y global del sistema y detección de fugas en la red de distribución de forma más eficiente y puntual.

## 2.6 Visitas y recorridos de campo

Con el fin de recopilar la información necesaria para el proyecto tanto para el diagnóstico como para construir el modelo de simulación, se realizaron varias visitas a las oficinas de la JMAS para entrevistar al personal de la Dirección Técnica. Entre la información que se recopiló están:



los planos de la red de distribución y de la infraestructura hidráulica (localización de tanques, pozos, rebombes, etcétera) fueron facilitados por la oficina de Fotogrametría del departamento de planeación e ingeniería y por la Coordinación de Operación, mediante el Departamento de Suministro y el Departamento de Red Hidráulica, que explicaron a detalle el funcionamiento actual del sistema de distribución, tanto de los tanques de regularización, como de los horarios de servicio a los distintos sectores de la ciudad (Tandeos), proporcionando además información de los procedimientos de distribución y dotación de agua a la Ciudad. Una vez recopilada la información en la JMAS, se realizaron diversos recorridos de campo, con el objetivo de identificar las estructuras principales del sistema de agua potable, observar su funcionamiento hidráulico y detallar las zonas de operación de la red de distribución. Las visitas fueron efectuadas en compañía del personal de la JMAS.

## **2.7 Recomendaciones**

Se encontró que no existe compatibilidad en las coordenadas de referencia entre los planos digitales en AutoCad que utiliza la JMAS en sus actividades cotidianas (catastro de redes, estudios de factibilidad, políticas de operación) con los planos digitales de otras dependencias como son: Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI) o el Instituto Municipal de Planeación de Chihuahua (IMPLAN), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), entre otras; esto dificulta complementar información generada por dichas dependencias, lo que permitiría mejorar, comparar o actualizar planos con nueva planimetría, topografía a mayor detalle, nuevos fraccionamientos a incorporarse a la ciudad, etcétera. Se recomienda a la JMAS cambiar de coordenadas arbitrarias a coordenadas UTM en todos sus planos lo anterior, con la finalidad de alcanzar una mayor compatibilidad de información proveniente de otras dependencias, así como del sistema de coordenadas implementado en los equipos digitales de medición existentes en el mercado.



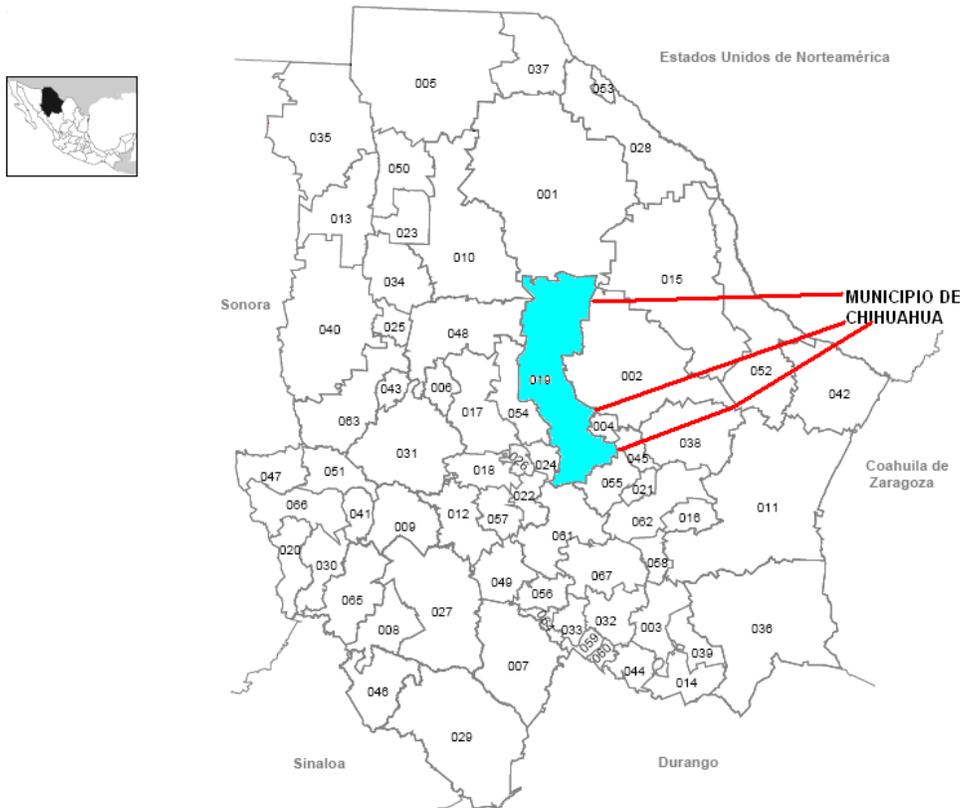
### 3. INFORMACIÓN BÁSICA

La Ciudad de Chihuahua, cabecera del municipio del mismo nombre y capital del Estado, se ubica en las regiones áridas del país en la latitud norte 28° 38' y en la longitud oeste 106° 04' (Lámina 3.1 y Lámina 3.2) en la porción central del Estado, colinda con 9 municipios: al Norte con Buenaventura y Ahumada; al este con Aldama, Aquiles Serdán y Rosales; al sur con Rosales, Satevó y Belisario Domínguez; y al oeste con Riva Palacio, Namiquipa y Santa Isabel.

La extensión territorial de la ciudad de Chihuahua ocupa un área urbana de 19,024.07 has; desarrollándose en una topografía irregular entre los 1,300 y 1,600 metros sobre el nivel medio del mar.



Lámina 3.1. Localización del Estado de Chihuahua (Fuente: Google Earth)



**Lámina 3.2. Localización del municipio de Chihuahua.**

### 3.1 Servicios públicos

#### 3.1.1 Agua potable

El agua potable suministrada a la ciudad proviene de 125 pozos profundos (pozos activos en el periodo enero a diciembre del 2007), que suministran casi la totalidad del volumen producido (95.67% del volumen total suministrado a la ciudad), se cuenta con una fuente de abastecimiento superficial que es la presa Chihuahua, que suministra sólo el 4.33 % del volumen de agua, aunque esta fuente de suministro se utiliza sólo en ciertos meses del año (entre junio y agosto). El servicio de agua potable en el municipio tiene una cobertura del 93.84% (ver Tabla 3.1).

La Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMÁS) de la ciudad de Chihuahua es un organismo descentralizado de la JCAS (Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua), ésta tiene la competencia de otorgar el servicio de agua potable y saneamiento sólo a lo que respecta a la mancha urbana, donde abastece el servicio por medio: de las redes tanto hidrosanitaria como de agua potable o por medio de pipas en las colonias en donde se carece de red de agua potable.



Según el Cuestionario de Información básica de los organismos operadores de los sistemas de agua potable y alcantarillado que recaba la CNA en forma semestral; la JMÁS tiene al 2007, 94 % de cobertura de servicio de agua potable en red y 91 % en cobertura de alcantarillado.

En cuanto al proceso de potabilización, es mediante cloración en todas las fuentes, en los que se hacen muestreos aleatorios para verificar la calidad del agua según la norma oficial mexicana; la regularización del servicio de agua potable se lleva a cabo a través de tanques de almacenamiento, que permiten absorber las variaciones horarias de la demanda de agua de la población.

**Tabla 3.1. Cobertura de los servicios públicos en la ciudad de Chihuahua (fuente: Enciclopedia de los municipios de México, Chihuahua, 2007)**

Servicio Público	Cobertura
Agua potable	93.84%
Cobertura de drenaje urbano	84.00%
Energía eléctrica	98.00%
Alumbrado Público	90.00%

El abatimiento de las fuentes de abastecimiento de agua potable, así como el crecimiento poblacional de la ciudad, ha obligado, para satisfacer la demanda, a recurrir a la construcción de obras de captación en zonas alejadas de la mancha urbana, cuya complejidad técnica tiene costos elevados (ver Tabla 3.2).

**Tabla 3.2. Incorporación de nuevas fuentes de suministro de agua potable a la ciudad de Chihuahua (fuente: JCAS, reunión estatal de Organismos Operadores, diciembre del 2007)**

Fuentes de suministro (Batería de Pozos)	Ubicación de la Fuente	Año de construcción
Ojos del Chuviscar y Panamericana	Acuífero Chihuahua-Sacramento	1968
Sacramento Viejo	Acuífero Chihuahua-Sacramento	1977
Sacramento Norte y Tabalaopa Aldama	Acuífero Chihuahua-Sacramento y Acuífero Tabalaopa-Aldama	1980
Tabalaopa Nombre de Dios	Acuífero Tabalaopa-Aldama	1985
Sáuz I Etapa	Acuífero Sáuz-Enciullas Acuífero Sáuz-Enciullas	1986
Sáuz II Etapa	Acuífero Sáuz-Enciullas	1996
Pozos Puerta de Chihuahua	Acuífero Tabalaopa-Aldama	2004

### 3.1.2 Drenaje Urbano

La cobertura de drenaje sanitario es del 84% (ver Tabla 3.1), en cuanto al alcantarillado pluvial existe en algunos sectores de la ciudad, al norte y centro, mediante captación y encauzamiento, subterráneo principalmente. En general, el agua de lluvia corre por las rasantes de calles hasta



conducirse a los arroyos que cruzan la ciudad. Estos a su vez tributan al río Sacramento en el sentido sur-norte o al Chuvíscar en el sentido oeste-este.

### 3.1.3 Energía eléctrica

El servicio de energía eléctrica cubre el 98% (ver Tabla 3.1) de la población del municipio. El 2% restante está representado por asentamientos inaccesibles, irregulares o poblados con densidad escasa. La ciudad recibe 125 megawatts de energía eléctrica de la termoeléctrica ubicada dentro del área urbana y 300 megawatts de la termoeléctrica Francisco Villa, ubicada en la ciudad de Delicias (fuente: Enciclopedia de los municipios de México, Chihuahua, 2007).

Para la distribución de energía eléctrica, se cuenta con nueve subestaciones en la ciudad, que son: Ávalos, Américas, Chihuahua Norte (Revolución), Chihuahua Poniente (Pinos), las que dan servicio al 43% de la población; el restante 57% se distribuye a través de las subestaciones: planta Chihuahua, Robinson, Nombre de Dios, Tabalaopa y Palomar, con un total de 391.2 MVA.

Existen tres subestaciones en el medio rural (El Sáuz, Aldama y General Trías) con una capacidad total de 47.0 MVA, dando servicio a sus respectivos municipios además de aportar servicio al 5.63% de la población del municipio de Chihuahua.

### 3.1.4 Alumbrado público

La ciudad cuenta con aproximadamente 40,100 luminarias de vapor de sodio de alta presión, de las cuales 39,537 están a cargo del municipio y el resto en custodia de los desarrolladores. La cobertura promedio para la ciudad es de 2.41 luminarias por hectárea y alcanza el 90% del municipio (Fuente: Enciclopedia de los municipios de México, Chihuahua, 2007).

El consumo promedio mensual es de 2'037,920 kwh, 30% del cual es facturado por CFE al ayuntamiento, mientras que el restante 70% restante representa el cobro por derecho de alumbrado público (DAP).

## 3.2 Clima

El sistema de clasificación de climas de Koepen modificado por Enriqueta García, determina que el clima es seco semicálido con lluvias de verano y un porcentaje menor al 5% de lluvia invernal, la temperatura media anual oscila del orden de 18<sup>0</sup>C y 22<sup>0</sup>C, con una variación mayor a 14<sup>0</sup>C que lo hace muy extremo.

La clasificación del clima de Koepen para la ciudad de Chihuahua es BSh.- donde:  
B Climas secos La evaporación excede las precipitaciones. Siempre hay déficit hídrico,  
S Semiárido (Clima de Estepa) Sólo para climas de tipo B. De 380 a 760 mm,  
h La temperatura media anual es superior a 18 °C,



Según registros de CNA, se cuenta con temperaturas máximas de 42 °C en los meses de Mayo a Julio; con temperaturas mínimas por debajo de los 0° C en los meses de Octubre a Marzo con la mínima registrada de -13.5°C en el mes de Enero

Se cuenta con una temperatura media máxima los meses de Mayo a Agosto mayor a los 31°C y con temperatura media mínima menor a los 5°C los meses de Noviembre a Febrero.

Existiendo un registro promedio de 71 días de lluvias al año y una humedad relativa promedio de 49 por ciento

Respecto al período vegetativo, el medio es de 236 días, el máximo de 296 días y el mínimo de 170 días. Existen 112 días al año de heladas, 3 días de heladas tardías, principalmente en abril; 4 días de heladas tempranas, en octubre y noviembre.

Los vientos dominantes son del suroeste. Existiendo ráfagas de viento mayor a los 95 km/hr en el periodo de Febrero a Abril, en la Lámina 3.3, se muestra el mapa de climas para el estado de Chihuahua (fuente: INEGI 2005).



Lámina 3.3. Mapa de Climas del Estado de Chihuahua; (fuente: INEGI 2005).

### 3.2.1 Precipitación total mensual

En la estación climatologica denominada presa el Rejón, operada por la CNA a través del Servicio Meteorológico Nacional ( SMN); que está localizada en la latitud Norte 28°36'28" y en

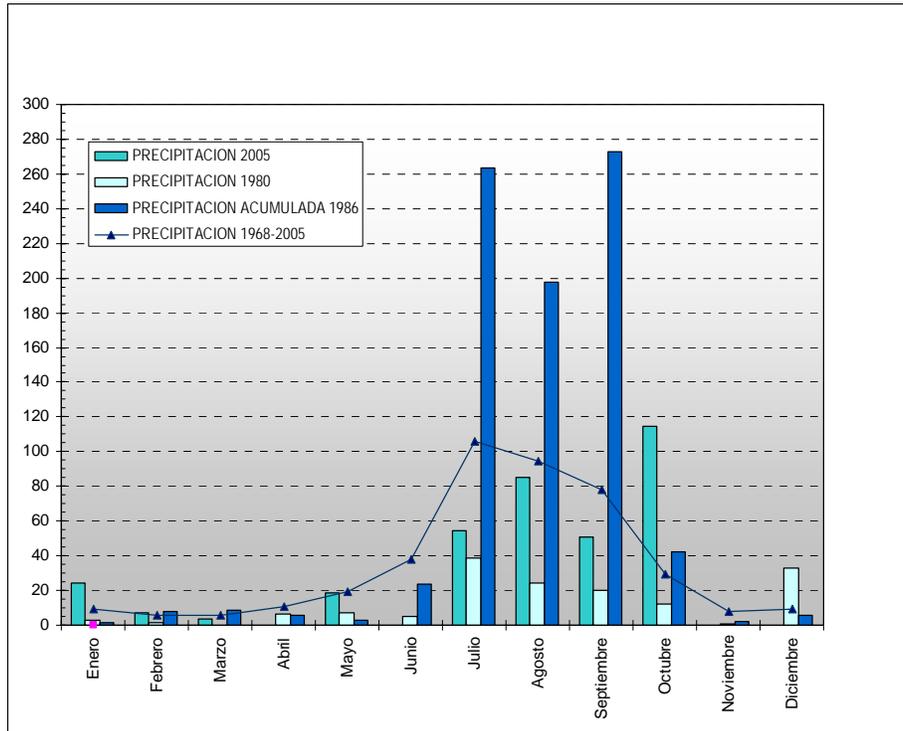


la longitud oeste 106° 06' 35" se tiene registrado una media de la precipitación acumulada anual durante el periodo de observación 1968 a 2005 (37 años) de 413.9 mm (ver Tabla 3.3), que representa sólo un 54 % de la media Nacional de la precipitación acumulada anual correspondiente a 772 mm, según registros del SMN; la mayor lámina de lluvia acumulada en forma anual ocurrió en 1986 con 834.1 mm y la menor acumulada anual en 1980 con 151.5mm. En el año 1980 se tuvo una lámina de lluvia acumulada en 24 hrs de 43 mm representando un 28 % del total acumulado en el año.

En el histograma de láminas de precipitación acumulada en forma mensual observamos que la estación de lluvia se da entre los meses de Junio a Octubre.

**Tabla 3.3. Precipitación total mensual en la estación meteorológica P. El Rajón (fuente: INEGI 2005)**

Mes	Precipitación acumulada (mm) año 2005	Promedio precipitación acumulada mensual (mm) Periodo de registro 1968 a 2005	Precipitación acumulada (mm) Año más seco (1980)	Precipitación acumulada (mm) Año más lluvioso (1986)
Enero	24.5	9.6	3.0	1.2
Febrero	7.0	5.9	1.5	7.6
Marzo	3.5	5.9	0.3	8.5
Abril	0.0	11.0	6.2	6.0
Mayo	18.6	19.4	7.0	2.7
Junio	0.0	37.7	5.0	23.7
Julio	54.3	105.7	38.7	263.8
Agosto	85.0	94.4	24.3	197.4
Septiembre	51.0	77.7	20.0	272.6
Octubre	114.6	29.1	12.2	42.5
Noviembre	0.0	8.2	0.5	2.2
Diciembre	0.0	9.3	32.8	5.9
Total	358.5	413.9	151.5	834.1



**Lámina 3.4. Variación de la precipitación total mensual registrada en la estación meteorológica P. El Rejón (fuente: INEGI 2005)**

### 3.2.2 Temperatura media mensual

La temperatura media anual es de 18.1° C (ver Tabla 3.4) según los registros de las temperaturas medias mensuales en la estación P. El Rejón La temperatura máxima extrema ocurrió en los año de 1989 y 1998 siendo de 42.2° C y la mínima extrema en 1949 fue de -15.0° C. Los grados horas calor en promedio son de 2,855 horas y los grados horas frío promedio de 736.8 horas

El año más frío registrado es 1987 donde la temperatura promedio de las temperatura medias mínimas mensuales fue de 15.22° C y el año más caluros registrado es el del 2003 con una temperatura promedio de las temperaturas medias máximas mensuales de 19.62° C, en la Lámina 3.5, se muestra la variación de la temperatura mes a mes



Tabla 3.4. Temperatura media mensual registrada en la estación Meteorológica P. El Rejón (fuente: INEGI 2005)

Mes	Temperatura media (°C) año 2005	Promedio Temperatura media mensual (°C) periodo de registro 1967 a 2005	Año más frío Temperatura Media mínima (°C) 1987	Año más caluroso Temperatura Media máxima (°C) 2003
Enero	9.5	8.9	7.2	12.1
Febrero	12.9	11.1	8.3	14.2
Marzo	15.3	14.1	11.3	14.7
Abril	22.6	18	14.7	19.4
Mayo	21.1	21.9	18.2	24.8
Junio	24.9	25.4	22.8	27.2
Julio	25.7	24.5	23.5	26.2
Agosto	20.7	23.0	22.2	26.7
Septiembre	23.8	21.3	19.2	23.0
Octubre	18.8	17.6	16.4	18.7
Noviembre	11.9	12.6	10.8	15.6
Diciembre	9.4	9.4	8.0	12.8
Promedio	18.05	17.32	15.22	19.62

Variación de la temperatura media mensual, Estación Presa El Rejón

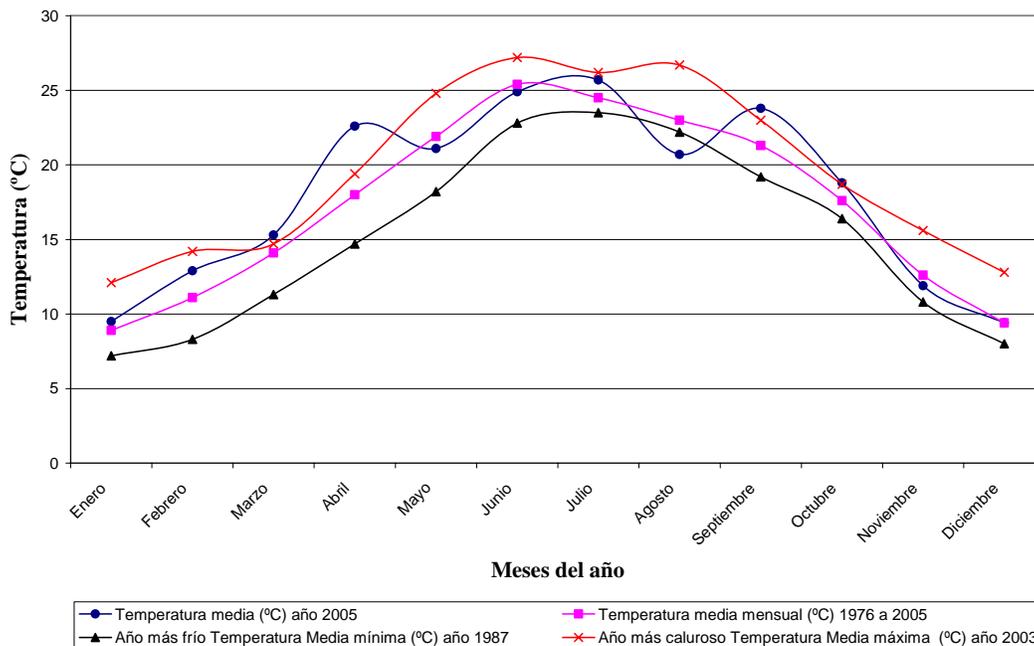


Lámina 3.5. Variación de la Temperatura media mensual en la estación Meteorológica P. El Rejón (fuente: INEGI 2005)



### 3.3 Actividades económicas principales

La población económicamente activa en el Estado de Chihuahua en el año 2007 fue de 1,298,600 personas lo que representa el 40.1% de la población total del Estado.

En cuanto a la ciudad de Chihuahua se tiene un porcentaje similar a la del Estado, las principales actividades económicas de la ciudad son: la industrial y la de servicios etc. En la Tabla 3.5, se muestra el porcentaje de ocupación en el sector formal de acuerdo a la actividad económica, destaca la actividad industrial con el 45.82% seguida de la actividad de servicios con el 23.25 por ciento.

**Tabla 3.5. Ocupación en el sector formal (fuente: Enciclopedia de los municipios de México, Chihuahua, 2007)**

Actividad económica	Porcentaje (%)
Agropecuario	0.76
Industria	45.82
Construcción	7.97
Comunicaciones	5.53
Servicios	23.25
Comercio	16.61
Otros	0.06
Total	100

#### 3.3.1 Industria

Como actividad principal de producción el uso industrial tiene distintas modalidades en la ciudad de Chihuahua, existen desde antiguas instalaciones industriales vinculadas a las actividades mineras o madereras, hasta modernos parques e industrias maquiladoras.

La primera modalidad son los parques industriales (ver Tabla 3.6) creados en la década de los setenta con un destino fundamentalmente maquilador. Forman parte de esta tipología el Complejo Industrial Chihuahua y los parques Industriales Las Américas, Saucito e Impulso.

La segunda modalidad son las zonas industriales (ver Tabla 3.7) de las que destacan dos: al norte denominada Nombre de Dios, la cual fue decretada el 19 de abril de 1977; la segunda al sureste de la mancha urbana identificada con el nombre de zona Industrial Aeropuerto.

La tercera modalidad la componen usos industriales dispersos en la mancha urbana, cabe mencionar que es una modalidad reciente, sobre todo a nivel maquiladoras. Ejemplos de esta tipología son SECOSA, bodega Champion Products, S.A. de C.V., etc. La pequeña industria instalada entre las zonas residenciales también forma parte de esta modalidad, por ejemplo las instalaciones de alimentos Capitán.



Los principales ramos de la industria son: Alimentos, textiles, calzado, madera, papel, celulosa, impresión, productos minerales, productos metálicos, maquinaria y maquiladoras.

En el estado de Chihuahua, en el año 2005 estaban establecidas 373 maquiladoras, que representa el 13% del total de ese tipo de industria a nivel Nacional. Particularmente, la ciudad de Chihuahua es el segundo mayor centro de atracción de este tipo de plantas con un total de 76, sólo después de Ciudad Juárez que alberga 250 y que en conjunto suman el 87% del total de este tipo de industrias en el Estado; en consecuencia convierte a estas ciudades en centros de atracción de población (fuente: Enciclopedia de los municipios de México, Chihuahua 2007).

**Tabla 3.6. Superficies de los Parques industriales (primera modalidad)**

<b>Parque Industrial</b>	<b>Tipo de Propiedad</b>	<b>Superficie total (has)</b>
Parque Industrial Las Américas	Privado	75
Complejo Industrial Chihuahua	Público	642
Parque Industrial El Saucito	Privado	41
Parque Industrial IMPULSO	Privado	95
Parque Industrial SUPRA	Privado	129

**Tabla 3.7. Superficie de las Zonas industriales (segunda modalidad)**

<b>Zona Industrial</b>	<b>Superficie (Has)</b>
Nombre de Dios	520
Ávalos Aeropuerto – Robinson	220
Ranchería Juárez	171
Cuauhtémoc	45
Total	956

### 3.3.2 Comercio

La ciudad de Chihuahua por su calidad de ciudad capital y su concentración poblacional es un importante polo de desarrollo del sector comercial. Dentro de este sector destacan por su evolución en los últimos años, las inversiones realizadas en infraestructura para la modernización comercial.

### 3.3.3 Turismo

En la actualidad casi la totalidad de los visitantes que recibe el municipio y en particular la ciudad, son por motivos de negocios. Para fortalecer la atracción de visitantes se construyó, en la ciudad de Chihuahua, un Centro de Convenciones y Exposiciones, buscando atraer importantes convenciones y otro tipo de eventos tanto nacionales como internacionales, así de manera indirecta fomentar el turismo de placer.

Para dar hospedaje a los visitantes la ciudad de Chihuahua cuenta con 50 hoteles (ver Tabla 3.8 Fuente: Enciclopedia de los municipios de México, Chihuahua, 2007), de diversas categorías van



desde un hotel el Gran Turismo que cuenta con 204 habitaciones, 7 hoteles de 5 estrellas que cuentan en su conjunto con 855 habitaciones, etc. En total se tienen 2788 habitaciones disponibles, con un porcentaje de ocupación de 58.75% con un promedio al año de 1.53 huéspedes por cuarto.

**Tabla 3.8. Hoteles en la ciudad de Chihuahua**

<b>Infraestructura</b>	<b>G.T.</b>	<b>5*</b>	<b>4*</b>	<b>3*</b>	<b>2*</b>	<b>1*</b>	<b>TOTAL</b>
Hoteles	1	7	9	12	11	10	50
Cuartos	204	855	528	633	301	257	2,778

### 3.3.4 Ingresos de la población

En general el 37% de la población económicamente activa recibe de 1 a 2 salarios mínimos, el 20% recibe de 2 a 3 salarios mínimos en la Tabla 3.9, se muestra la distribución de ingresos por salarios mínimo de la ciudad (fuente, INEGI 2005).

**Tabla 3.9. Ingresos de la población**

<b>Salarios Mínimos (SMG)</b>	<b>(%)</b>
a) 0-1 SMG	13%
b) 1-2 SMG	37%
c) 2-3 SMG	20%
d) 3-5 SMG	16%
e) 5-10 SMG	10%
f) mas de 10 SMG	4%
Total	100%

## 3.4 Población de la ciudad de Chihuahua

El estado de Chihuahua en el año 2005, contaba con 3,241,440 habitantes, de éstos la ciudad de Chihuahua concentraba el 23.4 % (la distribución de población del Estado fue según el Censo de Población del INEGI 2005, fuente: INEGI 2005) de la población, sólo atrás de Ciudad Juárez que concentra el 40.5 % de la población, Cuauhtémoc ocupa el tercer lugar ya que concentra el 4.2 %, Delicias el 3.9%, Hidalgo del Parral el 3.2% y el 24.8% se concentra en el resto de los municipios. En ese año el INEGI reportó 14,963 nacimientos por 3822 defunciones en la ciudad de Chihuahua.

### 3.4.1 Crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Chihuahua

En la Tabla 3.10, se muestra una comparación del crecimiento de la población de 1960 al 2005 contra el crecimiento de la superficie que ocupa la mancha urbana de la ciudad de Chihuahua, de 1970 a 1980 la superficie urbana reflejó un crecimiento acelerado, pasando de 3815.78 has a 8489.16 has lo que significó una tasa de crecimiento del 8.32 %, en esa misma década la



densidad de población disminuye de 67.36 hab/has a 45.45 hab/has es decir de tiene una variación de -33% en la densidad, (Fuente Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), 2007).

En la Lámina 3.6, se muestra la variación del crecimiento de la población y de la mancha urbana en Chihuahua, entre 1995 al 2005 el crecimiento de la ciudad, en cuanto a la superficie, tiende a estabilizarse entre el 1.81% y el 1.05%, por el contrario el crecimiento de la población ha experimentado un crecimiento oscilante en ese mismo periodo, con tasas de 3.52 %, luego del 1.40 % y por último del 2.90 %. Para el año 2005 la superficie territorial era de 19024.07 hectáreas.

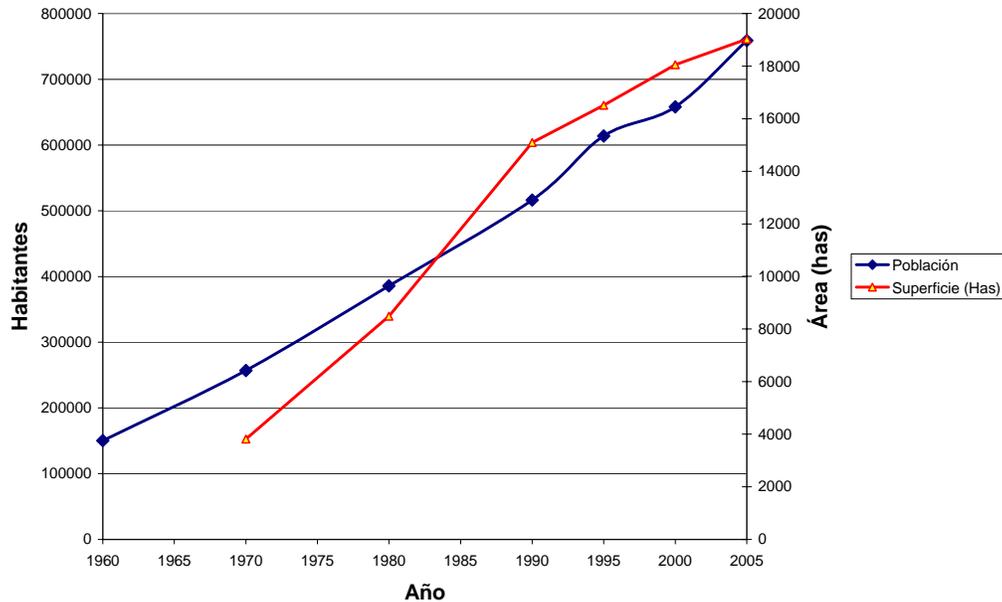
De la extensión total de la ciudad de Chihuahua, sólo 365.68 has (fuente: IMPLAN Chihuahua, 2007) están destinadas a áreas verdes (ver Tabla 3.11), con lo que se tiene una densidad de 4.9 m<sup>2</sup>/habitante de área verde, siendo muy inferior a la definida por la Organización Mundial de la Salud de 10 m<sup>2</sup>/hab. De área verde, por lo que el crecimiento de la ciudad se ha destinado más a la construcción de viviendas que a la instalación de parques y jardines. En el año 2005 se contaba con 14619 lotes baldíos que representaban el 10% de la superficie total de la ciudad, la dificultad para aprovechar estos lotes como áreas verdes y crear otros parques estriba en que el 78% de éstos tienen una superficie menor a 1000 metros cuadrados.

**Tabla 3.10. Crecimiento histórico de la Mancha Urbana de la ciudad de Chihuahua (Fuente: IMPLAN Chihuahua 2007)**

Año	Población	Tasa de crecimiento de la población (%)	Superficie (Has)	Tasa de crecimiento de la superficie (%)	Densidad Población (hab/has)	Variación de la densidad de población
1960	150430					
1970	257027	5.50	3815.78		67.36	
1980	385603	4.14	8489.16	8.32	45.42	-33%
1990	516153	2.96	15097.91	5.93	34.19	-25%
1995	613722	3.52	16515.04	1.81	37.16	9%
2000	657876	1.40	18055.04	1.80	36.44	-2%
2005	758791	2.90	19024.07	1.05	39.89	9%



**Crecimiento de la población y de la mancha Urbana en Chihuahua**



**Lámina 3.6. Comparación entre el crecimiento de la población y la superficie que ocupa la mancha urbana en Chihuahua (fuente: IMPLAN Chihuahua, 2007)**

**Tabla 3.11. Clasificación de áreas verdes en la ciudad de Chihuahua (fuente: IMPLAN Chihuahua, 2007)**

Elemento	Superficie	Porcentaje (%)
Parques y jardines	264.38	72.3
Plazas	13.94	3.81
Camellones	73.94	20.22
Triángulos	13.42	3.67
Total	365.68	

### 3.4.2 Crecimiento histórico de la población (fuente: INEGI 2005)

A continuación se presenta el análisis de crecimiento histórico de la población de la ciudad de Chihuahua, con los registros que publica INEGI en el año 2005; con base en estos datos se realizó la proyección de la misma, utilizando diferentes métodos recomendados por CNA en el manual de datos básicos. Además del calculado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO); las proyecciones resultantes de estos resultados se comparan con la finalidad de estimar el mejor ajuste y con esto prever el comportamiento futuro en el crecimiento de la población de la ciudad de Chihuahua.

Según datos estadísticos del INEGI, la población en la ciudad de Chihuahua (Tabla 3.12 y Lámina 3.7) se incrementó del año 1900 de 30,405 habitantes en a 758,791 habitantes al año 2005; con una tasa promedio de crecimiento anual de 3.14 %. En las décadas de 1960 y 1970 se

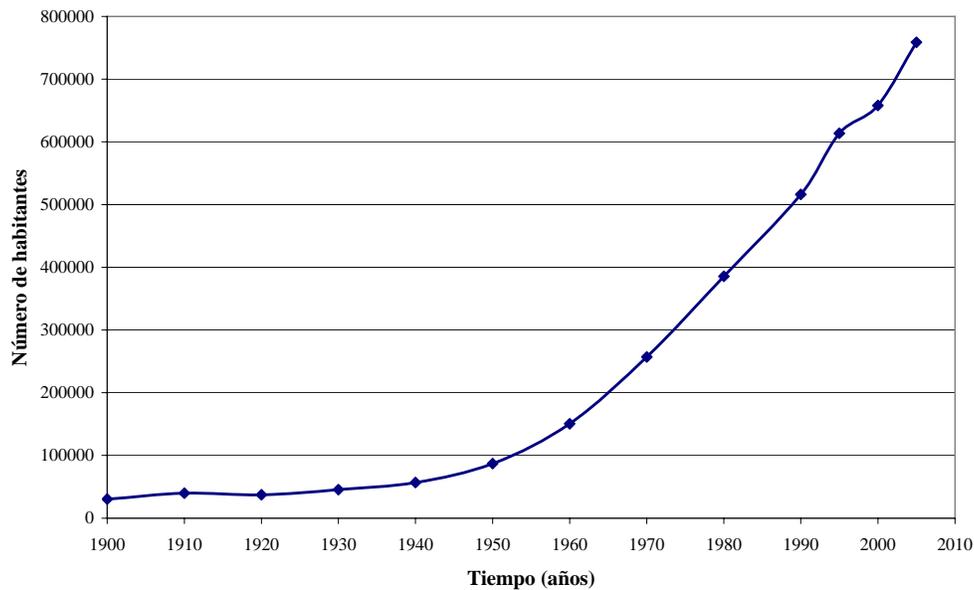


tienen las mayores tasas de crecimiento en la historia de la ciudad con u 5.65% y 5.50 % respectivamente, que coincide con la instalación de las zonas industriales.

**Tabla 3.12. Crecimiento histórico de la población de la ciudad de Chihuahua, Chihuahua (fuente INEGI 2005)**

Año	Habitantes	Tasa de crecimiento (%)
1900	30,405	
1910	39,706	2.70
1921	37,078	-0.62
1930	45,595	2.32
1940	56,805	2.22
1950	86,961	4.35
1960	150,430	5.63
1970	257,027	5.50
1980	385,603	4.14
1990	516,153	2.96
2000	657,876	3.84
2005	758,791	2.90
Promedio		3.14

**Crecimiento histórico de la población de la ciudad de Chihuahua, Chihuahua**



**Lámina 3.7. Crecimiento histórico de la población en la ciudad de Chihuahua (fuente INEGI, 2005).**



La tasa promedio de crecimiento de promedio (desde el año de 1900 hasta el 2005) se calculó con la ecuación siguiente:

$$i = \left[ \left( \frac{P_{i+1}}{P_i} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] * 100 \quad (1)$$

Donde:

$i$ , Tasa de crecimiento de la población entre los años  $i+1$  e  $i$  en porcentaje

$P_{i+1}$ , Población en el año  $i + 1$

$P_i$ , Población en el año  $i$

$t$ , Número de años entre la población  $P_{i+1}$  y  $P_i$

### 3.4.3 Índice de hacinamiento

De acuerdo al INEGI en el año 2005 existían un total de 199,890 hogares; sumando más del 90% del total, aquellos hogares que son ocupados de una a 5 personas; distribuidos de la siguiente manera (ver Tabla 3.13): 17,198 hogares en los que habita sólo una persona que representa el 8.60 % del total de los hogares, en 33,627 hogares sólo habitan 2 personas que representa un 16.82 %, de 43,184 hogares en los que sólo viven tres personas es de 21.60 %, el número de hogares en los que viven 4 personas es de 53,747 casas que representa el mayor porcentaje con 26.89 % del total y con 5 ocupantes por hogar son 33,551 casas con un 16.78 por ciento.

**Tabla 3.13. Distribución de habitantes por hogar en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua (Fuente: INEGI 2005)**

Integrantes	Hogares	Hogares (%)
1	17,198	8.60
2	33,627	16.82
3	43,184	21.60
4	53,747	26.89
5	33,551	16.78
6	11,958	5.98
7	3,734	1.87
8	1,647	0.82
9 o más	1,244	0.62
Total	199,890	100.00



### 3.4.4 Población actual

Para el cálculo de la población actual se tomó como base el número de usuarios domésticos registrados en el padrón de usuarios de la Dirección Comercial de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua; para diciembre del 2007 se tenían registrados 248,681 usuarios de tipo doméstico (ver Tabla 3.18) tomando en cuenta la distribución de habitantes por hogar de la Tabla 3.13, y por medio de un promedio pesado (de acuerdo a la ecuación 2) se tiene la población actual para la ciudad de Chihuahua es de 915,493 habitantes, este es mayor al estimado por la CONAPO para el mismo año, que es de 744,150 habitantes. Por tanto la población actual calculada con el número de tomas domésticas registrado en la JMÁS calcula 171,343 habitantes más que la estimada por la CONAPO.

$$P_{actual} = U_{domestico} \left( \frac{\% Casas_1 * 1 + \% Casas_2 * 2 + \dots + \% Casas_n * n}{\% Cobertura_{agua}} \right) * (1 - \% casa_{solas}) \quad (2)$$

Donde:

$P_{actual}$  = Población actual.

$U_{domestico}$  = Usuarios de tipo doméstico registrados en el padrón de usuarios

$\% Casas_i$  = Porcentaje de Hogares con uno, dos, tres hasta n integrantes de acuerdo a la Tabla 3.13

$\% Cobertura_{agua}$  = porcentaje de cobertura de agua potable, igual a 93.84 por ciento

$\% Casas_{solas}$  = Porcentaje de casas solas, para Chihuahua se consideró un porcentaje de 3.958.

Para tener un parámetro de comparación se solicitó el número acometidas registradas de usuarios domésticos en la CFE para el mismo periodo, pero no se tuvo respuesta,

### 3.4.5 Población futura

Para el cálculo de la proyección de la población futura se utilizaron diversos métodos que a continuación se describen:

#### 3.4.5.1 Proyección de la población CONAPO

El Consejo Nacional de Población (CONAPO), toma como base los datos históricos de la población de la Ciudad de Chihuahua del año 1930 al año 2000, en la Lámina 3.8 y en la Tabla 3.14 se muestra la proyección realizada por la CONAPO, que define para el año 2030 que la ciudad de Chihuahua contará con 882,933 habitantes.



### 3.4.5.2 Método aritmético

Este método considera un incremento de población constante para períodos de tiempo iguales, se expresa con la siguiente ecuación:

$$P_2 = P_1 + Ka_{(t_1-t_0)} (t_2 - t_1) \quad (3)$$

Donde:  $P_2$  es la población a calcular para los años de proyección,  $P_1$  es la población del presente año, este caso el último dato medido de la población que se tiene en el año 2005,  $t_1$  es el año presente en este caso representa el año 2005 y  $t_2$  es el año de proyección (2010, 2015, 2020, 2025, 2030, etc.),  $Ka_{(t_1-t_0)}$  es una constante que se calcula con la ecuación siguiente:

$$Ka_{(t_1-t_0)} = \left( \frac{P_2^0 - P_1^0}{t_2^0 - t_1^0} \right) \quad (4)$$

### 3.4.5.3 Método geométrico

Este método de proyección calcula la población futura con base en una velocidad de crecimiento proporcional a la población en cada instante de tiempo, y se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\ln(P_2) = \ln(P_1) + Ka(t_2 - t_1) \quad (5)$$

Donde:  $\ln(P_2)$  es el logaritmo natural de la proyección de la población para los años de estudio (2010, 2015, 2020, 2025, 2030),  $\ln(P_1)$  es el logaritmo natural de la población del año en estudio,  $t_2$  es el año en el que se calcula la población  $P_2$  y  $t_1$  es el año en que se calcula la población  $P_1$ ,  $Ka$  es una constante que se calcula con la ecuación.

$$Ka = \left( \frac{\ln(P_2^0) - \ln(P_1^0)}{t_2^0 - t_1^0} \right) \quad (6)$$

Donde:  $\ln(P_2^0)$  es el logaritmo natural de la población presente, para nuestro caso es la población del municipio y ciudad para el año 2005,  $\ln(P_1^0)$  es el logaritmo natural de la población anterior al año 2005 en nuestro caso es la población del año 2000,  $t_2^0$  y  $t_1^0$  es el año en que se calculan las dos poblaciones anteriores en nuestro caso representan el año 2005 y 2000 respectivamente.

$$P_f = e^{(P_2)} \quad (7)$$



Donde:  $P_f$  es la población futura, para los años de proyección (2010, 2015, 2020, 2025, 2030).

#### 3.4.5.4 Método según la tasa de crecimiento histórico

Este método supone que la población se incrementa de acuerdo a una tasa de crecimiento anual promedio análogo al que sigue un capital que se incrementa en función de la tasa de interés que se le aplica mes a mes. Para la proyección de la población la tasa de crecimiento se obtiene promediando las tasas de crecimiento históricas de la población. La población futura se obtiene con la ecuación siguiente.

$$P_{i+1} = P_i \left( \frac{TCA_p}{100} + 1 \right)^{(t1-t0)} \quad (8)$$

Donde:  $P_{i+1}$  es la población de proyección,  $P_i$  es la población actual para nuestro caso es la población del año 2005,  $TCA_p$  es la Tasa de Crecimiento Anual Promedio,  $t1$  es el año en que se hace la proyección (2010, 2015, 2020, 2025, 2030) y  $t0$  es el año de actual para este caso es el año 2005.

#### 3.4.5.4 Método de crecimiento de la población considerando una tasa decreciente

Este método es similar que el anterior pero en lugar de usar una tasa de crecimiento histórica constante, se considera una tasa de crecimiento decreciente en el tiempo, basada en la experiencia del proyectista.

#### 3.4.5.5 Método de ajuste por mínimos cuadrados

Este es un método estadístico que busca encontrar una curva que de ajuste que minimice el error entre los datos históricos de población y dicha curva, puede ser con una función de tipo: exponencial, potencial, de tercer orden, etcétera.

En las ecuaciones (9) a (11), se muestran los ajustes de tercer orden, potencial y exponencial, calculados por mínimos cuadrados, los coeficientes de correlación para cada ajuste son de 0.99, 0.972 y 0.9741 respectivamente.

- Ajuste de tercer orden

$$Poblacion = (1269171.01(t/1000)^3 - 7312566.97(t/1000)^2 + 14044821.06(t/1000) - 8992014.30)1000 \quad (9)$$

$$R2 = 0.99$$

- Ajuste potencial



$$Poblacion = ((2E - 18)(t/1000)^{68.235})1000 \quad (10)$$
$$R2 = 0.972$$

- Ajuste exponencial

$$Poblacion = ((3E - 28)Exp^{(34.88t/1000)})1000 \quad (11)$$
$$R2 = 0.9741$$

### 3.4.6 Análisis de los diversos métodos de proyección de la población

En la Tabla 3.14, se presentan las proyecciones de la población según los diversos métodos empleados, así como la diferencia de población que se tendrá entre el año 2007 (población actual) y el año 2030 (población futura).

El método de tasa de crecimiento histórico se utilizó una tasa de 3.14 % anual constante para el periodo de proyección, para el método de tasa de crecimiento decreciente, se consideró una tasa de 3.06% inicial y esta fue decreciendo hasta llegar a un crecimiento de 2.0% anual (ver Tabla 3.15).

Para la proyección con el método de la CONAPO, se tienen tasas de crecimiento de 1.01 % en el año 2008 y disminuye hasta un 0.46 % al año 2030. El método aritmético tiene una tasa de crecimiento del 2.15% en el año 2008 y para el año 2030 ésta disminuye a 1.46 por ciento. Los otros métodos presentan tasas de crecimiento constantes.

En la Lámina 3.8, se muestra una comparación del crecimiento futuro de la población de Chihuahua, entre los diversos métodos usados en este estudio, la proyección realizada por la CONAPO presenta tasas de crecimiento pequeñas por abajo del uno por ciento, para el año 2030 proyecte que la ciudad de Chihuahua tendrá una población de 882,933 habitantes.

Estas tasas de crecimiento presentan poca congruencia con la situación actual descrita de atracción de poblacional e industrial de la Ciudad. Siendo la población estimada inferior a la población actual calculada de 915,493 habitantes.

El método geométrico calcula una población para el año 2030 de 1,807,005 habitantes, con una tasa de crecimiento constante de 2.90 por ciento, con lo que se tendrá un incremento de población del 2007 al 2030 de 891,512 habitantes.

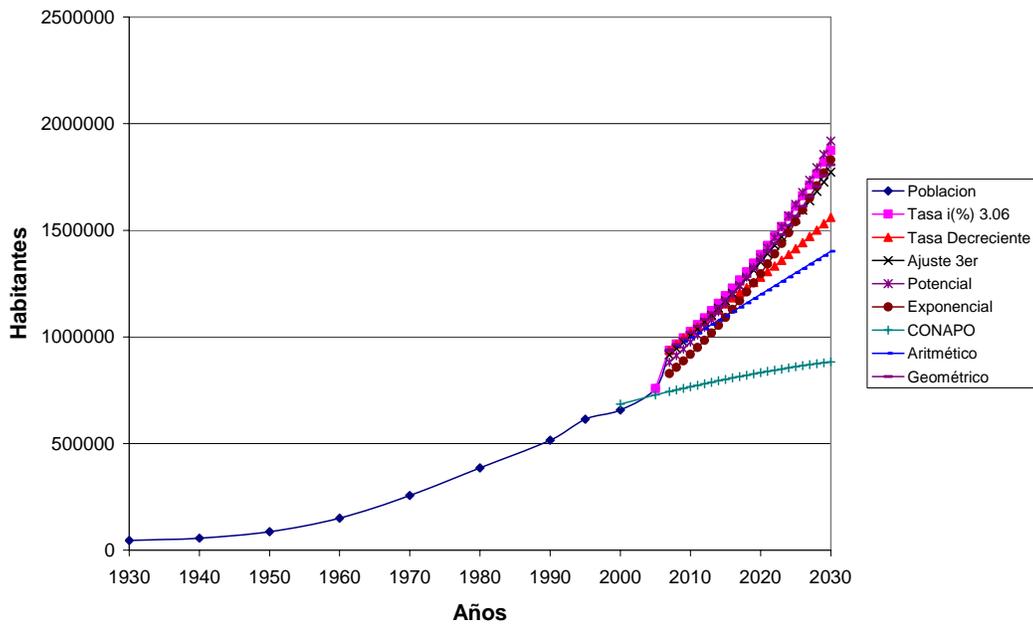
Si se considera el método de la tasa de crecimiento histórico, siendo de 3.14 % en el periodo del 2007 al 2030 se incrementará la población en 959,213 habitantes. Con el ajuste exponencial y potencial se tienen tasas de crecimiento casi constantes del orden de 3.42 % y 3.51 % respectivamente mayores que la tasa de crecimiento histórico del 3.14 por ciento.



Los métodos del tipo aritmético, ajuste de tercer orden y el de tasa de crecimiento decreciente, tienen tasas de crecimiento que disminuyen en el tiempo. Presentan estos métodos las siguientes diferencias entre la población del año 2007 y el 2030 de 485,976 habitantes, el segundo tiene una diferencia de 857,147 habitantes y el tercero de 645,891 habitantes.

Para fines del estudio la población futura a considerar será la obtenida por el método de ajuste de tercer orden, es el que presenta tasas decrecimiento acordes a las históricas y estas disminuyen con el tiempo para situarse en el año 2030 con una tasa de crecimiento del 2.65 por ciento, además el coeficiente de correlación de 0.99 demuestra el buen ajuste de esta curva.

**Población futura de la ciudad de Chihuahua**



**Lámina 3.8. Crecimiento futuro de la población en la ciudad de Chihuahua.**



**Tabla 3.14. Crecimiento futuro de la población según los diversos métodos**

Año	Población actual	CONAPO	Aritmético	Geométrico	Tasa de crecimiento histórico i (%) 3.14	Tasa de crecimiento Decreciente	Ajuste por mínimos cuadrados		
							Ajuste 3er	Potencial	Exponencial
1900	30405								
1910	39706								
1920	37078								
1930	45595								
1940	56805								
1950	86961								
1960	150430								
1970	257027								
1980	385603								
1990	516153								
1995	613722								
2000	657876	685 118							
2005	758791	728 558			758791				
2007	915493	744 150	936809	936809	936809	936809	915493	881759	828024
2008		751 694	957443	964397	965940	965940	944850	912245	857091
2009		759 093	977626	992319	995498	995498	974872	943770	887178
2010		766 354	997809	1021050	1025960	1020385	1005568	976367	918321
2011		773 496	1017992	1050613	1057355	1045895	1036945	1010073	950558
2012		780 529	1038175	1081031	1089710	1072042	1069011	1044925	983927
2013		787 448	1058358	1112330	1123055	1098843	1101773	1080961	1018467
2014		794 259	1078541	1144536	1157420	1126315	1135239	1118221	1054219
2015		800 962	1098724	1177674	1192837	1154472	1169416	1156746	1091226
2016		807 555	1118907	1211771	1229338	1183334	1204313	1196578	1129533
2017		814 029	1139090	1246856	1266956	1207001	1239936	1237761	1169184
2018		820 384	1159273	1282957	1305725	1231141	1276294	1280340	1210227
2019		826 599	1179456	1320102	1345680	1255764	1313394	1324362	1252711
2020		832 677	1199639	1358324	1386858	1280879	1351243	1369874	1296687
2021		838 594	1219822	1397651	1429295	1306497	1389850	1416927	1342206
2022		844 350	1240005	1438118	1473032	1332627	1429221	1465571	1389323
2023		849 923	1260188	1479756	1518107	1359279	1469365	1515860	1438093
2024		855 301	1280371	1522600	1564561	1386465	1510289	1567848	1488576
2025		860 472	1300554	1566684	1612436	1414194	1552000	1621593	1540832
2026		865 427	1320737	1612044	1661777	1442478	1594507	1677151	1594921
2027		870 148	1340920	1658718	1712627	1471327	1637817	1734585	1650909
2028		874 643	1361103	1706743	1765034	1500754	1681937	1793955	1708863
2029		878 912	1381286	1756159	1819044	1530769	1726876	1855327	1768851
2030		882 933	1401469	1807005	1874706	1561384	1772640	1918767	1830945
Diferencia de población entre los años 2007 y 2030		-32560	485976	891512	959213	645891	857147	1003274	915452



**Tabla 3.15. Tasas de crecimiento futura (%)**

Año	CONAPO	Aritmético	Geométrico	Tasa de crecimiento histórica i (%)	Tasa de crecimiento Decreciente	Ajuste 3er Orden	Exponencial	Potencial
1900								
1910								
1920								
1930								
1940								
1950								
1960								
1970								
1980								
1990								
1995								
2000								
2005								
2007				11.14	3.06			
2008	1.01	2.15	2.90	3.14	3.06	3.21	3.46	3.51
2009	0.98	2.11	2.90	3.14	2.50	3.18	3.46	3.51
2010	0.96	2.06	2.90	3.14	2.50	3.15	3.45	3.51
2011	0.93	2.02	2.90	3.14	2.50	3.12	3.45	3.51
2012	0.91	1.98	2.90	3.14	2.50	3.09	3.45	3.51
2013	0.89	1.94	2.90	3.14	2.50	3.06	3.45	3.51
2014	0.86	1.91	2.90	3.14	2.50	3.04	3.45	3.51
2015	0.84	1.87	2.90	3.14	2.50	3.01	3.45	3.51
2016	0.82	1.84	2.90	3.14	2.00	2.98	3.44	3.51
2017	0.80	1.80	2.90	3.14	2.00	2.96	3.44	3.51
2018	0.78	1.77	2.90	3.14	2.00	2.93	3.44	3.51
2019	0.76	1.74	2.90	3.14	2.00	2.91	3.44	3.51
2020	0.74	1.71	2.90	3.14	2.00	2.88	3.44	3.51
2021	0.71	1.68	2.90	3.14	2.00	2.86	3.43	3.51
2022	0.69	1.65	2.90	3.14	2.00	2.83	3.43	3.51
2023	0.66	1.63	2.90	3.14	2.00	2.81	3.43	3.51
2024	0.63	1.60	2.90	3.14	2.00	2.79	3.43	3.51
2025	0.60	1.58	2.90	3.14	2.00	2.76	3.43	3.51
2026	0.58	1.55	2.90	3.14	2.00	2.74	3.43	3.51
2027	0.55	1.53	2.90	3.14	2.00	2.72	3.42	3.51
2028	0.52	1.51	2.90	3.14	2.00	2.69	3.42	3.51
2029	0.49	1.48	2.90	3.14	2.00	2.67	3.42	3.51
2030	0.46	1.46	2.90	3.14	2.00	2.65	3.42	3.51

### 3.5 Proyección de la demanda de agua de la ciudad al año 2030

La proyección de la dotación y del gasto de suministro a la ciudad de Chihuahua, se realizó para el año 2030; éste se hizo con base en el pronóstico de crecimiento de la población mostrado en el párrafo anterior.

Para el cálculo de la proyección de lotes comerciales, industriales y de servicios públicos, se consideró que tendrían un crecimiento paralelo al mostrado por la ciudad, así que mediante una regla de tres, se calcularon los lotes para los años siguientes. El mismo procedimiento se llevo a cabo para calcular los lotes industriales y de servicios públicos.



El consumo per cápita comercial, industrial y de servicios públicos, se calcularon de datos estadísticos proporcionados por la JMÁS, de su padrón de usuarios que cuentan con micromedición.

Para los lotes comerciales se tiene un consumo per cápita promedio de 37 m<sup>3</sup>/comercio/mes o 1233 l/comercio/día, para los lotes industriales su consumo per cápita promedio de 152 m<sup>3</sup>/industria/mes o 5067 l/industria/día y para los lotes de servicios públicos se tiene un consumo per cápita promedio de 132 m<sup>3</sup>/serv, Pub./mes o 4400 l/servicio público/día.

El consumo per cápita doméstico se consideró igual a 132 l/h/d para el año 2007, equivalente a 15.84 m<sup>3</sup>/toma/mes, con éste, además de los consumos comercial, industrial y de servicios públicos obtenidos de datos estadísticos y considerando un porcentaje de pérdidas del 39% (valor obtenido de la auditoría del agua realizada en el capítulo seis) se obtiene una dotación igual a 273 litros por habitante al día.

El consumo total de agua en la ciudad es la suma de todos los consumos y es igual a:  $C_T = C_D + C_C + C_I + C_{SP}$ , Donde,  $C_T$  representa el consumo total en m<sup>3</sup>/d,  $C_D$  es el consumo doméstico en m<sup>3</sup>/d,  $C_C$  es el consumo comercial en m<sup>3</sup>/d,  $C_I$  es el consumo industrial en m<sup>3</sup>/d y  $C_{SP}$  es el consumo de los servicios públicos en m<sup>3</sup>/d. **En total el consumo per cápita total de la ciudad de Chihuahua para el año 2008 es de 171 litros por habitante por día (ver Tabla 3.16; Error! No se encuentra el origen de la referencia.).**

Las pérdidas de agua potable se consideran que tienen un comportamiento descendente, considerando acciones que permitan de forma gradual ir reduciendo en dos puntos porcentuales anualmente hasta llegar a un 25 % en el año 2015.

La demanda de agua potable (en m<sup>3</sup>/d) se calculó con la ecuación siguiente,

$$Demanda = \left( \frac{C_T}{1 - \frac{\% \text{ de pérdidas}}{100}} \right) \quad (12)$$

La dotación incluye el consumo total más las pérdidas y se calculó dividiendo la demanda de agua potable entre la población y está dada en litros por habitante al día. **La dotación calculada para la ciudad de Chihuahua en el año 2008 es de 280 litros por habitante por día (ver Tabla 3.16).**

El gasto medio diario ( $Q_{med}$  en l/s) se calculó con la ecuación siguiente:



$$Q_{med} = \frac{\text{Dotación Población}}{86400} \quad (13)$$

El gasto máximo diario  $Q_{Md}$  (en l/s) se obtiene de multiplicar el gasto medio diario por el coeficiente de variación diaria  $CV_d$  igual a 1.40 (ver Manual de datos Básicos de la CNA).

$$Q_{Md} = CV_d Q_{med} = 1.40 Q_{med} \quad (14)$$

El gasto máximo horario  $Q_{Mh}$  (en l/s) se obtiene de multiplicar el gasto máximo diario por el coeficiente de variación horaria  $CV_h$  igual a 1.55 (obtenido del Manual de Datos Básicos de CNA).

$$Q_{Mh} = CV_h Q_{Md} = 1.55 Q_{Md} \quad (15)$$

La capacidad de regulación  $C$  en ( $m^3$ ) se calculó con la ecuación siguiente donde:  $R$  es el coeficiente de regulación y es igual a 11.0 cuando se considera un tiempo de bombeo hacia el tanque de 24 horas.

$$C = R Q_{Md} \quad (16)$$

Del análisis de comportamiento de demanda de la Ciudad, se establece que época de invierno la demanda de la población es equivalente al gasto medio diario; en época de mayor demanda, por condiciones climatológicas la de verano, esta se eleva en porcentaje equivalente al gasto máximo diario; por tanto el análisis de proyección de la demanda de agua se calculan dos tipos de gasto, el gasto medio diario que se debe suministrar a la ciudad para satisfacer la demanda de agua en invierno y el gasto máximo diario que se encarga de satisfacer la demanda de agua causada por las variaciones estacionales y por lo tanto es el gasto a suministrar en verano.

### 3.6 Comparativo entre los gastos de oferta - demanda y concesión de agua

Del análisis de proyección de la demanda surgen dos escenarios, el primero es la proyección del gasto medio diario, que es el caudal a suministrar para satisfacer la demanda en época invernal y el gasto máximo diario que es el caudal a suministrar en la estación de verano.

Este análisis es solo cuantitativo en cuanto a caudales y/o volúmenes y no considera los problemas técnicos de almacenamiento y distribución de estos. Al comparar ambos escenarios contra los derechos a ejercer de extracción de las fuentes, considerando el caudal concesionado por la CNA de 4766.09 litros por segundo (tanto fuentes subterráneas como superficiales), y con base en la proyección del gasto medio diario y gasto máximo diario mostrado en la Tabla 3.16, se obtiene los años para el cual la JMÁS va requerir de nuevas fuentes de abastecimiento, esto siempre que se ejerza o sea posible la extracción de todo el caudal concesionado; de manera



gráfica se muestra en la Lámina 3.9 el incremento de los gastos con respecto al caudal concesionado.

Para el año 2015, el gasto máximo diario será superior al caudal concesionado, por lo que para ese año la JMAS deberá contar con nuevas fuentes de suministro con la finalidad de satisfacer la demanda de agua en verano, y para el año 2028 el gasto medio diario será mayor a ese mismo caudal. Es decir en caso de explotar las fuentes en todo el caudal concesionado (lo cual no se hace en la actualidad) este caudal concesionado alcanzaría a cubrir la demanda hasta el 2015; de ambos escenarios (verano e invierno) y después del 2015 y hasta el 2028 tendrían que realizarse tandeos en la época de verano, ya que se cubriría sólo con la demanda de invierno

Si se quiere satisfacer la demanda de agua de la ciudad para el año 2030 en ambos escenarios y como límite la estación de verano, la JMAS deberá contar con una fuente de suministro que garantice un caudal de 7652 litros por segundo; considerando que se ejercen el total del caudal concesionado deberán adicionarse 2885.91 l/s; en el caso de la demanda de verano es necesario contar un caudal adicional al concesionado de 698.91 l/s.



**Tabla 3.16. Proyección de gasto de suministro a la ciudad de Chihuahua para el año 2030**

Año	Unidades	2007	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Población	habitantes	915493	944850	1005568	1169416	1351243	1552000	1772640
Consumo per cápita	(l/h/d)	132	136	150	165	165	165	165
Consumo doméstico	l/s	1399	1490	1746	2233	2580	2964	3385
consumo doméstico	m3/d	120845	128736	150835	192954	222955	256080	292486
Comercios	No. de comercios	12939	13354	14212	16528	19098	21935	25053
Consumo comercial	l/com/día	1233	1233	1233	1233	1233	1233	1233
Consumo comercial	l/s	185	191	203	236	273	313	358
Consumo comercial	m3/d	15958	16470	17528	20384	23554	27053	30899
Industrias	No. de industrias	1772	1829	1946	2263	2615	3004	3431
Consumo industrial	l/industria/día	5067	5067	5067	5067	5067	5067	5067
Consumo industrial	l/s	104	107	114	133	153	176	201
Consumo industrial	m3/d	8978	9266	9861	11468	13251	15220	17384
Servicios públicos	No. de serv. Pub.	1572	1622	1727	2008	2320	2665	3044
Cons. Serv. Pub.	L/serv pub/día	4400	4400	4400	4400	4400	4400	4400
Cons. Serv. Pub.	l/s	80	83	88	102	118	136	155
Cons. Serv. Pub.	m3/d	6917	7139	7597	8835	10209	11726	13393
Consumo Total	l/s	1767	1870	2151	2704	3125	3589	4099
Consumo Total	m3/d	152698	161610	185822	233642	269969	310079	354162
<b>Consumo Total</b>	<b>l/h/d</b>	<b>167</b>	<b>171</b>	<b>185</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>200</b>
Pérdidas agua	(%)	39	39	35	25	25	25	25
Demanda total	l/s	2897	3066	3309	3606	4166	4785	5465
Demanda total	m3/d	250325	264935	285880	311522	359959	413439	472215
Volumen de pérdidas	l/s	1130	1196	1158	901	1042	1196	1366
Volumen de pérdidas	m3/d	97627	103325	100058	77881	89990	103360	118054
<b>Dotación</b>	<b>l/h/d</b>	<b>273</b>	<b>280</b>	<b>284</b>	<b>266</b>	<b>266</b>	<b>266</b>	<b>266</b>
<b>Gasto medio diario</b>	<b>l/s</b>	<b>2897</b>	<b>3066</b>	<b>3309</b>	<b>3606</b>	<b>4166</b>	<b>4785</b>	<b>5465</b>
<b>Gasto máximo diario</b>	<b>l/s</b>	<b>4056</b>	<b>4293</b>	<b>4632</b>	<b>5048</b>	<b>5833</b>	<b>6699</b>	<b>7652</b>
Gasto máximo horario	l/s	6287	6654	7180	7824	9041	10384	11860
Capacidad de Regulación	m3	44618	47222	50956	55526	64159	73692	84168



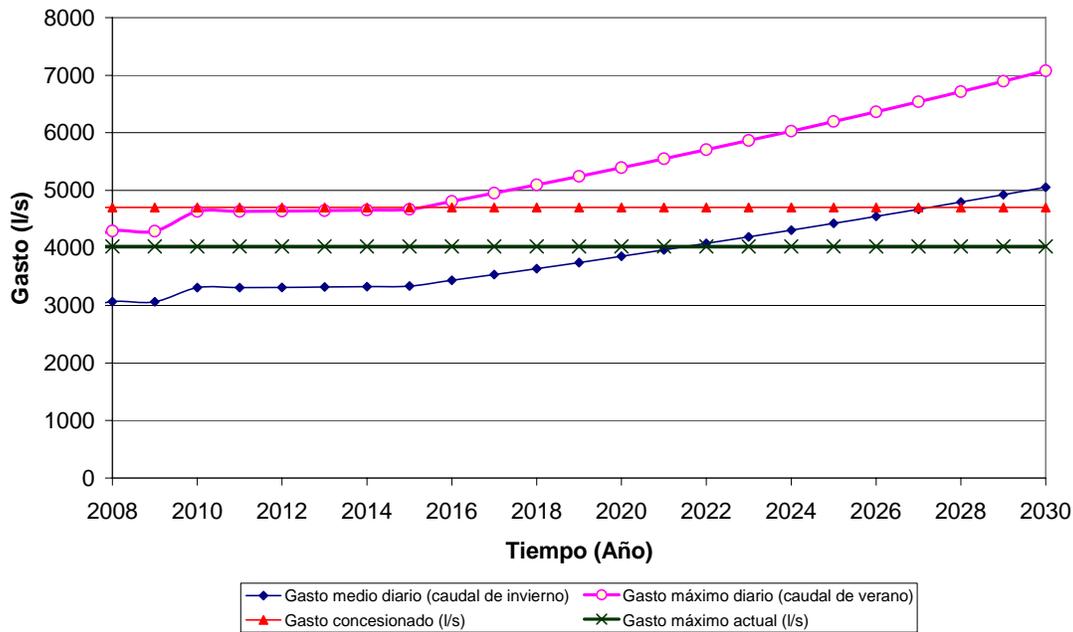
Si se considera que la capacidad de explotación de la JMAS en las fuentes de abasto de agua potable permaneciera constante en el tiempo, sin tomar en cuenta agotamiento de fuentes ni problemas técnicos (almacenamiento y distribución) teniendo el caudal máximo que puede producir actualmente la JMAS de 4,027 l/s, (definido como Gasto máximo actual) se observa en el análisis cuantitativo tanto en la Lámina 3.9, como en la Tabla 3.17, que:

- Es posible cumplir con la demanda de invierno por las 24 hrs., hasta el 2015, siempre y cuando se cumpla del análisis cualitativo que se muestra en capítulos posteriores de la revisión hidráulica de la infraestructura: su posición, funcionamiento de los puntos de captación-almacenamiento y distribución.
- Con el volumen de agua producido en la actualidad (2007), la demanda de verano no es posible satisfacerla, esto se refleja en la necesidad operativa de contar con horarios de servicio por sectores (tandeo) que tiene la JMAS en la ciudad.
- Si se fuera posible extraer el volumen o gasto con derecho a ejercer por la concesión otorgada por CNA, la demanda de invierno se podría satisfacer hasta el año 2025, siempre y cuando se realicen el ordenamiento de la red y la distribución de caudales mediante la sectorización definido del análisis cualitativo; y la demanda de verano se satisface hasta el 2010, con las mismas consideraciones.
- La limitante de igualar el gasto ofertado al concesionado en la actualidad es la problemática y dificultad de explotación/exploración de las fuentes donde aun, según amparan los títulos de derechos otorgados por CNA se tiene posibilidad de incrementar la extracción como son :
  - Acuífero en donde se localiza la batería de pozos Ojos del Chuviscar donde no ha sido posible encontrar gastos óptimos de explotación, por características geohidrológicas específicas de la zona.
  - Acuífero el Saúz-Encinillas en zonas exploradas, presenta problemas de calidad del agua.
  - Además del volumen concesionado de fuentes superficiales de agua que no se ha podido ejercer. por condiciones climatológicas y de infraestructura de captación.

Si se considera el gasto promedio producido en el año 2007 de 3533 l/s, la ciudad de Chihuahua tiene un déficit para satisfacer la demanda de verano y la demanda de invierno se satisface hasta el año 2016.



**Gastos medio diario y máximo diario contra gasto máximo ofertado actual y concesionado por CNA**



**Lámina 3.9. Gasto medio diario y gasto máximo diario contra el gasto concesionado por CNA a la JMAS**

**Tabla 3.17. Comparativo de los gastos: ofertado, demandado y concesionado en Chihuahua (calculada con base en mediciones del 2007).**

Tipo de caudal		2007	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Demanda	Gasto medio diario/invierno (l/s)	2897	3066	3309	3606	4166	4785	5465
	Gasto máximo diario/verano (l/s)	4056	4293	4632	5048	5833	6699	7652
	Gasto máximo horario (l/s)	6287	6654	7180	7824	9041	10384	11860
Oferta	Gasto máximo suministrado (l/s)	4027	4027	4027	4027	4027	4027	4027
Oferta promedio	Gasto promedio suministrado en 2007 (l/s)	3533	3533	3533	3533	3533	3533	3533
Concesionado	Gasto con derecho a extraer (l/s)	4766	4766	4766	4766	4766	4766	4766
Comparativo entre el gasto suministrado (oferta) y lo real	Balance invierno (l/s)	1130	961	718	421	-139	-758	-1438
	Balance verano (l/s)	-29	-266	-605	-1021	-1806	-2672	-3625
Comparativo entre el gasto concesionado y lo real (demanda)	Balance invierno (l/s)	1869	1700	1457	1160	600	-19	-699
	Balance verano (l/s)	710	473	134	-282	-1067	-1933	-2886



### 3.7 Tomas domiciliarias

En la Tabla 3.18, se muestra el número de usuarios registrados en la JMÁS de enero a diciembre del 2007. En enero de ese año se contaba con un total de 256,128 usuarios, y para diciembre de se incrementó a 265,413 tomas domiciliarias, es decir en 12 meses se incrementaron 9285 tomas.

En cuanto a la micromedición, para diciembre del 2007 se tenían 254,611 tomas con servicio medido lo que representa un 95.93% de cobertura, el restante 4.07% son usuarios de cuota fija.

En total la ciudad cuenta con el 93.70% de usuarios de tipo doméstico, 5.10% de usuarios de tipo comercial, 0.60 % de usuarios de tipo industrial y 0.61 % de usuarios de servicio público en los que se incluyen parques y jardines, escuelas y oficinas de gobierno.

**Tabla 3.18. Tomas domiciliarias por tipo de usuario (año de 2007)**

	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
<b>Servicio medido</b>	<b>243,449</b>	<b>244,746</b>	<b>245,816</b>	<b>246,296</b>	<b>247,519</b>	<b>249,619</b>	<b>250,112</b>	<b>251,079</b>	<b>251,764</b>	<b>253,001</b>	<b>253,964</b>	<b>254,611</b>
Doméstico	228,983	230,051	230,903	231,294	232,449	234,349	234,684	235,597	236,246	237,176	237,947	238,560
Comercial	11,367	11,563	11,752	11,828	11,904	12,260	12,411	12,453	12,485	12,777	12,957	12,986
Industrial	1,703	1,706	1,712	1,711	1,690	1,506	1,512	1,513	1,519	1,517	1,521	1,523
Publico	1,396	1,426	1,449	1,463	1,476	1,504	1,505	1,516	1,514	1,531	1,539	1,542
<b>Cuota fija</b>	<b>12,679</b>	<b>11,802</b>	<b>11,233</b>	<b>11,497</b>	<b>11,936</b>	<b>10,890</b>	<b>11,511</b>	<b>11,282</b>	<b>11,312</b>	<b>11,148</b>	<b>10,775</b>	<b>10,802</b>
Domestico	11,925	11,093	10,552	10,797	11,208	10,223	10,801	10,586	10,615	10,450	10,095	10,121
Comercial	592	558	537	552	575	535	571	560	571	563	550	551
Industrial	89	82	78	80	82	66	70	68	68	67	65	65
Publico	73	69	66	68	71	66	69	68	58	68	65	65
<b>Total de tomas de Agua</b>	<b>256,128</b>	<b>256,548</b>	<b>257,049</b>	<b>257,793</b>	<b>259,455</b>	<b>260,509</b>	<b>261,623</b>	<b>262,361</b>	<b>263,076</b>	<b>264,149</b>	<b>264,739</b>	<b>265,413</b>

### 3.8 Usos no autorizados y autorizados no medidos

#### 3.8.1 Usos no autorizados

Esta actividad implica la localización de tomas clandestinas o fraudulentas, la Dirección Comercial de la JMÁS, regularizó 2,619 usuarios que se encontraban conectados a la red pero que carecía de contrato y por consiguiente no se les cobraba el volumen de agua, el consumo estimado por la Dirección Comercial para estos usuarios es de 52,380 m<sup>3</sup>/mes (ver Tabla 3.19). Además se logró identificar a 117 usuarios clandestinos.



**Tabla 3.19. Usos no autorizados**

Conexiones no autorizadas localizadas	No de usuarios	Consumo estimado (m <sup>3</sup> /mes)
Regularizados	2,619	52,380
Clandestinos	117	29,360

### 3.8.2 Usos autorizados no medidos

Existen compromisos por parte de la JMAS para proporcionar parte del caudal producido a usuarios emplazados a lo largo de las conducciones principales.

Los pozos que conforman parte del batería del Sáuz II etapa; El Sáuz 31 a El Sáuz 16, se encuentra enclavada en terrenos ejidales por lo que la JMAS, para contar con la aprobación de los ejidatarios, autorizó la instalación de 17 tomas que suministran agua a igual número de bebederos para ganado.

En total el gasto que proporcionan los pozos en esta etapa es de 364.70 l/s (ver Tabla 3.20). El caudal derivado por las 17 tomas se estimó en 6.8 l/s que representa el 1.86 % del caudal total.

En la conducción de los pozos Terrazas que se incorpora a la conducción El Sáuz, parte del volumen de agua extraído por ambos pozos se deriva a la población del mismo nombre, el gasto tal producido por ambos pozos es de 172.3 l/s, de estos se derivan 14.65 l/s lo que representan el 8.5 % del gasto producido.

En la conducción Ojos de Chuviscar, también se tiene la misma situación, una parte de la tubería cruza por terrenos ejidales, por lo que la JMAS autorizó la instalación de tomas domiciliarias.

La batería de pozos de Ojos de Chuviscar produce un caudal de 203.9 litros por segundo, de éstos se derivan a las tomas ejidales un gasto de 19.18 l/s, que representa un 9.4 % del caudal total, este caudal se obtuvo de la campaña de medición de caudal (ver capítulo 5).

Dentro de la ciudad de Chihuahua, se tiene la colonia Ávalos en un fideicomiso, que le otorga la JMAS, por lo que no se les cobra el volumen de agua consumido, aunque la JMAS tiene instalado un macromedidor a la entrada de dicha colonia, el caudal registrado de noviembre 2007 a febrero del 2008 se consumieron 12728 metros cúbicos.



**Tabla 3.20. Tomas de agua para bebederos en la conducción el Sáuz.**

Pozo	Gasto	Tomas	Caudal (estimado) derivado por la toma (l/s)
Sáuz 31	38.40	1	0.4
Sáuz 30	36.00		
Sáuz 29	31.50	2	0.8
Sáuz 28	41.00		
Sáuz 27	38.90	1	0.4
Sáuz 26	33.10		
Sáuz 25	34.90		
Sáuz 24	36.00		
Sáuz 18	31.00	1	0.4
Sáuz 17	24.30		
Sáuz 16	19.60		
		12	4.8
Total	<b>364.70</b>	17	6.8

### 3.9 Recomendaciones y conclusiones

La población en la ciudad de Chihuahua presenta una tasa de crecimiento acelerado, en promedio del 3.14%, esto va de la mano con la tasa de crecimiento promedio de la superficie que ocupa la mancha urbana de la ciudad que es del 3.78%. Considerando esta información y de acuerdo a la población actual estimada a partir del número de usuarios domésticos registrados en la JMAS en diciembre del año en curso, se concluyó que la proyección realizada por la CONAPO subestima el crecimiento poblacional por lo que se seleccionó el método de ajuste por mínimos cuadrados, y a partir de éstos realizar la proyección de la demanda de agua potable para el año 2030.

Por lo anterior y con base en las proyecciones de la demanda (Tabla 3.16) y tomando como referencia la oferta actual y concesionada que presenta la JMAS (4766 l/s), la demanda en invierno es posible cubrirla hasta el año 2020, sin embargo debido al incremento del consumo por parte de los usuarios la demanda en verano sólo será posible satisfacerla hasta el año 2013. Siempre que se puede ejercer la totalidad del caudal concesionado Por tal motivo, a partir de ese año será necesaria la alternativa de nuevas fuentes de abastecimiento.

Aunque es importante mencionar que actualmente la JMAS tiene capacidad para extraer un caudal máximo de 4027 litros por segundo, caudal muy similar al gasto máximo diario demandado en el año 2008 de 4050 l/s, (demanda de verano) por lo que es necesario incrementar el gasto de suministro a la ciudad para evitar los problemas de suministro. Esto sumado a las acciones adicionales para la sectorización con el fin de distribuir equitativamente el servicio.



Si se toma en cuenta sólo el volumen de agua producido de 4,027 l/s, la demanda de verano no es posible satisfacerla en la actualidad, esto se refleja en los horarios de servicio tandeado que tiene la JMAS en algunos sectores de la ciudad.

La limitante de igualar el gasto ofertado al concesionario consiste en la dificultad de explotación/exploración de las fuentes subterráneas de los acuíferos de los que actualmente se abastece la ciudad, ya que aunque aún se tiene la posibilidad de incrementar el caudal de extracción éstos presentan problemas tanto de calidad como capacidad para encontrar los caudales óptimos de explotación. Por lo que es necesario estudios integrales en este rubro.

Si se considera el volumen de agua concesionado, la oferta disponible de agua en la ciudad de Chihuahua cubriría la demanda requerida, considerando que la JMAS tiene un caudal concesionado de 4766 l/s, por lo tanto, sería posible un servicio de 24 horas continuo sin necesidad de realizar tandeos en ambas estaciones. Esto sumado a las acciones adicionales para la sectorización con el fin de distribuir equitativamente el servicio.

La demanda de la ciudad presenta dos escenarios: invierno (de octubre a abril) y verano de (de mayo a septiembre). Esta situación conlleva a tener dos tipos de caudal por satisfacer: en invierno se tiene el gasto medio diario de 2878 l/s y en verano el gasto máximo diario de 4029 litros por segundo. El primero satisface la demanda durante la época invernal y el segundo cubre la demanda en el periodo de verano.

De la proyección de demanda y población, se establece que para el año 2015, la JMAS deberá contar con nuevas fuentes de suministro, ejerciendo el total del caudal concesionado, es decir, es necesario incrementar la capacidad de extracción e igualar a los derechos concesionados y si se desea satisfacer la demanda de agua para el año 2030, la Junta Municipal de Agua y Saneamiento deberá contar con un caudal de suministro de 7652 litros por segundo. Por lo que es necesario incrementar los derechos a partir del 2015 y la extracción física desde el presente año hasta igualar al volumen concesionado.

De la misma proyección de la demanda se realizó el cálculo para la capacidad de regulación, esto con el fin de satisfacer las variaciones horarias en la demanda de agua de la población. Para el año 2008 es necesario una capacidad de regulación de 47,222 m<sup>3</sup> y para el año 2030 se requerirá una capacidad de 84,168 m<sup>3</sup>, en el capítulo 3 se muestra la capacidad de almacenamiento de los tanques superficiales y elevados; en la actualidad se cuenta con una capacidad de regulación de 146,085 m<sup>3</sup>, lo que da 3.30 veces más que la requerida para regular los usos horarios de la demanda del año actual y 1.73 veces la capacidad de regulación requerida para el año 2030, es decir que en el rubro del almacenamiento de agua en la ciudad se esta sobre dimensionada la capacidad de regulación.

Es importante mencionar que si bien, la capacidad regulación es mayor que la requerida, lo que indicaría que no es necesario ejecutar obras adicionales, será necesario por medio del análisis hidráulico revisar si la ubicación para la construcción de algún nuevo tanque permitirá homogenizar presiones y amortiguar las variaciones horarias de alguna zona de la ciudad, con lo



CONVENIO DE COLABORACIÓN  
JMAS/IMTA/HC-0751



que se validará su instalación e implementación en campo. Debe entonces empatarse el análisis cualitativo (mediante el análisis hidráulico de funcionamiento) al cuantitativo para definir reubicación de estructuras de almacenamiento o construcción de nuevos tanques de regulación.

En cuanto a los usos autorizados no medidos que representan el 4.07 %, se recomienda llevar a cabo un registro de los volúmenes consumidos en este tipo de usuario, esto con fines de realizar un balance de agua más confiable, además de que esto permite llevar un control detallado de la cantidad de agua entregada a los mismos.



#### **4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN**

El sistema de abastecimiento de la Ciudad de Chihuahua incluye la extracción y explotación de dos tipos de fuentes como son: agua superficial y subterránea. Cuenta al 2007 con 8 líneas de conducción principales que transportan el líquido desde las fuentes hasta diversos tanques de almacenamiento y regulación, entre los que se encuentran 52 tanques superficiales y 40 elevados, además de 35 rebombes que facilitan la llegada del líquido desde la fuente hasta los tanques o en su caso a la red de distribución o directo a los usuarios. En total se tienen 134 pozos en activo que abastecen de agua a la ciudad.

##### **4.1 Fuente superficial**

Las principales captaciones de aguas superficiales, aledañas a la ciudad; 3 de ellas se encuentran aguas arriba en la parte poniente de la mancha urbana sobre los tributarios del Río Chuvíscar, las cuales son: Presa El Rejón, Presa Chuvíscar y la Presa Chihuahua. Teniendo las siguientes capacidades de almacenamiento 6.6, 2.4 y 32.3 Millones de m<sup>3</sup> respectivamente; las primeras dos tenían como objeto almacenar y regular avenidas; se consideran sin capacidad hidráulica por encontrarse totalmente azolvadas. La presa Chihuahua se encuentra sobre el río Chuvíscar para evitar inundaciones en la ciudad de Chihuahua

La cuarta se encuentra la parte nor-poniente de la mancha urbana emplazada aproximadamente a 30 km en terrenos ejidales en el cauce del Río Sacramento llamada San Marcos. Con capacidad de 9.0 Millones de m<sup>3</sup> con el fin de irrigación agrícola.

Dado el régimen de precipitación de la región se considera que son a fuente no segura e irregular para el sustento del abasto de agua potable; además todos los embalses fueron construidos a principios de los años 1900, no contando con mantenimiento están prácticamente inoperables.

Para suministro de agua potable la única captación de agua de tipo superficial proviene de la presa Chihuahua ubicada a 8.5 kilómetros al sur oeste de la ciudad, que de acuerdo al registro de producción del 2007 la presa operó durante tres meses (ver Tabla 4.1) aportando un volumen de los meses de mayo a julio de 374,100 m<sup>3</sup> que representa un 0.46% del volumen suministrado a la ciudad desde los meses de enero a diciembre del 2007. El agua de la presa se conduce a la Planta Potabilizadora para su tratamiento antes de ser suministrada a la población (ver Lámina 4.1).

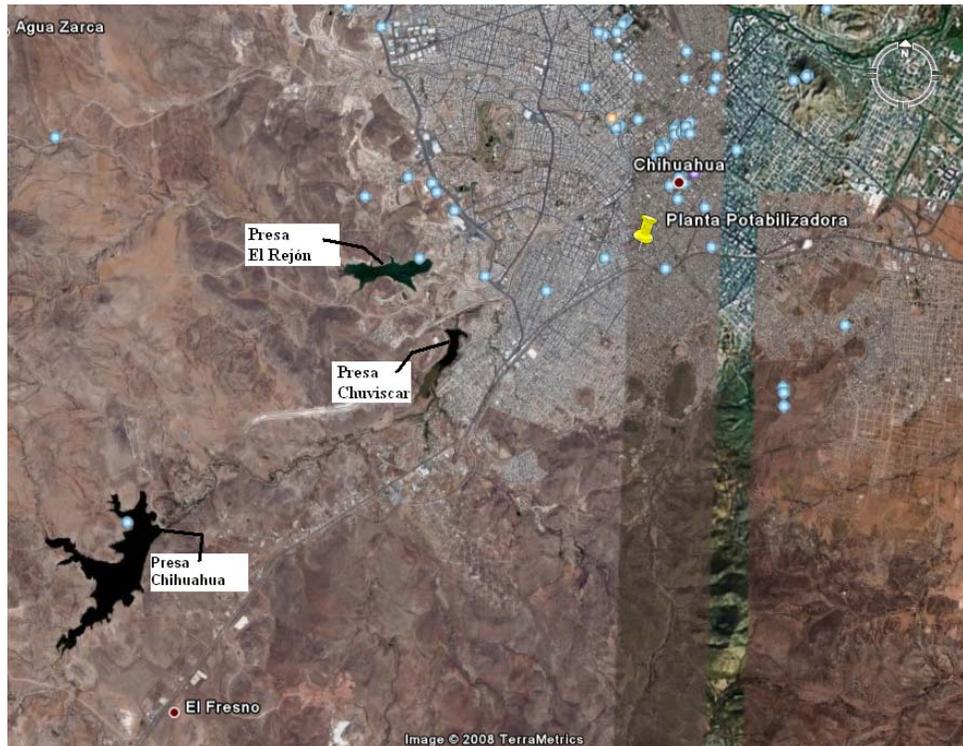


Lámina 4.1. Localización de la presa Chihuahua, fuente superficial de agua a la ciudad de Chihuahua.

## 4.2 Fuente subterránea

El agua subterránea es el sustento casi en su totalidad (más del 99%) para el abasto de agua potable de la Ciudad, a continuación se hace una descripción general de los acuíferos de los que se extraen.

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CNA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes; estos acuíferos han sido estudiados desde la década de los 60's por parte de la institución normativa tanto de las antecesoras de la CNA como de esta.

La descripción de los acuíferos se obtiene de tres informes de la Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua, denominados "Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuíferos de Chihuahua – Sacramento; Sáuz – Encinillas; y Tabalaopa Aldama. Estos estudios los realizó el Instituto de Recursos Naturales, Especialidad Hidrociencias del Colegio de Posgraduados en el año 2000.

En estos estudios se determinan los balances de los acuíferos y su disponibilidad mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua, que establece



las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales (Lámina 4.2).

$$\begin{array}{r} \text{DISPONIBILIDAD} \\ \text{ANUAL DE AGUA} \\ \text{SUBTERRANEA EN UNA} \\ \text{UNIDAD HIDROGEOLOGICA} \end{array} = \begin{array}{r} \text{RECARGA} \\ \text{TOTAL MEDIA} \\ \text{ANUAL} \end{array} - \begin{array}{r} \text{DESCARGA} \\ \text{NATURAL} \\ \text{COMPROMETIDA} \end{array} - \begin{array}{r} \text{VOLUMEN} \\ \text{CONCESIONADO DE} \\ \text{AGUA SUBTERRANEA} \end{array}$$

**Lámina 4.2. Esquema para realizar el balance de un acuífero**

Así mismo la limitación del área de estudio/acuífero esta definido por el “ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua”.

Cabe mencionar que los tres acuíferos que son sustento del abasto de agua potable para la Ciudad de Chihuahua se encuentran denominados como Zonas de Veda en diferentes proporciones y clasificaciones.

La veda restringe el incremento de la extracción de agua de los usuarios existentes o el otorgamiento de nuevas concesiones/asignaciones, en los términos establecidos en cada decreto. Los decretos emitidos para declarar Zona de Veda describen la delimitación territorial en la que se aplicará este ordenamiento

#### 4.2.1 Acuífero Chihuahua Sacramento (ACHS)

El acuífero de Chihuahua-Sacramento se localiza en parte central del estado de Chihuahua, subyaciendo la superficie ocupada por la mancha urbana de la capital del estado. El acuífero cubre un área aproximada de 2 390 km<sup>2</sup> y está limitado por la sierra La Carbonera al occidente, la sierra Nombre de Dios al oriente, al sur se encuentra cerrado por un estrechamiento de las sierras antes mencionadas y al norte por alto topográfico. Queda comprendido entre las coordenadas 28°25' y 29°01' de latitud norte, y los 105°57' y 106°34' de longitud oeste. Este acuífero se encuentra con publicación y delimitación de la zona de veda desde el 7 de Febrero de 1952. El acuífero es explotado principalmente para abasto de agua potable a la ciudad de Chihuahua.

La recarga total media anual, calculada como la suma de la recarga natural (43.4 Mm<sup>3</sup>/año), más la recarga inducida (22.4 Mm<sup>3</sup>/año), arroja un valor de 65.8 Mm<sup>3</sup>/año.

Las salidas del sistema acuífero están integradas por las descargas naturales, más las descargas artificiales por efecto del bombeo en los pozos y por evapotranspiración de los niveles freáticos someros. Las salidas totales del sistema se han calculado en 124.8 Mm<sup>3</sup>/año, de los cuales la totalidad son debidos a la extracción por bombeo ya que no se consideraron salidas por



evapotranspiración y el acuífero no presenta salidas ya que todo el flujo converge al cono de abatimiento.

La evolución del nivel estático en el ACHS, nos indica un flujo de agua subterránea en dirección preferente de norte a sur, correspondiendo las elevaciones mayores a la parte norte del valle y las menores al área urbana de la ciudad de Chihuahua donde se aprecia varias zonas de convergencia del flujo o conos de abatimiento ocasionado por el bombeo concentrado. En forma general las curvas de igual elevación son perpendiculares a los ríos Chuvíscar y Sacramento; considerando un abatimiento promedio anual en el ACHS mayores a 1 m, y en algunas zonas de 3 m al año (esto donde se encuentran baterías de la JMAS)

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga de  $65.8 \text{ Mm}^3/\text{año}$  y una descarga de  $124.8 \text{ Mm}^3/\text{año}$  por lo que el cambio del almacenamiento subterráneo es de  $-59 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , en otras palabras, se está sobreexplotando.

El volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), al 15 de octubre de 2000, consiste en  $18'043,110 \text{ m}^3/\text{año}$

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la "NOM-011-CNA-2000," se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPGA, de esta forma la disponibilidad es de  $47'756,890 \text{ m}^3/\text{año}$ . Desde luego se recomienda que las nuevas concesiones se realicen fuera del área de abatimientos y concentración de pozos actuales.

#### 4.2.2 Acuífero Tabalaopa Aldama (ATA)

El valle de Tabalaopa-Aldama se ubica en la región central del estado de Chihuahua, entre los paralelos  $28^{\circ}53'$  y  $28^{\circ}32'$  de latitud norte y los meridianos  $105^{\circ}54'$  y  $106^{\circ}02'$  al oeste de Greenwich, y se le incluye en la denominada zona semi-desértica de la altiplanicie Mexicana.

La explotación actual del agua subterránea se concentra en la porción centro-sureste del valle, fundamentalmente en una franja paralela al río Chuvíscar, entre las poblaciones de Aldama y Chihuahua. Dicha explotación dedicada en su mayoría al uso agrícola y le sigue en importancia la extracción para uso público urbano. Este acuífero se encuentra con publicación y delimitación de la zona de veda desde el 31 de Diciembre de 1953.

La recarga al acuífero proviene principalmente de las infiltraciones del agua de lluvia que se precipita tanto en el valle como en los flancos montañosos y a lo largo del cauce de los escurrimientos, aunque su aporte está limitado por la baja precipitación y alta evaporación. En menor proporción se tienen entradas por flujo subterráneo. De manera inducida se produce recarga importante por medio de los retornos de riego en las zonas agrícolas y las pérdidas en la red de canales de riego con aguas residuales. La suma de estos volúmenes arroja un valor de recarga media anual de  $55 \text{ Mm}^3/\text{año}$ .



Las salidas del sistema acuífero están integradas por las descargas naturales que tienen lugar a través de las salidas por flujo subterráneo. Sin embargo, dada la configuración de la superficie piezométrica en forma concéntrica hacia la zona de bombeo intensivo, se considera que no existen salidas naturales, y la descarga más importante se produce a través del bombeo de la gran cantidad de pozos que existe en el valle. De esta manera, las salidas totales del sistema son del orden de  $66 \text{ Mm}^3/\text{año}$ . Representado por un ritmo de abatimiento promedio en el valle de  $1.1 \text{ m/año}$ , y en la porción occidental del valle, de  $2 \text{ m al año}$  (esto donde se encuentran baterías de pozos de la JMAS y la zona agrícola).

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga de  $55 \text{ Mm}^3/\text{año}$  y una descarga de  $66 \text{ Mm}^3/\text{año}$  por lo que el cambio del almacenamiento subterráneo es de  $-11 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , en otras palabras, se está *sobreexplotando*.

En cuanto a la disponibilidad de aguas subterráneas; contamos que el volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), hasta el 15 de octubre de 2000, es de  $32'107,254 \text{ m}^3$  anuales.

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada por CNA, se obtiene al restarle a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPGA, calculada en  $22'992,746 \text{ m}^3/\text{año}$ . La cifra indica que existe volumen disponible de  $22'992,746 \text{ m}^3/\text{año}$  para nuevas concesiones, cuidando desde luego no concentrar las nuevas extracciones en zonas con alta densidad de aprovechamientos actuales.

#### 4.2.3 Acuífero Sáuz – Encinillas (ASE)

El acuífero El Sáuz-Encinillas se localiza en la porción central del estado de Chihuahua, cubriendo una superficie  $3\,036 \text{ km}^2$ , que representa cerca del 1.2% del territorio estatal. Geográficamente, la zona de estudio se localiza entre los paralelos  $28^\circ 57'$  y  $29^\circ 32'$  de latitud norte y entre los meridianos  $106^\circ 04'$  y  $106^\circ 40'$  de longitud oeste del Meridiano de Greenwich. La zona está prácticamente dentro del municipio de Chihuahua abarcando cerca del 95% de él, y de manera reducida ocupa parte de los municipios de Aldama y Riva Palacio. La explotación actual del agua subterránea es su mayoría se encuentran en la zona centro y sur del valle Dicha explotación dedicados en su mayoría al uso agrícola y le sigue en importancia la extracción para uso público urbano Este acuífero se encuentra con una publicación de Veda el 12 de Enero de 1978.

La recarga total media anual, de acuerdo con el balance realizado por CNA, resultó de  $106.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , de los cuales corresponden  $81.9 \text{ Mm}^3/\text{año}$  a la recarga natural y  $24.6 \text{ Mm}^3/\text{año}$  a la recarga inducida.

Las salidas del ASE es mediante los aprovechamientos activos (pozos profundos), se viene explotando un volumen del orden de  $143.3 \text{ Mm}^3/\text{año}$ . Del volumen extraído, el 82.1% utilizado para fines agrícolas; el 15.7 % es para uso público urbano, y para los usos doméstico, ganadero



y avícola se destinan 2.2%. En cuanto el volumen por descarga natural de este acuífero se considera nulo por caudal base y 8.3 Mm<sup>3</sup>/año por evapotranspiración; dando un total de salidas de 156.2Mm<sup>3</sup>/año.

De acuerdo con la distribución espacial del bombeo en la zona de estudio, las áreas con mayores evoluciones negativas se asocian directamente con las zonas de mayor extracción; como en la zona del ejido de Ocampo, en donde se ubican los pozos de agua potable de la primera etapa, que equivale a un ritmo de descenso aproximado entre 2 y 3 m/año en esta región. Otra zona que presenta una evolución negativa importante se presenta en el ejido Teófilo Borunda en la región central del área de estudio. Aquí esta la mas importante zona de riego y la segunda etapa de pozos de agua potable, el abatimiento de los niveles en los pozos, aunque menor que el registrado en la zona sur, es del orden de 2 m/año aproximadamente.

Entre estos dos conos de abatimiento los descensos son menores, pues el promedio de abatimiento anual es aproximadamente de 1 m/año. La zona norte del área de interés es el territorio que manifiesta una menor evolución negativa del nivel estático.

Se realizó el balance considerando la variación de los niveles piezométricos en 1.5 m/año, resulta un cambio de almacenamiento de -49.7 Mm<sup>3</sup>/año, en otras palabras, se esta **sobreexplotando**.

En cuanto a la disponibilidad de aguas subterráneas, de acuerdo a la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero, al 15 de octubre del 2000, es de 58'249,154 m<sup>3</sup>/año. Existen volúmenes disponibles de 48'250,846 m<sup>3</sup>/año, para nuevas concesiones, aunque debe cuidarse el otorgamiento en sitios donde existen abatimientos de del nivel del agua.

#### 4.2.4 Volúmenes de agua extraídos de los acuíferos

Actualmente se extrae agua de tres acuíferos denominados (ver Lámina 4.3): Sáuz Encinillas, Tabalaopa Aldama, Chihuahua Sacramento y Ojos de Chuviscar (que pertenece al acuífero de Chihuahua Sacramento), en la Tabla 4.1, se muestran los volúmenes de agua extraídos por cada acuífero para los meses de enero a diciembre del 2007, en total el volumen extraído del acuífero Sáuz Encinillas representa el 20.86 % del volumen total, del acuífero Tabalaopa Aldama se extrae el 30.13 % del volumen de agua que se suministra a la ciudad, del acuífero Chihuahua Sacramento se extrae el 43.00 % más lo de la zona de Ojos de Chuviscar que se extrae el 6.00 por ciento, que representa el 49 por ciento.

Como se puede observar en la Tabla 4.2, el ACHS es el primer acuífero en ser el sustento de agua potable para la Ciudad, después en secuencia entraron los ATA y ASE. En la tabla, se muestran las diferentes baterías de pozos existentes en los distintos acuíferos, su año de incorporación al sistema de distribución, así como el gasto de extracción dado y los pozos en activo en el año 2007; siendo las baterías de pozos más antiguas la Panamericana y la de Ojos de Chuviscar que se incorporaron en el año de 1968 con 6 y 5 pozos autorizados, de los cuales en el



2007 se tienen en activo cuatro pozos por cada batería. La batería de pozos Panamericana extrae 176.4 l/s y La batería de pozos Ojos de Chuviscar extrae en promedio 216.2 l/s; ambas del acuífero ACHS.

En el año de 1977 se incorporó la batería de pozos Sacramentos Viejos con 5 pozos, aunque actualmente sólo se encuentran 4 de ellos en activo con un gasto de extracción de 153.8 l/s del ACHS. En el año de 1980 se incorporan dos baterías de pozos, una denominada Tabalaopa-Aldama con 8 pozos en activo en el año 2007, con un gasto de 258.4 l/s; dando inicio a la explotación en el ATA para agua potable y la batería de Sacramento Norte con 7 y hoy con 9 pozos en activo con un gasto de 286.6 l/s del ACHS.

En 1985 se incorpora la batería de pozos Tabalaopa Nombre de Dios, con 7 pozos y 6 aún en operación con un gasto de 204.4 l/s del ATA En 1986 se incorpora la primera batería de pozos en el ASE llamada Saúz Etapa I, integrada de 12 aprovechamientos con 11 pozos en activo dando un gasto de 240.4 l/s; y hasta el año 1996 se incorpora la batería de pozos El Saúz etapa II con 12 pozos profundos y de los cuales todos están en activo para un gasto de 434.8 l/s del mismo acuífero ASE.

Es hasta el 2004 que se tiene la batería de pozos Puerta de Chihuahua con 7 pozos y solo 6 pozos están equipados y en activo para un gasto de 420.6 l/s emplazados en el ATA. Aquí cabe hacer mención que existen más puntos de exploración en la actualidad que aún no se definen en explotación. También en este año se incorporaron los 2 pozos estación terrazas con un gasto promedio en el 2007 de 170 l/s del ASE.

A partir del 2006 se incorporan 6 pozos en la batería denominada Riberas de Sacramento, de los cuales sólo 5 están equipados y proporcionaron en el 2007 un gastote 111 l/s; en el acuífero ACHS, aquí se encuentran mas puntos emplazados para entrar en operación próximamente.

A lo largo de la ciudad de Chihuahua existen 62 pozos profundos los cuales no están agrupados en arreglos denominados baterías, por lo cual los consideramos aislados; estos extraen agua de los acuíferos Chihuahua Sacramento y Tabalaopa Aldama para un gasto 1360 litros por segundo.

En total las baterías de pozos y los pozos aislados suman 134 pozos activos que suministran un caudal máximo de explotación de 4027 litros por segundo a la ciudad de Chihuahua. Se les denomina activos ya que éstos operan permanentemente.



Lámina 4.3. Acuíferos que abastecen a la ciudad de Chihuahua.

Tabla 4.1. Volumen de agua extraído por fuente de suministro en el año 2007 (m<sup>3</sup>/mes)

Mes	Acuíferos				Fuentes Superficiales	Total
	Sáuz Encinillas	Tabalaopa Aldama	Chihuahua Sacramento	Ojos de Chiviscar también pertenece al acuífero ACHS		
Enero	2,166,555	2,752,741	3,505,363	533,915	0	8,958,574
Febrero	1,922,297	2,424,106	3,140,265	498,534	0	7,985,202
Marzo	2,044,395	2,825,581	3,598,531	526,724	0	8,995,231
Abril	2,052,512	2,799,269	3,601,099	525,615	0	8,978,495
Mayo	2,095,730	2,828,018	3,654,559	525,303	78,700	9,182,309
Junio	1,947,595	2,678,921	3,811,392	575,298	151,200	9,164,405
Julio	2,003,084	2,932,677	4,746,658	570,715	144,200	10,397,334
Agosto	1,759,988	2,871,745	4,066,857	534,578	0	9,233,169
Septiembre	1,731,402	2,781,847	4,214,944	512,205	0	9,240,398
Octubre	1,706,379	2,854,759	4,380,609	537,216	0	9,478,962
Noviembre	1,727,088	2,658,189	4,115,196	530,418	0	9,030,891
Diciembre	1,724,876	2,743,295	4,212,174	557,960	0	9,238,305
Total (m <sup>3</sup> /año)	22,881,900	33,151,147	47,047,646	6,428,481	374,100	109,883,274
Gasto (l/s)	<b>735.7</b>	<b>1065.8</b>	<b>1512.6</b>	<b>206.7</b>	<b>12.0</b>	<b>3532.8</b>
Total (%)	20.82%	30.17%	42.82%	5.85%	0.34%	100.0%



Es importante mencionar que en la Tabla 4.2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestran la capacidad máxima de caudal producido, este registro se tuvo para el mes de julio del 2007. El caudal extraído de cada acuífero varía mes a mes como se muestra en la Tabla 4.1, en donde se tienen los registros promedios mensuales.

**Tabla 4.2. Capacidad máxima de caudal producido en los pozos por acuífero y año de incorporación a la red de distribución**

Año de incorporación	Baterías de Pozos	No de pozos autorizados	No de pozos activos	Gasto (l/s)	Acuífero
1968	Panamericana	6	4	176.4	Chihuahua Sacramento
1968	Ojos de Chuviscar	5	4	216.2	Ojos de Chuviscar
1977	Sacramentos Viejos	5	4	153.8	Chihuahua Sacramento
1980	Tabalaopa Aldama	7	8	258.4	Tabalaopa Aldama
1980	Sacramentos Norte	7	6	286.6	Chihuahua Sacramento
1985	Tabalaopa Nombre de Dios	7	6	204.4	Tabalaopa Aldama
1986	Sáuz Etapa I	12	10	240.4	Sáuz Encinillas
1996	Sáuz Etapa II	12	12	434.8	Sáuz Encinillas
2004	Puerta de Chihuahua	7	6	420.6	Tabalaopa Aldama
	Ribera de Sacramento	5	5	111.0	Chihuahua Sacramento
Variable	Pozos aislados		60	1524.4	Chihuahua Sacramento y Tabalaopa Aldama
Total			125	4027.0	

En la Tabla 4.3, se muestra el volumen de agua concesionado por la CNA para ser extraído en cada acuífero, el gasto total concesionado es de 4766.09 l/s que es mayor al gasto máximo extraído en el mes de julio de 4027 litros por segundo. También se tiene una concesión de agua superficial, pero debido a la poca precipitación no es posible su aprovechamiento.

En la misma tabla se muestra el gasto máximo extraído por cada acuífero, del gasto concesionado para el acuífero Sáuz Encinillas de 1350.39 l/s, se extrajo un caudal máximo de 840.20 l/s. En el Acuífero Tabalaopa Aldama del gasto concesionado de 874.85 l/s se extrajo un caudal máximo de 1213.40 l/s y del acuífero Chihuahua Sacramento y Ojos de Chuviscar, del gasto concesionado de 2540.85 l/s se extrajeron un caudal máximo de 1973.40 l/s. Es decir que del acuífero Tabalaopa Aldama se extrae un volumen mayor al concesionado, sin embargo de los otros dos acuíferos se tiene un volumen de extracción menor al concesionado.



**Tabla 4.3. Volumen de Agua concesionado por la CNA para ser extraído de los acuíferos y gasto máximo extraído en el 2007 por la JMAS.**

Acuífero	Gasto autorizado por la CNA (l/s)	Gasto extraído en 2007	
		(l/s)	(%)
Sáuz Encinillas	1350.39	840.20	20.86
Tabalaopa Aldama	874.85	1213.40	30.13
Chihuahua Sacramento y Ojos de Chuviscar	2540.85	1973.40	49.00
Total	4766.09	4027.00	100.00

**Tabla 4.4. Títulos de concesión para explotación de los acuíferos y volumen concesionado y extraído promedio en el año 2007.**

Acuífero	Título de Concesión	Unidades	Volumen Asignado Agua del Subsuelo	Volumen extraído total (año 2007)	Disponibilidad de ejercer en concesión
Chihuahua Sacramento	2CHH100310/24HMSG94	m3/año	80,129,200	62,233,142.4	17,896,057.6
	2CHH100313/24HMSG96	l/s	2540.88	1973.40	567.48
Tabalaopa Aldama	2CHH100310/24HMSG94	m3/año	27,273,900	38,265,782.4	-10,991,882.4
		l/s	864.85	1213.40	-348.55
Sáuz Encinillas	2CHH100310/24HMSG94,129,490,100	m3/año	42,585,400	22,88,1900	19,703,500
	2CHH100313/24HMSG96,20,498,400	l/s	1350.37	725.58	624.79

Como es posible observar en la Tabla 4.3 y Tabla 4.4, existe posibilidad o disponibilidad de ejercer derechos en dos de los acuíferos donde la JMAS tiene concesión ACHS y ASE, Existen varias razones que dificultan la explotación y ejercicio de los derechos disponibles en estos acuíferos:

- En el acuífero Chihuahua Sacramento (ACHS)
  - a) Los derechos disponibles (356 l/s) se encuentran emplazados en la zona denominada Ojos de Chuviscar (OCH); dado su situación geomorfológica que dificulta la exploración y por ende la explotación de gastos sustentables, ha sido casi imposible su ejercicio. Se tienen estudios de prospección geohidrológica realizados por JCAS-CNA.
  - b) Los demás derechos (210 l/s) otorgados en este acuífero se encuentran en la superficie vedada (en el valle); donde la normatividad que existe en relación a esto, “*es que en los acuíferos en zona de veda no es posible hacer la transferencia de derechos aún dentro de las mismas cuencas geohidrológicas*”. En cuanto al valle del ACHS la explotación adicional es sólo posible con la redistribución de gastos entre aprovechamientos, sustitución de pozos o en su defecto en la compra de derechos de concesión.
- En el acuífero Sáuz Encinillas (ASE)

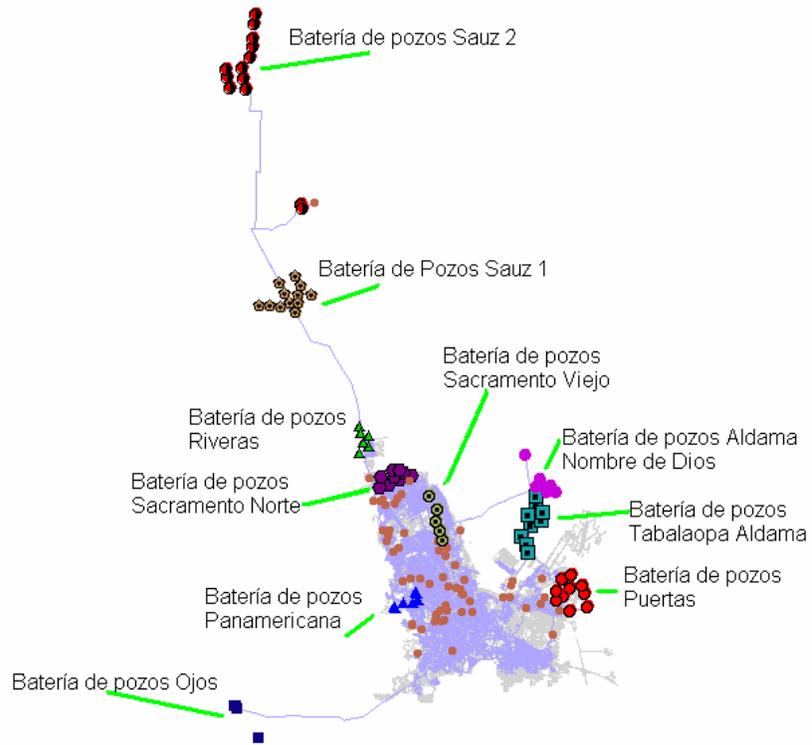


- c) Donde se encuentran las baterías de pozos de la JMAS es también un lugar muy estresado hidrológicamente por la actividad agrícola, delimitando entonces la zona de ejercicio de los derechos disponibles más hacia el norte en el valle; donde se han encontrado parámetros con concentraciones mayores a los límites permisibles para el consumo de agua potable, dando mala calidad del agua y además con poca productividad hidráulica. Esto determinado con estudios realizados por JCAS-CNA.
- d) Existe además la situación que en estos momentos se presenta en la exploración y explotación de zonas de libre alumbramiento dentro de: El ACHS, que se localizan en la zona de recarga en la sierra la carbonera y en la parte norte del valle colindante al ASE y en la parte sur colindante al ATA. En el ASE en la parte sur colindante al ACHS y en el ATA en la parte sur colindante a la Sierra de Santa Eulalia y la norte colindante con ASE. Donde la normatividad existente no contempla ningún tipo de lineamiento de explotación (como distancias mínimas entre pozos, gastos de extracción) e incluso no son tomados en cuenta para determinar disponibilidad de concesión según la NOM-011-CNA-2000; pues al encontrarse en zona denominada de libre alumbramiento por la modificación que sufrió la norma en el 1994, no es necesario el aviso a la CNA. Por lo tanto no se cuenta con el registro de los aprovechamientos emplazados en dichas superficies.

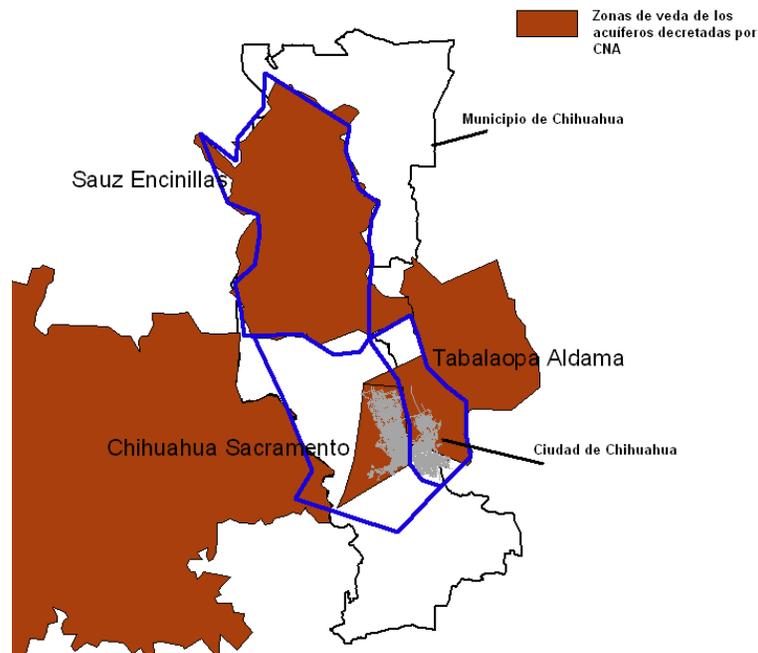
La CNA ha decretado las zonas de veda como se muestran en la (Lámina 4.5). Del acuífero Saúz Encinillas, sólo una pequeña porción, aproximadamente el 5% del área que ocupa el acuífero no esta en veda (zona de libre alumbramiento); del acuífero Tabalaopa-Aldama, la zona norte y la zona sur puede ser usada para extraer agua que representa el 35 % del área que cubre el acuífero; el acuífero Chihuahua Sacramento es el que menos área de veda tiene, con sólo el 25% de su superficie, aunque el área restante se encuentra en zona serrana con poca probabilidad de encontrar agua subterránea.

Cabe señalar que todos los aprovechamientos de agua subterránea que tiene la JMAS en activo cuentan con macromedidores y sistema de telemetría, así mismo los pozos cuentan con monitoreo continuo en cuanto a los niveles estático y dinámico en cuanto a la eficiencia electromecánica de los equipos de los pozos será abordado en capítulos posteriores.

Sin embargo es necesario que la JMAS realice estudios específicos de perímetros de protección sobre la captación para cada pozo que le den certidumbre y sustentabilidad a las políticas de operación de las baterías de pozos. Esto mediante el análisis integral de los componentes de las baterías: geohidrologicamente, funcionamiento electromecánico e infraestructura física de captación (ademes rasurados).



**Lámina 4.4. Localización de las principales baterías de pozos en Chihuahua**



**Lámina 4.5. Zonas de veda de los tres acuíferos que abastecen a la ciudad de Chihuahua**

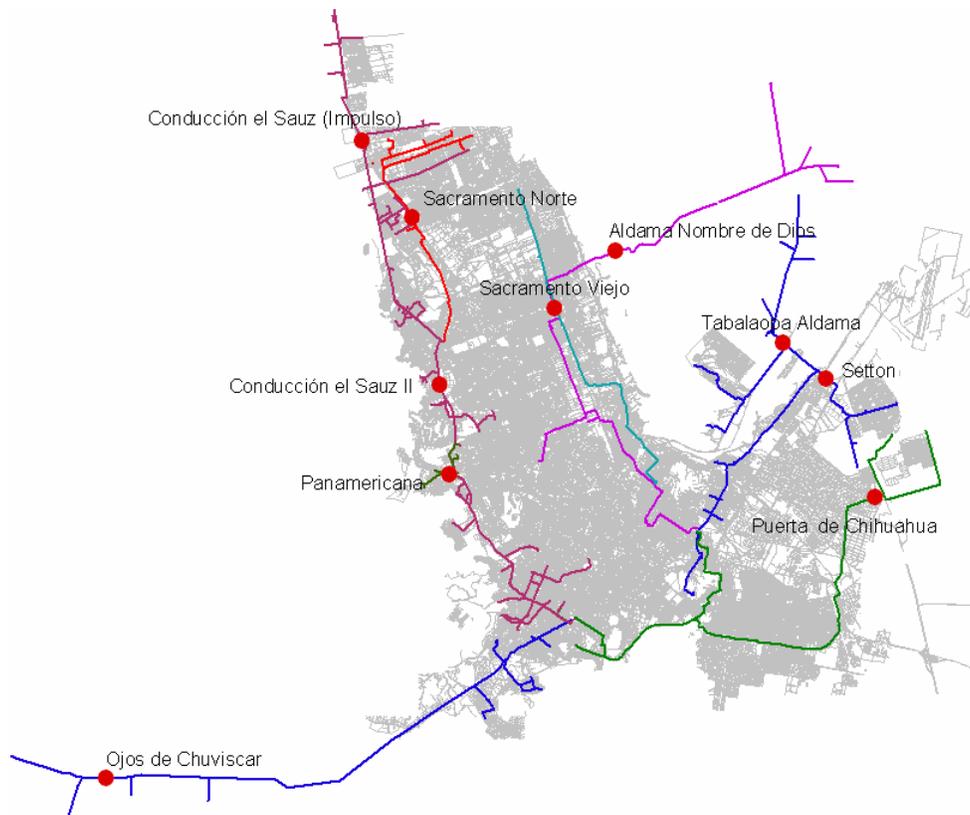


### 4.3 Líneas de conducción

En total, se cuenta con ocho líneas de conducción principales (ver Tabla 4.5 y Lámina 4.6). Por el gasto de 675 l/s proveniente de las baterías Etapa I y II del Saúz, que suministra la conducción/acueducto El Saúz es la más importante, seguida de la conducción Puerta de Chihuahua con 420.58 litros por segundo. En los subcapítulos siguientes se hace una descripción de cada una de las conducciones.

**Tabla 4.5. Descripción general de las conducciones**

No.	Conducción	Material	Gasto (l/s)
1	El Sáuz Etapa I y II	Concreto, Acero y AC	675.00
2	Puerta de Chihuahua	Acero	420.58
3	Tabalaopa Nombre de Dios	Acero y AC	204.39
4	Tabalaopa Aldama	AC	258.38
5	Sacramento Norte	AC	286.59
6	Ojos de Chuviscar	AC	216.20
7	Sacramentos Viejos	AC	153.82
8	Panamericana	AC	176.44
Total			2391.40



**Lámina 4.6. Líneas de conducción en la ciudad de Chihuahua**



#### 4.3.1 Conducción Puerta de Chihuahua.

La conducción Puertas de Chihuahua, abastece de agua potable la zona sur de la ciudad de Chihuahua, provenientes de la batería de pozos que está localizada en la parte sur este de la misma, esta batería se compone de seis pozos de profundos (ver Lámina 4.7) conocidos por el mismo nombre: Puerta de Chihuahua numerados del uno al seis.

Al inicio de la conducción se tienen dos líneas la primera que conduce el agua de los pozos Puerta de Chihuahua 1 y 2 de 18 pulgadas de diámetro de asbesto cemento (A-C) con una longitud de 2,527 metros, y la segunda de 20 pulgadas de diámetro de A-C y con una longitud de 4053 m, que conduce el agua de los Puerta de Chihuahua no. 3 a no. 6, éstas se entroncan en una sola línea de conducción de 36 pulgadas de diámetro de acero que conduce el agua una distancia de 4631 metros hasta el rebombeo “Crucero” localizado en la cota 1435.86 msnm, en este punto el agua es enviada hasta el rebombeo Cerro Grande de donde se alimenta al tanque Cerro Grande, con capacidad de 5000 m<sup>3</sup> y localizado en la cota 1535 msnm, la distancia desde el rebombeo “Crucero” hasta el tanque Cerro Grande es de 6552 metros y el diámetro de la conducción en este tramo es de 36 pulgadas.

En todo el tramo desde los Pozos Puertas de Chihuahua hasta el tanque Cerro Grande no existen derivaciones de agua a la red de distribución. Una vez en el Tanque Cerro Grande, se tiene una salida que suministra a red de 24 pulgadas que abastece a las colonias: Vencedores, Mármol III etapa, Leandro Valle, Clara Córdova, Vista Valle Hermoso, Luís Donaldo Colosio, entre otras.

Después del tanque Cerro Grande existen seis derivaciones de agua, la primera es la conducción que une Puerta de Chihuahua con el tanque Santa Rita y que se usa sólo cuando el suministro de agua se corta y es necesario hacer un trasvase de un punto a otro.

Otras derivaciones de las derivaciones se muestra en la Lámina 4.8, éstas son para derivaciones a red; una salida de 2 pulgadas de diámetro inmediatamente aguas abajo del tanque Cerro Grande y que abastece una parte de la colonia Valle Escondido.

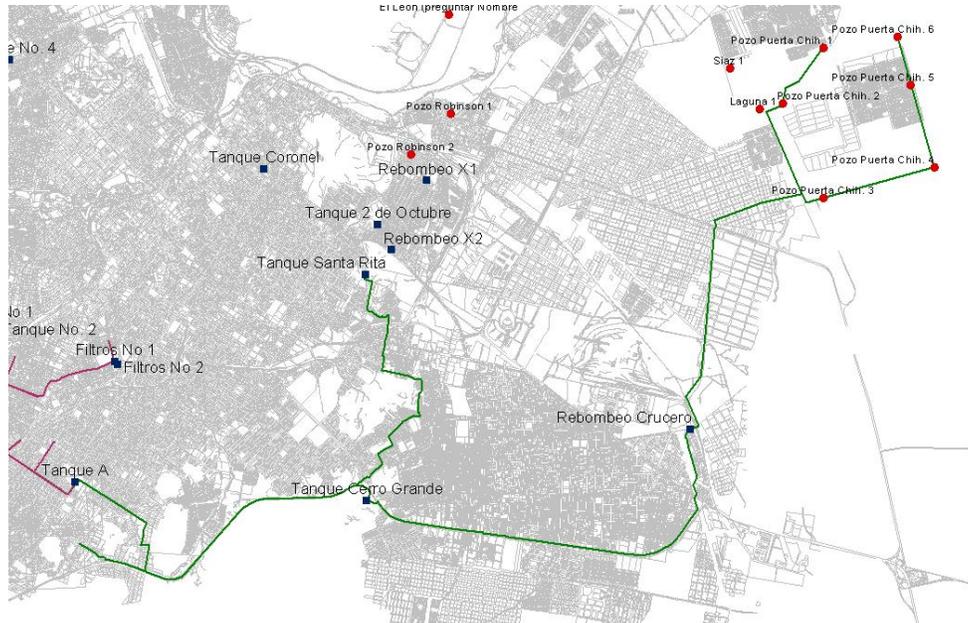
En la calle Hidalgo se tiene una derivación de 10 pulgadas de diámetros, para controlar la salida del gasto en esta derivación se tiene una válvula reguladora de gasto que funciona con un mecanismo de relojería que se abre de las 5:00 a las 10:00 y de las 16:00 a las 20:00, para cumplir con el horario establecido en el tandeo de servicio a esta zona.

En la derivación conocida como “Las Garzas” localizada en la colonia Díaz Ordaz, se tiene una derivación de 8 pulgadas de diámetro, también cuenta con una válvula controladora de gasto que se abre y cierra mediante un mecanismo de relojería en el mismo horario que la anterior. Después de tiene la derivación Corrales de 8 pulgadas de diámetro que abastece directo a la red de distribución a la Colonia Valle de la Madrid.

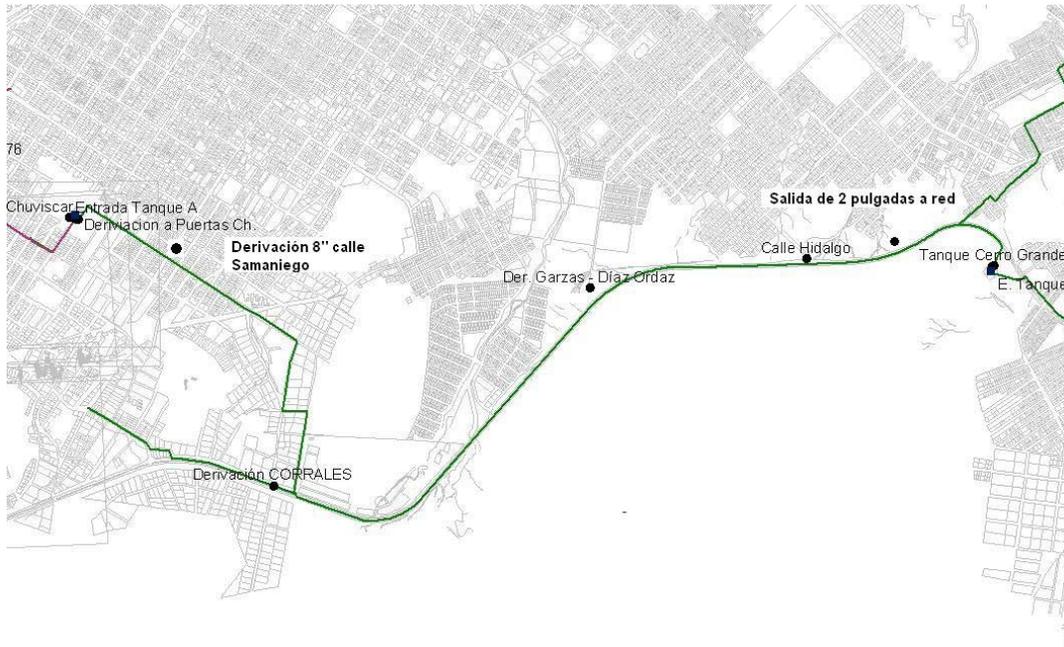
En la calle Samaniego, antes de llegar al tanque A, se tiene una derivación de 8 pulgadas que distribuye agua directo a la red, después de este punto la conducción Puertas de Chihuahua llega



al Tanque A con una tubería de un diámetro de 36 pulgadas. La distancia que recorre la conducción Puertas de Chihuahua desde el tanque Cerro Grande hasta el tanque A es de 6092 metros. El tanque A, es la estructura donde convergen las conducciones El Saúz, Puertas de Chihuahua y Ojos del Chuviscar, y tiene una capacidad de 5000 metros cúbicos



**Lámina 4.7. Pozos, rebombes y Tanques de la conducción Puerta de Chihuahua**



**Lámina 4.8. Derivaciones de agua a la red de la conducción Puerta de Chihuahua**

#### 4.3.2 Conducción Ojos de Chuviscar

La conducción de Ojos de Chuviscar, se localiza al sur - oeste de la ciudad de Chihuahua, esta conducción se abastece de cuatro pozos profundos, los cuales son: Pozo no. 6, Pozo no. 5, Chuviscar y Sierra Azul. Los pozos Sierra Azul, Muller y Chuviscar 2 están fuera de servicio (ver Lámina 4.9).

La línea de conducción de los pozos no. 6, no. 5 y Chuviscar es de 20 pulgadas hasta el entronque en donde se une el pozo Sierra Azul; la distancia desde el Pozo 6 hasta dicho entronque es de 3081 metros. El pozo Sierra Azul se encuentra a 2098 metros del entronque con la conducción Ojos de Chuviscar.

Desde el entronque hasta el puente colgante (localizado en la presa Chihuahua), se tiene una distancia de 7223 metros, la línea de conducción es de 20 pulgadas, el tramo que cruza el río mediante el puente colgante es de 16 pulgadas de acero. Del puente colgante hasta los Corrales (ver Lámina 4.10 y Foto 4.1) se tiene una distancia de 3079 metros con una tubería de asbesto cemento de 20 pulgadas de diámetro.

De los Corrales hasta el entronque a la presa se tiene una distancia de 1619 metros con la tubería del mismo diámetro. Del entronque al cruce con la calle que sube a Zootecnia se tiene una distancia de 4066 metros con la tubería de asbesto cemento del mismo diámetro, y desde este punto hasta el tanque A se recorre una distancia de 1458 metros.



En total desde la batería de pozos hasta el tanque A se tiene una longitud de conducción de 20,526 metros.

Es importante mencionar que en el tramo localizado en el entronque de la batería de pozos hasta el puente colgante existen algunas derivaciones de agua que la JMAS tiene asignada a los usuarios de los ejidos, en la medición de caudales se estima el gasto asignado a estos usuarios.

Después del entronque a la presa (puente colgante) hasta Zootecnia se tienen algunas derivaciones, una hacia la empresa BAFAR y la colonia las Ánimas de cuatro pulgadas (ver Lámina 4.10), además de algunos usuarios de la colonia aledaña (no aparece el nombre de la colonia) a la conducción se han conectado a la misma.

También se tiene una derivación hacia el Tanque Campestre del Bosque con capacidad de 150 m<sup>3</sup>, que suministra agua a la colonia del mismo nombre, la derivación es de tres pulgadas de diámetro (ver Lámina 4.11).

En el entronque de Zootecnia se tienen dos derivaciones, una hacia el rebombero y tanque Esperanza con capacidad de 3000 m<sup>3</sup>, éstas derivaciones son 12 pulgadas de diámetro y la otra hacia Zootecnia de 8 pulgadas de diámetro. Después en la calle 104 se tiene otra derivación de 8 pulgadas que inyecta agua directo a la red. En la calle 92 A se tiene otra derivación de 8 pulgadas hacia el rebombero Ampliación Universitaria y las colonias Los Pinos y Alfredo Chávez.

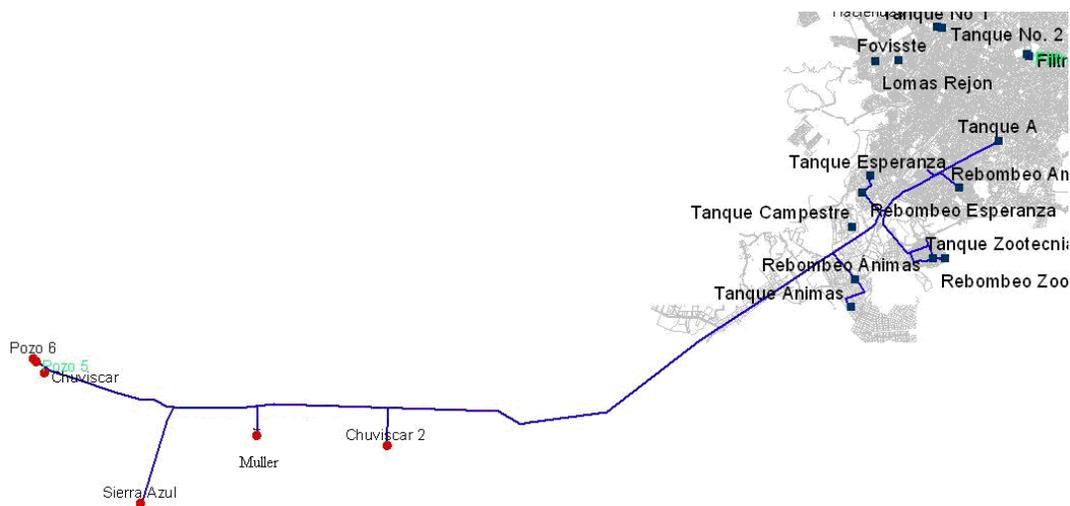


Lámina 4.9. Pozos, Tanques y rebombeos de la conducción de Ojos de Chuviscar

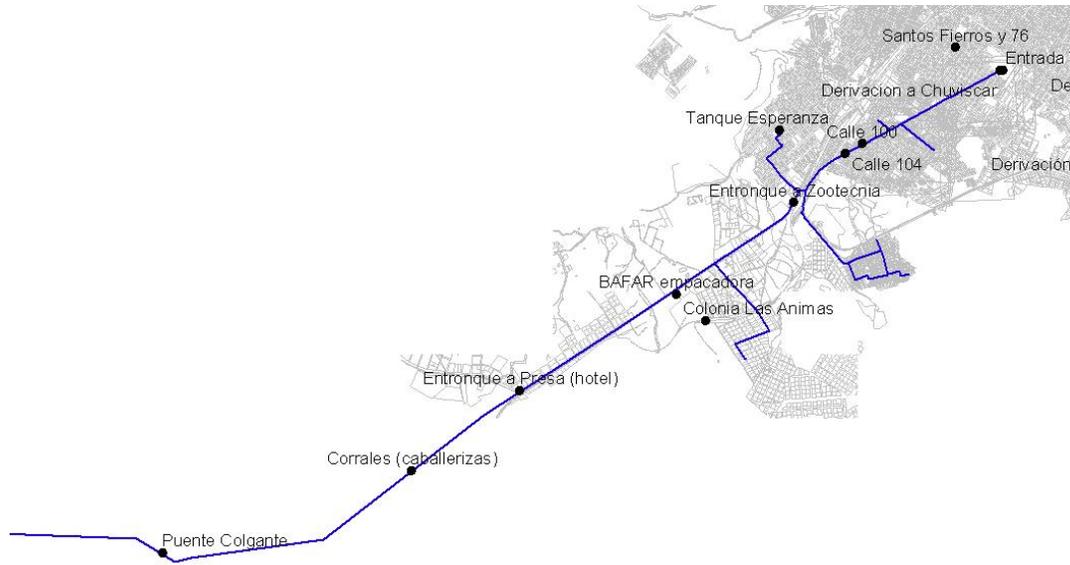


Lámina 4.10. Derivaciones de agua a la red y puntos de medición de caudal en la conducción Ojos de Chuviscar

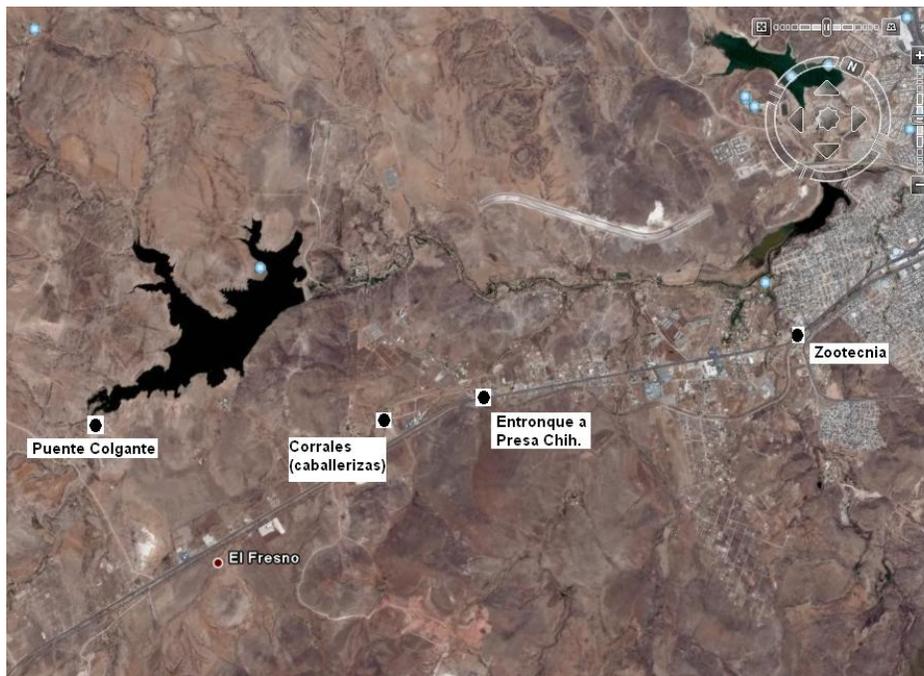
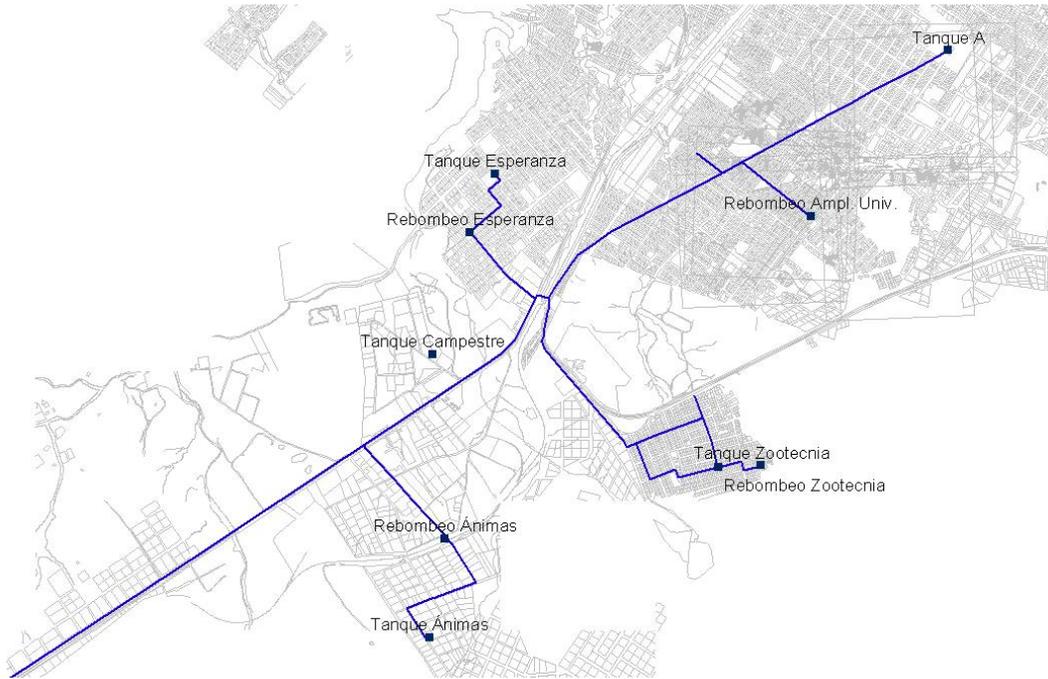


Foto 4.1. Localización de los puntos de medición de caudal en la conducción de Ojos de Chuviscar (fuente: foto de fondo Google Earth)



**Lámina 4.11. Tanques y rebombes alimentados de la conducción Ojos de Chuviscar**

#### 4.3.3 Conducción El Sáuz Etapas I y II

La conducción del Sáuz es la más importante línea de suministro de agua a la ciudad de Chihuahua. Inicia en la batería de pozos el Sáuz Etapa II, que se localiza una parte a 22,046 m (ver Lámina 4.12) del tanque de cambio de régimen con capacidad de 80 m<sup>3</sup>; se lleva el agua con una línea de 30 pulgadas de diámetro, se compone de 11 pozos profundos (Pozos el El Sáuz 16 al Sáuz 31), en este punto se incorporan los dos de pozos de Estación Terrazas, mediante una tubería de 20 pulgadas y se localizan a una distancia de 5,538 m (ver Tabla 4.6).

Del Tanque Cambio de régimen se conduce el agua hasta el rebombero el Sáuz, en donde se tienen instalados 5 equipos de bombeo de los cuales por lo general operan tres equipos de forma permanente y un de manera intermitente para regular el nivel del cárcamo, el quinto equipo se tiene en caso de paro o descompostura de uno de los otros cuatro equipos: con una tubería de 30 pulgadas de diámetro y recorre una distancia de 8,048 metros. En el rebombero el Sáuz se incorpora la batería de pozos el Sáuz Etapa I, compuesta de 12 pozos profundos (el Sáuz 1 al Sáuz 12). A 50 metros del rebombero El Sáuz se tiene una estructura de protección de la conducción, un torre de Unidireccional de 29.84 metros de altura y 4.71 metros de diámetro.

Del rebombero el Sáuz hasta el parque industrial “Impulso”, localizado a la entrada de la ciudad de Chihuahua se tiene una línea de 36 pulgadas de diámetro, la conducción recorre entre ambos puntos una distancia de 18,428 metros. Es en este punto en donde se localiza otra estructura de protección de la conducción que es una torre de oscilación de 18.3 metros de altura y 4.71 metros de diámetro.



La batería de pozos Riveras el Sacramento, localizadas a 5,100 m del parque industrial “Impulso” se incorpora a la conducción el Sáuz (ver Lámina 4.13), en la misma línea de 36 pulgadas de diámetro, ésta cuenta con seis pozos profundos, de los cuales el pozo Riveras el Sacramento 6 y 4 inyectan agua a la red de distribución de la colonia del mismo nombre y al tanque elevado Riveras de Sacramento con capacidad de 450 m<sup>3</sup> y las excedencias se inyectan a la conducción, los otros se incorporan directo a la conducción El Sáuz. (Este escenario es provisional dado que los pozos riveras del 1 al 6 serán para el sustento de las áreas in situ, a tanque después a red y sólo si hay excedencias serán incorporadas al acueducto el Sáuz)

En el parque industrial Impulso también se incorporan a la conducción el Sáuz, los Pozos 8 y 9 de la batería de pozos Sacramento Norte, mediante una línea de 20 pulgadas y de 5538 metros de longitud.

Desde el Parque industrial “Impulso” hasta los dos tanques Loma Larga de 10000 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno (ver Lámina 4.14), la conducción recorre una distancia de 5628 metros con un diámetro de 36 pulgadas, en este tramos se incorporan los pozos, Impulso, Arroyos 1, y Picachos, y además se deriva agua hacia el tanque Norte no. 1 de 3500 m<sup>3</sup> de capacidad, mismo que a su vez deriva agua hacia el tanque Norte 2 de 2500 m<sup>3</sup> de capacidad. El suministro de agua de la conducción El Sáuz al Tanque Norte 1 es tandeado y depende del nivel del agua en dicho tanque.

De los tanques Loma Larga la conducción del Sáuz continua hasta llegar al tanque A, antes se tiene una derivación al tanque Colina cuya capacidad es de 5000 m<sup>3</sup>; en el trayecto de los loma larga al tanque colina se tiene una tubería de 42 pulgadas de diámetro con una longitud de 2158 metros. El suministro a dicho tanque es tandeado y depende del nivel del agua en el mismo tanque Colina,

En el tramo de los Tanques Lomas Larga hasta el tanque Colina se tienen algunas entregas de gasto. Precisamente, en el tanque Loma Larga 1 se tienen 2 derivaciones a la red de distribución, una de 18 pulgadas de diámetro que surte de agua a la colonia Campo Bello y la otra de 24 pulgadas de diámetro que suministra agua a la colonia Paseos de Chihuahua.

También se tiene una derivación de agua hacia el rebombeo Cumbres Universidad, el suministro de agua es por periodos de tiempo regulares, y depende del nivel del agua en el rebombeo, la derivación es de 8 pulgadas.

Desde el Tanque Colina hasta el Tanque A se tiene una longitud de 12,151 metros, la tubería es de 36 pulgadas de diámetro.

A la altura del Hotel Westin Soberano se tiene una derivación de 24 pulgadas hacia el rebombeo el Saucito, que posteriormente envía el agua hacia el tanque el Saucito de 5000 m<sup>3</sup> de capacidad, a este tanque también se suministra agua desde el pozo profundo CTU Saucito, localizado por la



Av. Francisco Villa cerca del Periférico de la Juventud. El Pozo CTU Izalco, se incorpora a la conducción el Sáuz, y esta localizado en la calle Izalco.

Posteriormente, la conducción el Sáuz alimenta de agua al tanque Panamericana de 5,000 m<sup>3</sup> de capacidad mediante una tubería de 20 pulgadas de diámetro. Este suministro es tandeado y depende del nivel en el tanque Panamericana.

A la altura de la avenida Washington, se deriva una línea de 10 pulgadas de diámetro hasta el rebombero Cumbres, ahí mismo se suministra agua con una tubería de 8 pulgadas al tanque Campanario de 450 m<sup>3</sup> de capacidad. En las avenidas Río de Janeiro y Politécnico respectivamente se conecta una tubería de 8 pulgadas para suministro a la red.

En la calle Fuente Trilenium, se localiza otra derivación de 18 pulgadas hacia el tanque Lomas Rejón, de 5000 m<sup>3</sup> de capacidad, también el suministro a este tanque desde la conducción el Sáuz es mediante horario y depende del nivel en el tanque.

En la calle Santos Fierro y 76 se tiene una derivación a red de 10 pulgadas de diámetro y otro conexión en la calle Margaritas y Pericos que suministra agua hacia la colonia Alfredo Chávez con una tubería de 8 pulgadas.

En total, la distancia desde el pozo 31 de la Batería el Sáuz Etapa II, hasta el tanque A es de 68,459 metros.

**Tabla 4.6. Longitudes y diámetros de los distintos tramos de la conducción el Sáuz**

<b>Del</b>	<b>Hasta</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Diámetro del Tubo (pulgadas)</b>
Pozos 31	Tanque de Cambio de Régimen	22,046	30
Estación Terrazas	Tanque Cambio de Régimen	5,538	20
Tanque Cambio de Régimen	Rebombero el Sáuz	8,048	30
Rebombero el Sáuz	Impulso	18,428	36
Sacramento Norte Pozos 8 y 9	Impulso	2,902	14
Impulso	Tanques Loma Larga	5,628	36
Tanques Loma Larga	Tanque Colina	2,158	42
Tanque Colina	Tanque A	12,151	36

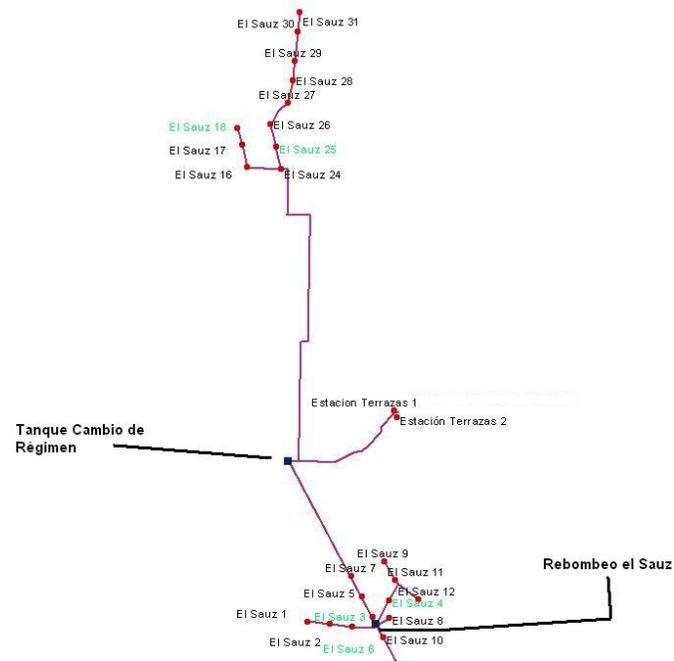
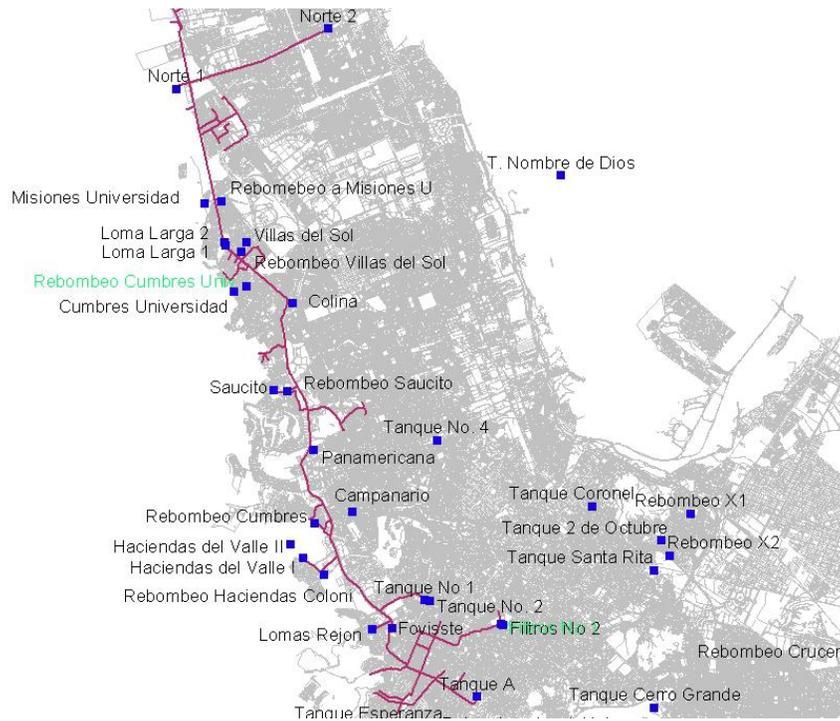


Lámina 4.12. Baterías de pozos: Pozos Estación Terrazas y El Sáuz Etapas I y II.



Lámina 4.13. Batería de pozos Riberas del Sacramento, Sacramento Norte, Arroyos y pozo profundo Impulso



**Lámina 4.14. Tanques y Rebombes alimentados por el Acueducto El Sáuz**

#### 4.3.4 Conducción Tabalaopa – Aldama

La conducción Tabalaopa Aldama se localiza a la altura del Aeropuerto de la ciudad de Chihuahua. La batería principal de esta conducción se compone de nueve pozos profundos conocidos como los Tabalaopa Aldama (ocho pozos) y el pozo 300 (ver Lámina 4.15). La tubería es de 24 pulgadas de diámetro, desde el pozos Tabalaopa Aldama hasta el entronque en la calle Progreso (ver Tabla 4.7). En este tramo se tiene una derivación hacia el rebombes residencial el León (ver Lámina 4.16), de 16 pulgadas de diámetro; la operación de este tramo ésta en ocasiones transporta agua de la conducción de Tabalaopa Aldama hacia el rebombes y algunas veces se invierte la dirección del flujo ya que se inyecta agua desde los pozos León y León III hacia la conducción de Tabalaopa Aldama.

En el entronque de la calle Progreso también se une la línea de conducción que transporta agua de pozos: Laguna 1, Siaz, Paseos de Concordia 1 y 2, estos pozos suministran agua a la red de distribución antes de incorporarse la conducción de Tabalaopa Aldama, en la calle Progreso, mediante una tubería de 8 pulgadas de diámetro con una distancia desde el pozo Laguna 1 hasta este entronque de 4,217 metros.

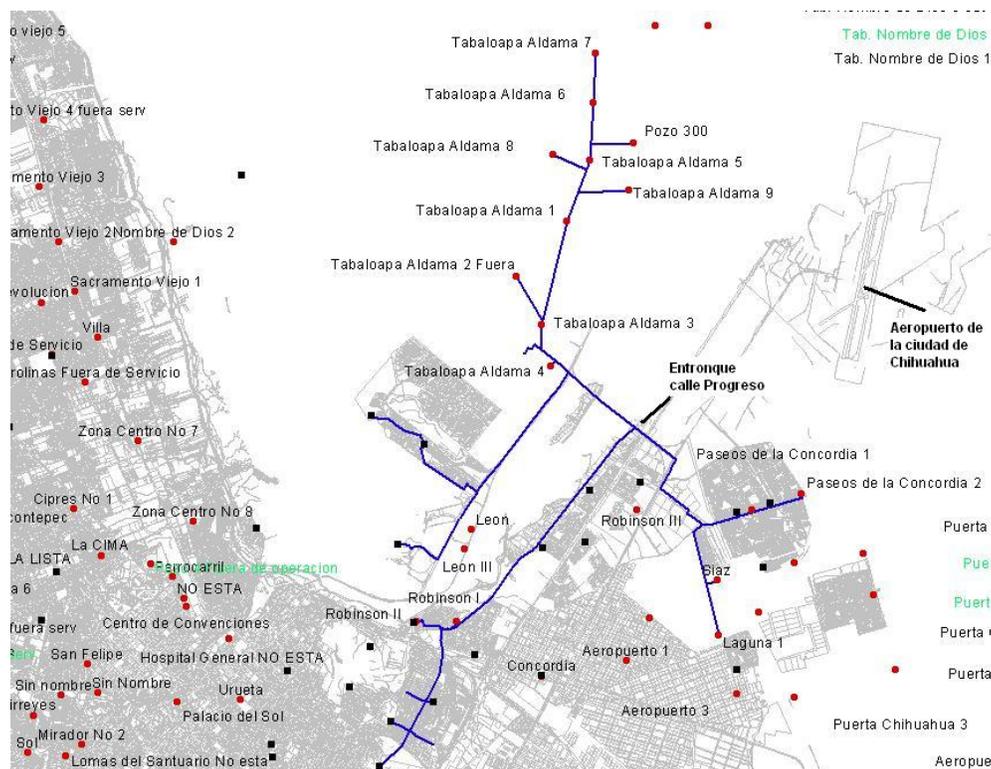
Desde el anterior entronque hasta el Rebombes X1, se tiene una distancia de 5,464 metros con una tubería de 24 pulgadas en este tramo de la conducción se deriva agua al tanque Girasoles 2 con capacidad de 200 m<sup>3</sup>, localizado en la avenida Camino Real. En la calle progreso y Aldama se incorpora el Pozo Robinson 1. Una vez en el Rebombes X1, se tienen 3 bombas de las cuales



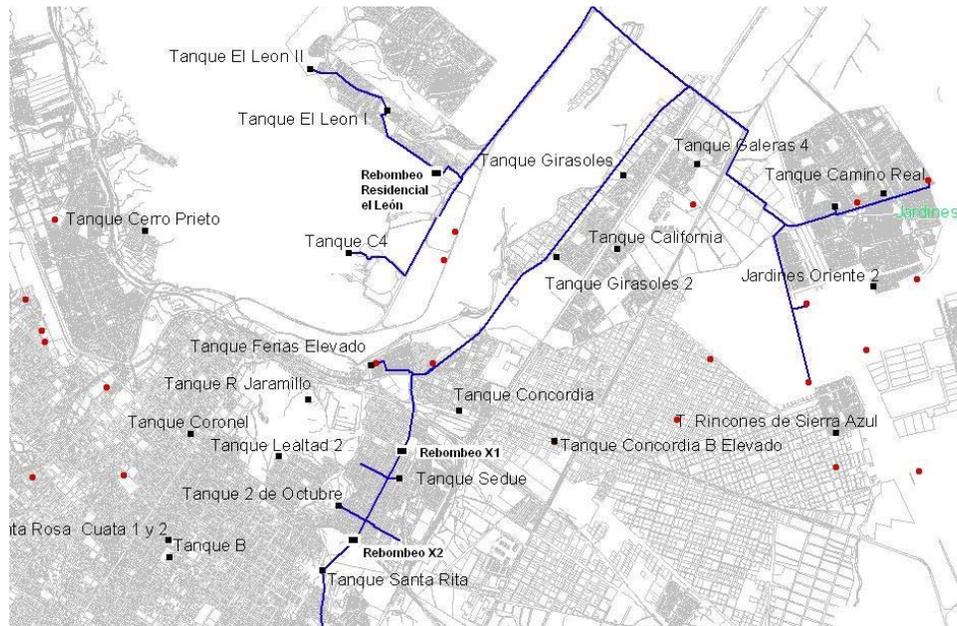
una inyecta agua directo a la red o al tanque SEDUE con capacidad de 2000 m<sup>3</sup> y las otras dos envían al Rebombear X2, en el que también se tienen instalados tres equipos de bombeo, desde este punto se envía agua al tanque 2 de Octubre, con capacidad de 5000 m<sup>3</sup> mediante uno de los tres equipos de bombeo y el resto se envía al tanque Santa Rita de 5000 metros cúbicos de capacidad. Además en la calle del Carruaje se derivan dos líneas de 8 y 4 pulgadas para suministro a la red.

**Tabla 4.7. Longitudes y diámetros de los distintos tramos de la conducción Tabaloopa Aldama**

Del	Al	Distancia (m)	Diámetro (pulgadas)
Pozo 7 Tabaloopa Aldama	Entronque Calle Progreso	6,900	24
Pozo Laguna 1	Entronque Calle Progreso	4,217	8
Entronque Calle progreso	Rebombero X1	5,464	24
Rebombero X1	Rebombero X2	1,177	24
rebombero X2	Tanque Santa Rita	540	24



**Lámina 4.15. Baterías de Pozos de la conducción Tabaloopa Aldama**



**Lámina 4.16. Tanque y rebombes alimentados de la conducción Tabalaopa Aldama**

#### 4.3.5 Conducción Aldama Nombre de Dios.

La conducción Aldama Nombre de Dios se Localiza al este de la ciudad de Chihuahua, se compone de una batería de seis pozos profundos desde donde se transporta el agua hasta el rebombero X5, aquí se tienen instalados cuatro equipos de bombeo, de los cuales regularmente operan 3, el otro es de emergencia . La distancia desde el Pozo Aldama Nombre de Dios no. 7 hasta el rebombero X5 es de 5,670 metros con una tubería de 24 pulgadas de diámetro (ver Tabla 4.8).

Del Rebombero X5 al tanque Nombre de Dios de capacidad de 10000 m<sup>3</sup>, es de 3541 metros, la conducción en este tramo es de 24 pulgadas de diámetro.

El tanque nombre de Dios se localiza a 1,856 metros de distancia a la llegada de la ciudad de Chihuahua, este tramo también es de 24 pulgadas de diámetro, de la llegada a la ciudad hasta el puente Ferrocarril (lugar en donde se realizó la medición puntual del caudal), es de 1,353 metros y la tubería en dicho tramo es de 24 pulgadas, en este tramo se tiene una derivación de agua hacia la red de distribución a la altura de la calle Monte Everest y Monte Tauro de 10 pulgadas de diámetro.

Del puente Ferrocarril hasta la derivación hacia el tanque Coronel se tiene una distancia de 3,732 metros con un diámetro de 20 pulgadas, en la calle Insurgentes con Paracaidistas de este tramo de la conducción se realizó la medición de gasto de manera puntual, y en la calle Zaragoza esquina industrias se tiene una derivación a la red de 10 pulgadas de diámetro.

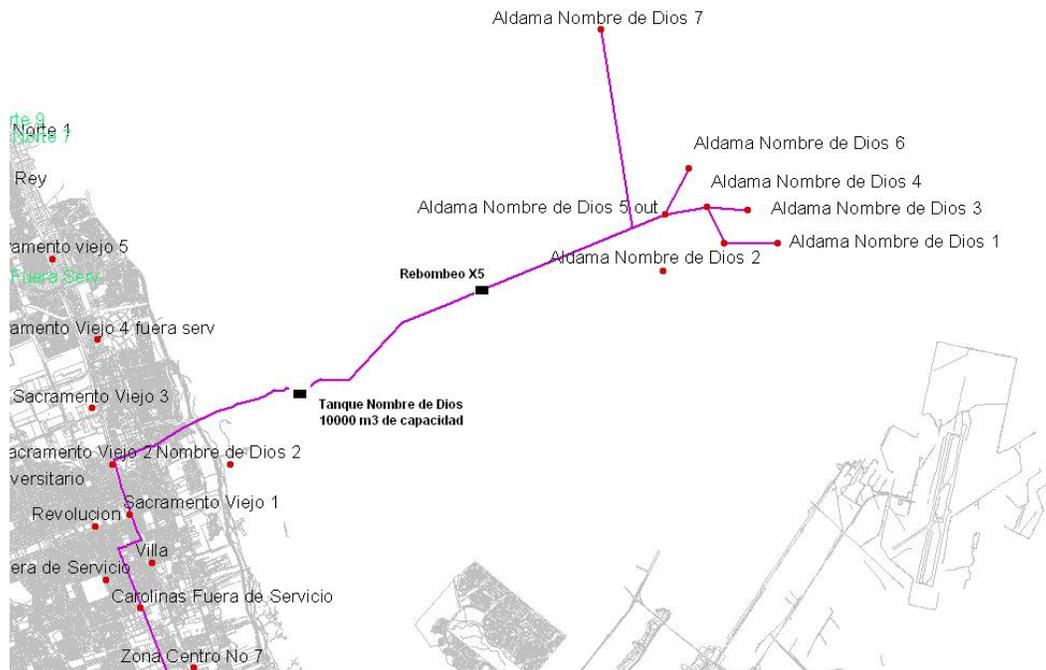


De la derivación al tanque Coronel hasta el Tanque 4 con capacidad de 3000 m<sup>3</sup> se tiene una tubería de 18 pulgadas con una longitud de 1800 metros. De esta misma derivación hasta el Tanque Coronel, con capacidad de 4000 m<sup>3</sup> se tiene una longitud de 3,824 metros con una tubería de 20 pulgadas de diámetro.

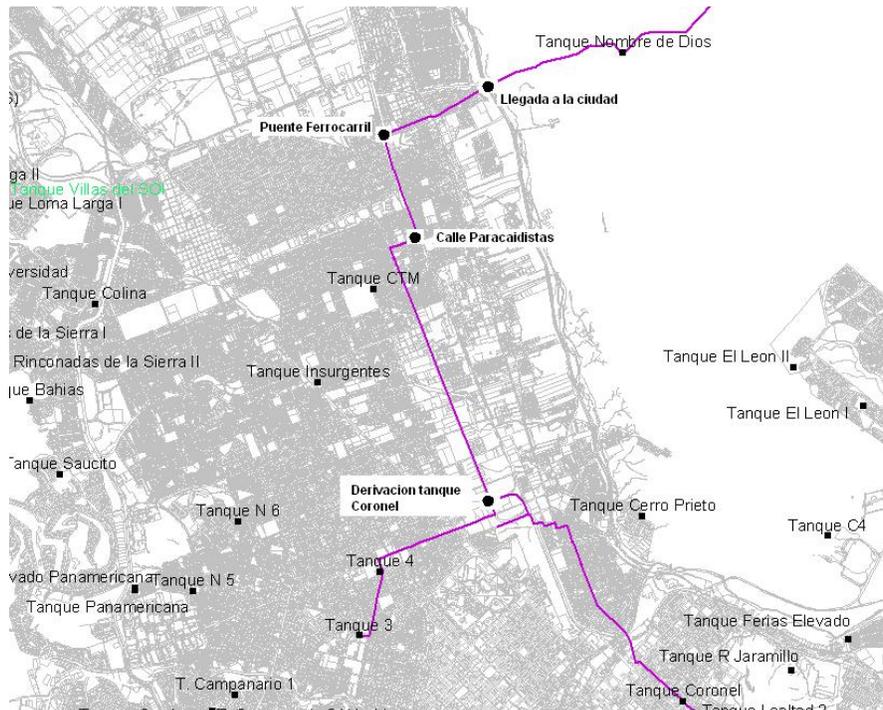
En el Tanque 4 se cuenta con la estación de rebombeo con cuatro equipos que suministran agua a la red, de la misma manera se tiene una estación de rebombeo en el tanque Coronel, con cuatro equipos de bombeo.

**Tabla 4.8. Longitudes y diámetros de los distintos tramos de la conducción Aldama Nombre de Dios**

Del	Hasta	Distancia (m)	Diámetro (pulgadas)
Pozo 7 Aldama Nombre de Dios	Rebombero X5	5670	24
Rebombero X5	Tanque Nombre de Dios	3541	24
Tanque Nombre de Dios	llegada a la Ciudad	1856	24
llegada a la ciudad	al Puente Ferrocarril	1353	24
Puente Ferrocarril	Derivación al tanque Coronel	3732	18
Derivación al tanque Coronel	Al tanque 4	1800	18
Derivación al tanque Coronel	Al tanque Coronel	3824	18



**Lámina 4.17. Batería de Pozos de la Conducción Aldama Nombre de Dios**



**Lámina 4.18. Tanques y rebombes que alimenta la conducción Aldama Nombre de Dios**

#### 4.3.6 Conducción Panamericana

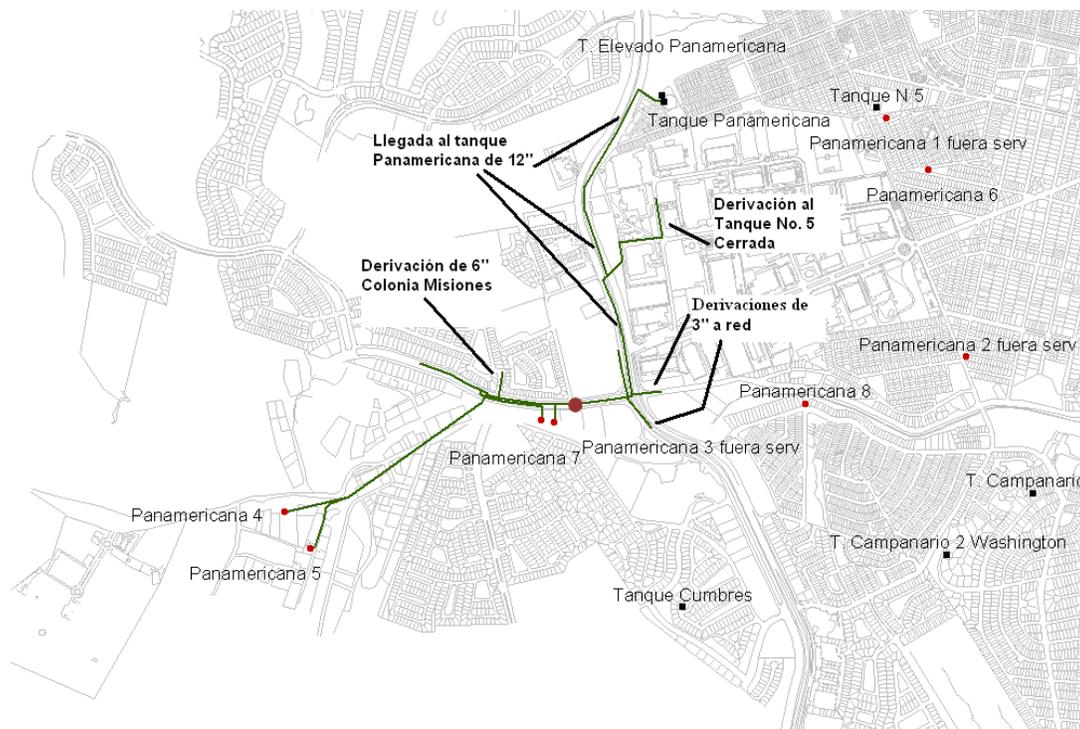
La conducción Panamericana se encuentra al Oeste de la ciudad, es una tubería de 12 pulgadas inicia desde los Pozos Panamericana 4 y 5 hasta el tanque Panamericana con capacidad de 5000 m<sup>3</sup> (ver Lámina 4.19), la longitud que recorre desde el pozo panamericana 4 (el más alejado) hasta el tanque panamericana es de 2,471 metros.

La batería Panamericana se compone de ocho pozos, de los cuales los pozos Panamericana 1 a 3 están fuera de servicio, los únicos pozos que suministran agua a la conducción son los pozos 4, 5 y 7 (ver Tabla 4.9), los otros pozos suministran directo a la red. El gasto total aportado a la conducción es de 127.47 l/s de los pozos 4, 5 y siete, estos gastos resultó de las mediciones puntuales que realiza el personal del departamento de suministro de la JMÁS, en los macromedidores instalados en cada pozo. Los pozos 6 y 8 suministran directo a la red.

Existen varias derivaciones en la conducción Panamericana, una de 6 pulgadas que suministra agua a la colonia Misiones, otras dos de 3 pulgadas localizadas en el entronque de la conducción con el periférico de la juventud que suministran a la red y otra derivación generalmente cerrada que suministra agua en caso de emergencias al Tanque no. 5, con capacidad de 5000 m<sup>3</sup>, este tanque se encuentra fuera de servicio, ya que la zona de influencia del mismo la cubre el tanque panamericana.

**Tabla 4.9. Gastos en los pozos de la batería Panamericana**

Pozos	Gasto (l/s)
Panamericana N° 1, 2 y 3	Fuera de Servicio
Panamericana N° 4	44.23
Panamericana N° 5	26.34
Panamericana N° 6	10.69
Panamericana N° 7	56.90
Panamericana N° 8	32.00



**Lámina 4.19. Pozos, tanques y derivaciones de la conducción Panamericana**

#### 4.3.7 Conducción Sacramento Norte

La conducción Sacramento Norte se localiza al norte de la ciudad de Chihuahua, (ver Lámina 4.20), para el suministro de agua a esta conducción se tiene una batería de pozos del mismo nombre, que inicialmente convergen los gastos de estos pozos en dos líneas de conducción (ver Lámina 4.21), la primera que inicia desde el Pozo Sacramento Norte 1 hasta el punto conocido como Lexmark 1; captando el agua de los Pozos Sacramento Norte uno, dos tres y cuatro; ésta es una línea de conducción de 18 pulgadas de diámetro y con una longitud de 3,312 metros (ver Tabla 4.10).



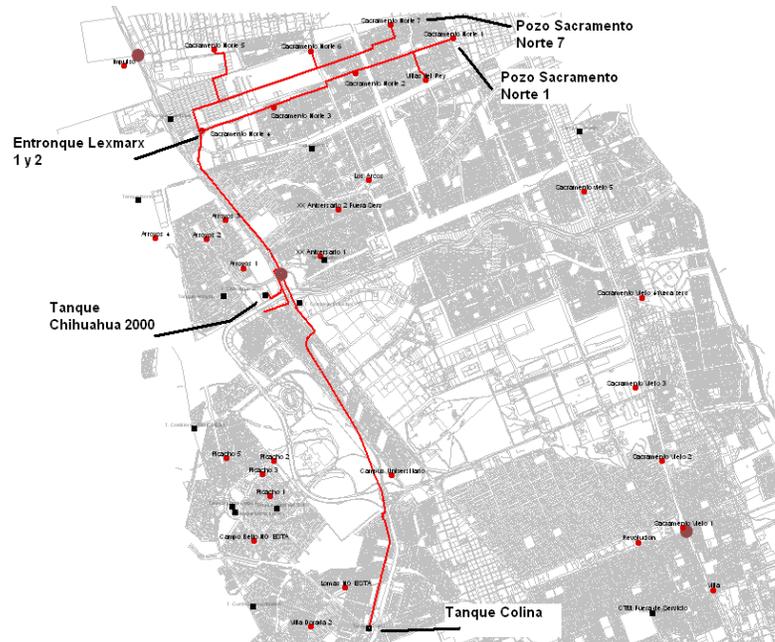
La segunda línea capta el agua de los pozos Sacramento Norte 5, 6 y 7, y que recorre una distancia de 3,039 metros hasta el punto Lexmark 2, también con un diámetro de 18 pulgadas.

De Lexmark 1 a la derivación del Tanque Chihuahua 2000, con capacidad de 5000 m<sup>3</sup> se tiene una tubería de 24 pulgadas que recorre una longitud de 2,050 metros y de la derivación del Tanque Chihuahua 2000 hasta el Tanque Colina se tiene una longitud de 4,702 metros con una tubería de 24 pulgadas.

**Tabla 4.10. Longitudes y diámetros de los distintos tramos de la conducción Sacramento Norte**

Del Punto	Distancia (m)	Diámetro en pulgadas
Sacramento Norte 1 a Lexmark 1	3,312	18
Sacramento Norte 7 a Lexmark 2	3,039	18
De Lexmark 1 y 2 a la derivación al Tanque Chihuahua 2000	2,050	24
De la derivación al Tanque Chihuahua 2000 al Tanque Colina	4,702	24

En la Tabla 4.11, se muestran los gastos medidos en los macromedidores instalados en cada pozo de manera puntual, aportan en total los Sacramento Norte 1 a 4 suministran un gasto de 108.39 l/s, y los Sacramento Norte de 5 a 7 suman un caudal de 104.65 litros por segundo.



**Lámina 4.20. Conducción Sacramento Norte**



**Lámina 4.21. Batería de pozos de la conducción Sacramento Norte**

**Tabla 4.11. Gastos registrados en la batería de pozos Sacramento Norte**

Pozo	Caudal (l/s)
Sacramento Norte 1	16.36
Sacramento Norte 2	39.89
Sacramento Norte 3	37.68
Sacramento Norte 4	14.46
<b>Total</b>	<b>108.39</b>
Sacramento Norte 5	23.12
Sacramento Norte 6	54.60
Sacramento Norte 7	26.93
<b>Total</b>	<b>104.65</b>

#### 4.3.8 Conducción Sacramento Viejo

La conducción Sacramento Viejo se localiza al noreste de la ciudad de Chihuahua, conduce el agua de la batería de pozos Sacramentos Viejos 1, 2, 3 y 5 (El número 4 está fuera de servicio), hasta descargar al Tanque Coronel. La distancia que recorre desde el pozo Sacramento 5 (el más lejano), hasta el tanque Coronel es de 12,596 metros (ver Lámina 4.22). Empieza con una tubería de 10 pulgadas desde el pozo Sacramento no. 5 hasta el punto en donde se incorpora el pozo Sacramento no.3, de ahí cambia el diámetro a una tubería de 18 pulgadas hasta el rebombero Sacramento; de aquí se rebombero a la agua hasta el Tanque Coronel mediante dos tuberías de 12 y 18 pulgadas de diámetro.



En la Tabla 4.12, se muestran los gastos registrados por el personal del departamento de suministro de la JMAS de los macromedidores instalados en cada pozo; en total se suministra un gasto de 172.27 litros por segundo.

**Tabla 4.12. Gastos de la batería de pozos de Sacramento Viejo**

Pozo	Caudal (l/s)
Sacramento N° 1	44.98
Sacramento N° 2	49.17
Sacramento N° 3	26.00
Sacramento N° 5	52.12
<b>Total</b>	<b>172.27</b>



**Lámina 4.22. Conducción Sacramento Viejo**



#### 4.4 Tanques del sistema

En la actualidad se tienen 84 tanques de almacenamiento, cuyo objetivo es el de regular y distribuir el agua a la red, para esto cada tanque tiene asignada su zona de influencia. Del total de tanques 66 de ellos se encuentran en operación mientras que los 18 restantes están fuera de servicio (ver Tabla 4.13).

Podemos clasificar las estructuras de almacenamiento en superficiales y elevados. Del tipo superficial son 40 tanques, principalmente utilizados para el almacenamiento y trasvase de los volúmenes del agua. Del tipo elevado son 44 que su función principal es regular el gasto.

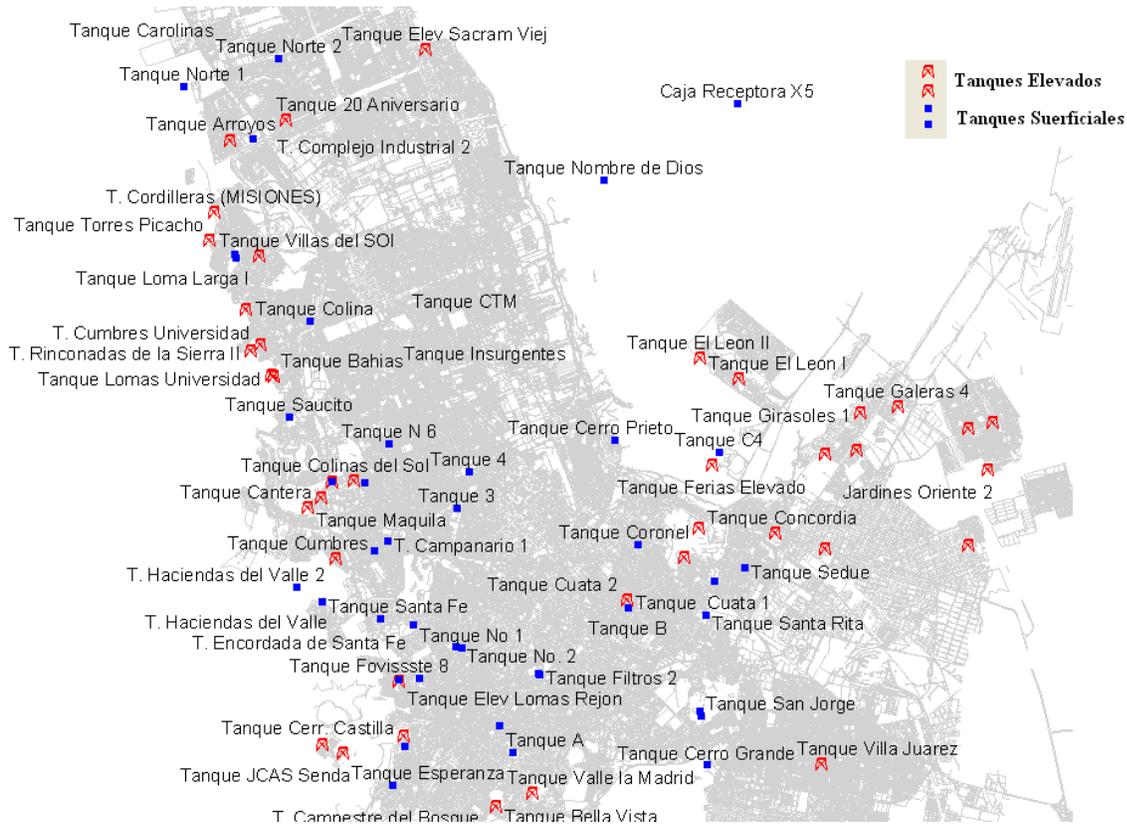
La capacidad de total de almacenamiento de los tanques que se encuentran en operación es de 133,970 m<sup>3</sup>, aunque se tiene una capacidad instalada de almacenamiento 141,820 m<sup>3</sup> con la capacidad de incorporar los tanques fuera de operación.

La localización de los tanques se observa en la Lámina 4.23, se puede apreciar que la ubicación de los tanques elevados se concentran en dos partes de la ciudad; una en la parte poniente de la ciudad bordeando la sierra la carbonera; donde se han comenzado a construir nuevos fraccionamientos localizados arriba de la cota 1500 msnm, cuyo estrato social van de interés medio a alto, lo que implica un esfuerzo de la JMAS por suministrar agua a dichas zonas, esto ha motivado la construcción de tanques elevados los cuales son alimentados por líneas que parten de los rebombes correspondientes que a su vez se surten de las derivaciones del acueducto el Sáuz, y/o de los tanques superficiales que se surten del mismo acueducto. La otra zona es al sur este de la ciudad donde la topografía es casi plana y donde se desarrollan fraccionamientos nuevos de interés social a medio.

En la Tabla 4.14 se enlistan los tanques superficiales, por nombre, capacidad de almacenamiento, forma del tanque, material de construcción, etc. y en la Tabla 4.15 se enlistan los nombres y capacidades de los tanques elevados.

**Tabla 4.13. Clasificación de tanque y su capacidad**

Tipo de tanque	No de tanques			Capacidad m <sup>3</sup>		
	Operando	Fuera de servicio	Total	Operando	Fuera de servicio	Total
Tanques superficiales	38	2	40	129,440	5,500	139,940
Tanques elevados	28	16	44	6,880	2,350	6,880
Total	66	18	84	133,970	7,850	141,820



**Lámina 4.23. Tanques Superficiales y elevados**

La capacidad de almacenamiento de los tanques superficiales oscila de 40 a 10,000m<sup>3</sup>, siendo solo 3 con la máxima capacidad que son: los tanques Loma Larga y el Nombre de Dios. El tanque de cambio de régimen como las torres de oscilación y unidireccional, serán abordados en el capítulo específico donde se hace la revisión hidráulica del acueducto; tanto en estado estacionario como transitorio para determinar posibles problemas presentados. (Fenómeno de golpe de ariete).

La capacidad de almacenamiento de los tanques elevados oscila de 30 a 600m<sup>3</sup>, siendo sólo uno con la máxima capacidad, el tanque Cordilleras (Misiones).



**Tabla 4.14. Tanques superficiales en al ciudad de Chihuahua**

No	Nombre del Tanque	Estado	Capacidad en (m <sup>3</sup> )	Forma del tanque	Nivel máximo (m)	Material
1	Tanque No. 2	Opera	3000	Rectangular	4.0	Mampostería
2	Tanque Norte 2	Opera	2400	Cilíndrico	4.7	Concreto
3	Tanque Riberas Sacramento	Opera	200	Cilíndrico	2.0	Concreto
4	Tanque Nombre de Dios	Opera	10000	Cilíndrico	3.0	Concreto
5	Tanque 2 de Octubre	Opera	5000	Cilíndrico	4.0	Concreto
6	Tanque C4	Opera	50	Cilíndrico	3.2	Concreto
7	T. Campanario 1	Opera	450	Cilíndrico	2.2	Concreto
8	T. Campanario 2 Washington	Opera	450	Cilíndrico	2.2	Concreto
9	Tanque Cerro Grande	Opera	5000	Cilíndrico	2.9	Concreto
10	Tanque Cerro Prieto	Opera	40	Rectangular	2.0	Mampostería
11	T. Chihuahua 2000	Opera	5000	Cilíndrico	3.0	Concreto
12	Tanque Colina	Opera	5000	Cilíndrico	3.2	Concreto
13	Tanque Coronel	Opera	4000	Cilíndrico	4.0	Concreto
14	T. Encordada de Santa Fe	Opera	950	Rectangular	3.2	Mampostería
15	Tanque Esperanza	Opera	3000	Rectangular	3.8	Mampostería
16	Tanque Filtros 1	Opera	2300	Rectangular	5.5	Mampostería
17	Tanque Filtros 2	Opera	2300	Rectangular	5.5	Mampostería
18	Tanque Fovissste 8	Opera	500	Rectangular	3.8	Mampostería
19	T. Haciendas del Valle	Opera	1200	Cilíndrico	4.0	Concreto
20	T. Haciendas del Valle 2	Opera	1500	Cilíndrico	4.0	Metálico
21	Tanque Loma Larga I	Opera	10000	Cilíndrico	3.8	Concreto
22	Tanque Loma Larga II	Opera	10000	Cilíndrico	3.8	Concreto
23	Tanque Lomas Rejón	Opera	5000	Cilíndrico	2.8	Concreto
24	Tanque Norte 1	Opera	2400	Diamante	4.4	Concreto
25	Tanque Panamericana	Opera	5000	Cilíndrico	2.9	Concreto
26	Tanque Peña Blanca	Opera	200	Rectangular	2.0	Mampostería
27	Tanque Ranchería Juárez	Opera	5000	Cilíndrico	3.0	Mampostería
28	Tanque San Jorge	Opera	3000	Rectangular	3.0	Mampostería
29	Tanque Saucito	Opera	5000	Cilíndrico	2.9	Concreto
30	Tanque Sedue	Opera	2000	Cilíndrico	4.0	Concreto
31	Tanque Santa Fe	Opera	500	Cilíndrico	2.0	Concreto
32	Tanque Santa Rita	Opera	5000	Cilíndrico	2.8	Concreto
33	Tanque No 1	Opera	3000	Rectangular	3.0	Mampostería
34	Tanque 3	No Opera	3000	Rectangular	4.0	Mampostería
35	Tanque 4	Opera	3000	Rectangular	2.8	Mampostería
36	Tanque N 5	No Opera	4000	Rectangular	4.0	Mampostería
37	Tanque N 6	No Opera	1500	Rectangular	4.0	Mampostería
38	Tanque A	Opera	5000	Rectangular	3.2	Concreto
39	Tanque B	Opera	5000	Rectangular	2.8	Concreto
40	Tanque Cerro de la Cruz (Tanque #7)	Opera	5000	Rectangular	2.4	Mampostería



**Tabla 4.15. Tanques elevados en la ciudad de Chihuahua**

No.	Nombre del tanque	Estado	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Forma del Tanque	Elevación (m)	Material de construcción
1	Tanque 20 Aniversario	No Opera	50	Cilíndrico	25	Metálico
2	Tanque Elev Riberas Sac	No Opera	450	Cilíndrico	19.5	Metálico
3	Tanque Elev Sacram Viej	No Opera	200	Cilíndrico	27.3	Metálico
4	T. Campestre del Bosque	Opera	150	Cilíndrico	25	Metálico
5	Tanque Animas	Opera	50	Semiélfico	25	Metálico
6	Tanque Arroyos	Opera	450	Diamante	21.0	Metálico
7	Tanque Bahias	Opera	30	Semiélfico	23	Metálico
8	Tanque Bella Vista	Opera	50	Semiélfico	22	Metálico
9	Tanque California	No Opera	250	Semiélfico	31	Metálico
10	Tanque Camino Real	No Opera	250	Diamante	20	Metálico
11	Tanque Colinas del Sol	Opera	50	Cilíndrico	25	Metálico
12	Tanque Concordia	Opera	50	Semiélfico	25	Metálico
13	Tanque Concordia B Elevado	Opera	50	Semiélfico	25	Metálico
14	Tanque Cuata 1	Opera	50	Cilíndrico	25	Metálico
15	Tanque Cumbres	Opera	100	Semiélfico	21	Metálico
16	T. Cumbres Universidad	Opera	400	Semiélfico	22	Metálico
17	Tanque Elev Lomas Rejón	No Opera	50	Semiélfico	20	Metálico
18	T. Elevado Panamericana	No Opera	50	Esfera	23.0	Metálico
19	Tanque Ferias Elevado	Opera	100	Esfera	25.8	Metálico
20	Tanque Galeras 4	Opera	200	Cilíndrico	27.3	Metálico
21	Tanque Girasoles 1	No Opera	200	Semiélfico	10.0	Metálico
22	Jardines Oriente 2	Opera	200	Esfera	25.8	Metálico
23	Jardines de Oriente	Opera	100	Esfera	27.3	Metálico
24	Tanque Lealtad 2 (Lealtad)	No Opera	50	Semiélfico	20	Metálico
25	Tanque El León I	Opera	500	Semiélfico	35	Metálico
26	Tanque El León II	Opera	530	Semiélfico	35	Metálico
27	T. Cordilleras (MISIONES)	Opera	600	Semiélfico	36	Metálico
28	Tanque Elevado Peña Blanca	Opera	50	Semiélfico	18	Metálico
29	Tanque R Jaramillo	Opera	50	Semiélfico	5	Metálico
30	T. Rinconadas de la Sierra I	Opera	80	Diamante	28	Metálico
31	T. Rinconadas de la Sierra II	Opera	120	Diamante	28	Metálico
32	T. Rincones de Sierra Azul	Opera	250	Diamante	25	Metálico
33	Tanque Valle la Madrid	Opera	50	Semiélfico	25	Metálico
34	Tanque Villa Juarez	No Opera	250	Semiélfico	31	Metálico
35	Tanque Villas del Sol	Opera	120	Semiélfico	20.0	Metálico
36	Tanque Zootecnia	Opera	50	Esfera	24.6	Metálico
37	Tanque Girasoles 2	No Opera	200	Cilíndrico	25	Metálico
38	Tanque Cuata 2	Opera	50	Esfera	25	Metálico
39	Tanque Lomas Universidad	Opera	50	Esfera	25	Metálico
40	Tanque JCAS Senda	No Opera	100	Diamante	20	Metálico
41	Tanque Cerr. Castilla	No Opera	100	Diamante	20	Metálico
42	Tanque Cantera	No Opera	50	Esfera	18	Metálico
43	Tanque Maquila	No Opera	50	Esfera	18	Metálico
44	Tanque Torres Picacho	No Opera	50	Esfera	18	Metálico



#### 4.5 Rebombes del sistema

Actualmente se cuenta con 35 rebombes en la ciudad de Chihuahua, éstos son de dos tipos: bombeo de agua desde un cárcamo o tanque de almacenamiento (ver Lámina 4.24), y bombeo directo de la red de distribución del tipo Booster. En la Lámina 4.25, se muestra la ubicación de los rebombes en la ciudad, éstos se encuentran en el oeste para alimentar los tanques elevados y directamente dar servicio a los fraccionamientos que se construyen arriba de la cota 1500 m.s.n.m.; en el sur con la finalidad de proporcionar el volumen a los tanques elevados que se encuentran en la planicie.

En la Tabla 4.16, se muestran los rebombes de la ciudad, el número de equipos con que cuentan; definiendo de los rebombes cuántos operan y cuántos se encuentran fuera de servicio. En general se tiene un buen mantenimiento de esta infraestructura, ya que de los 65 equipos de bombeo instalados sólo 4 se encuentran fuera de servicio.

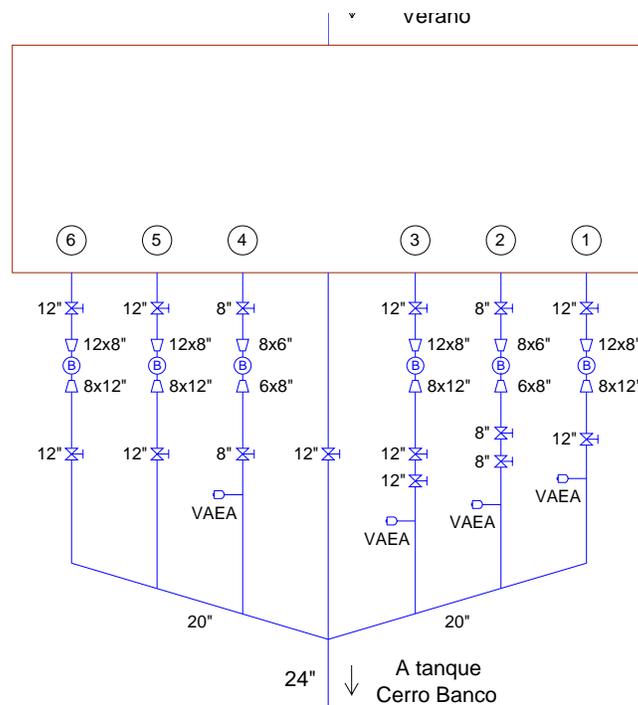
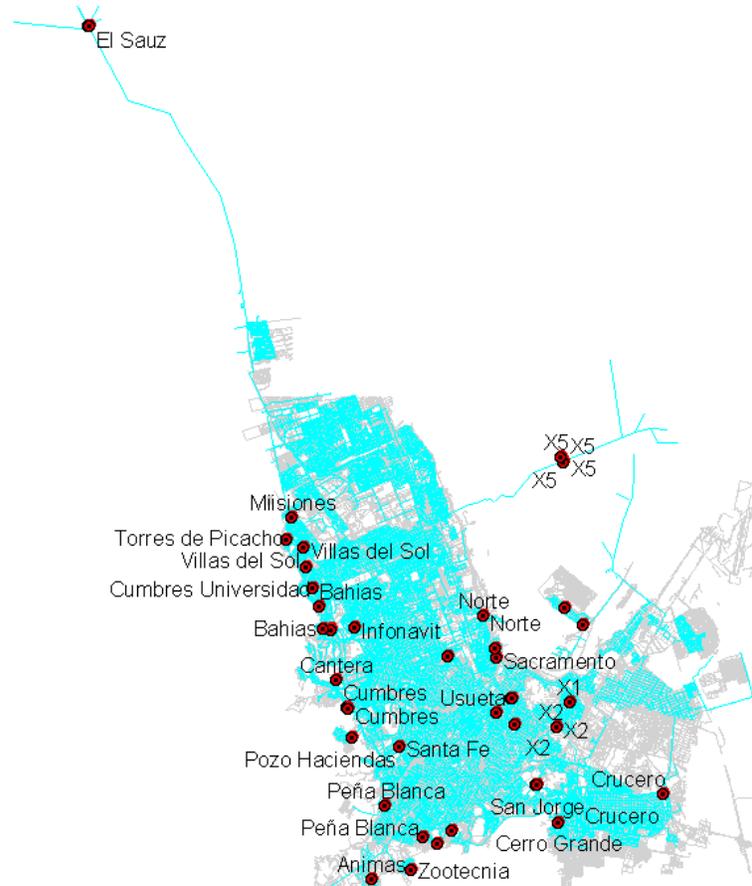


Lámina 4.24. Diagrama de un cárcamo de bombeo típico de la ciudad de Chihuahua



**Tabla 4.16. Rebombes en la ciudad de Chihuahua**

No.	Rebombeo	Equipado	Operando	Fuera servicio	Tipo
1	X5	4	4		Cárcamo
2	X2	3	3		Cárcamo
3	X1	3	3		Cárcamo
4	El Sáuz	5	5		Cárcamo
5	Saucito Barrancas	2	2		Cárcamo
6	San Jorge	2	2		Cárcamo
7	Sacramento	6	5	1	Cárcamo
8	Rinconadas de la Sierra	2	2		Booster
9	Residencial León 1	1	1		Cárcamo
10	Residencial León 2	1	1		Booster
11	Cerro Grande	4	4		Cárcamo
12	Cerro Prieto	2	2		Cárcamo
13	Cumbres	2	2		Booster
14	Zootecnia	1	1		Booster
15	Animas	1	1		Booster
16	Ampliación Universitaria	2	1	1	Booster
17	Bella Vista	1	1		Booster
18	Valle la Madrid	1	1		Booster
19	Villas del Sol	2	2		Booster
20	Misiones	1	1		Booster
21	Bahías	2	2		Booster
22	Crucero	4	4		Cárcamo
23	Norte	2	2		Booster
24	Cantera	1	1		Booster
25	Tanque Saucito	1	1		Cárcamo
26	Pozo Haciendas	1	1		Booster
27	Peña Blanca	2	2		Booster
28	Infonavit			1	Booster
29	Cumbres Universidad	1	1		Booster
30	Torres Picacho	1	1		Booster
31	Tanque Coronel	5	4	1	Cárcamo
32	Santa Rosa				Cárcamo
33	Santa Fe				Cárcamo
34	Urueta				Booster
35	Rebombeo pozo CIMA				Booster
<b>Total</b>		<b>66</b>	<b>62</b>	<b>4</b>	



**Lámina 4.25. Localización de los rebombeos en la ciudad de Chihuahua**

Así como se lleva un monitoreo de la eficiencia de los equipos de bombeo utilizados en los pozos, ésta no es aplicada en el mismo magnitud a los equipos de los rebombeos, si se tiene la premisa que son 62 los equipos de bombeo que operan en los rebombeos y 134 equipos de bombeo en pozos, tenemos que el 32 % de los equipos existentes están en los rebombeos.

#### **4.6 Red de distribución**

Para la información del catastro de la red se realizaron entrevistas con el personal de la Junta de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JMÁS), directamente con el Departamento de Planeación e Ingeniería, encargado de la actualización del catastro; así como con los Departamentos de Suministro y Departamento de Red Hidráulica de la Coordinación de Operación.

La actualización del catastro de la red se realiza periódicamente mediante, distintas vías que convergen en la responsable de captura que es la Oficina de Fotogrametría: la primera es la



transferencia de información proporcionada por la oficina de fraccionamientos y nuevos desarrollos, la cual proporciona a la oficina de Fotogrametría los planos de obra terminada de los nuevos fraccionamientos. La segunda son las adecuaciones a la infraestructura existente por necesidades operativas del Departamento Suministro y de Red hidráulica que comunican los cambios a la oficina de fotogrametría y la tercera vía es la información de obra realizada por proyectos bajo programas establecidos, (como apazu, fondos prodder etc.) con el fin de reposición de líneas y/o construcción de nueva conducción-red en colonias.

El sistema de distribución de agua se divide en cuatro grandes zonas de abastecimiento (ver Lámina 4.26): Norte, Centro, Presas y Sur. Esta zonificación se emplea para la organización de personal de cuadrillas que operan la red y no tanto para la distribución de agua, ya que la red se encuentra ramificada e interconectada a todo lo largo de la ciudad.

#### 4.6.1 Diámetro y longitud de tubería en la red de distribución

En la Tabla 4.17, se realiza un desglose de los diámetros de tubería existentes en la red de distribución, en resumen: se tienen instaladas tuberías que van de 1.5 pulgadas de diámetro hasta 42 pulgadas de diámetro. Destaca que el 46.98 %, es tubería de tres pulgadas, el 10.50 % es de 2.5 pulgadas de diámetro y 10.90 % es tubería de 8 pulgadas. El gran porcentaje de líneas de tres pulgadas es debido a que este diámetro, es el que se define como base de distribución y entrega al usuario final en su toma.

En porcentajes menores se cuenta con tubería de 4 pulgadas que representa un 7.66 % y la tubería de 6 pulgadas que representa un 5.81 por ciento.

Los diámetros superiores a 3 pulgadas son considerados para la distribución entre zonas siendo las comunes de 4 a 8 pulgadas.

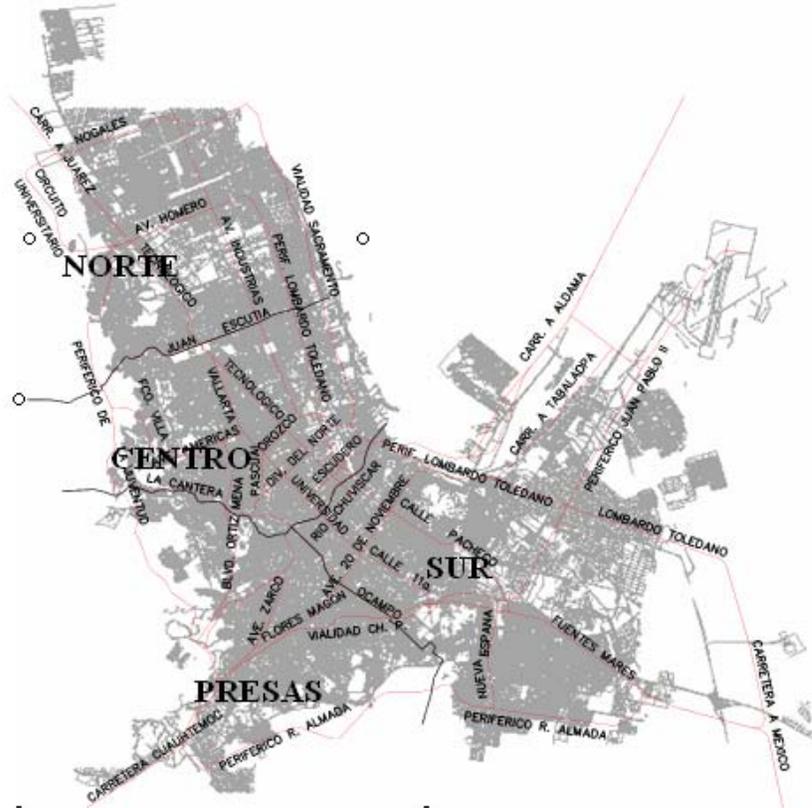


Lámina 4.26. Zonas de operación de la red de distribución en Chihuahua

Tabla 4.17. Diámetros y longitudes de la red de distribución

Diámetro (pulgadas)	Longitud (km)	Longitud (%)
1.50	1.22	0.04
2.00	79.96	2.75
2.50	305.53	10.50
3.00	1367.08	46.98
4.00	222.88	7.66
6	168.99	5.81
8	317.23	10.90
10	64.65	2.22
12	83.68	2.88
14	32.68	1.12
16	9.85	0.34
18	69.27	2.38
20	50.25	1.73
24	58.43	2.01
36	76.37	2.62
42	2.01	0.07
Total	2910.13	100.00



## 4.7 Planta potabilizadora

La planta potabilizadora de la ciudad de Chihuahua, se construyó en el año 1972, con una capacidad instalada para tratar 250 l/s. Ésta se encarga de potabilizar el agua enviada desde la presa Chihuahua, con una línea de 18 pulgadas.

El proceso de la planta potabilizadora es mediante cinco etapas: La primera consiste, en agregar al agua cruda proveniente de la presa Chihuahua, los reactivos de clorhidróxido de polialuminio y cloro, la segunda etapa es el mezclado rápido de estos reactivos con el agua cruda con la finalidad de eliminar los organismos patógenos, la tercera etapa consiste en la sedimentación de coloidea y clarificación del agua; la cuarta etapa es la filtración del agua mediante el cual los flóculos remanentes de los decantadores son retenidos en medios filtrantes formados por arena y gravilla; la filtración se realiza por gravedad, donde el valor de turbiedad a la salida de estas unidades es menor a 1.5 NTU, muy por debajo de los 5 NTU recomendados por la Organización Mundial de Salud y establecido en la NOM-SSA-127 (la cual establece los límites permisibles de concentración que debe tener el agua apta para consumo humano) y la quinta etapa consiste en el almacenamiento y envío del agua potable a la red a una pequeña zona de influencia en la parte centro-oeste.

Como se definió al inicio de este capítulo la fuente superficial es de forma periódica y escasa en el año. Así que la zona abastecida por esta fuente es alimentada el resto del año de volumen proveniente de agua subterránea

## 4.8 Operación del sistema

### 4.8.1 Zonas de influencia de tanques y pozos

La distribución del líquido a la red y por ende al usuario final en la ciudad, se realiza mediante la división en 79 zonas de influencia (ver Lámina 4.27). Estas zonas son definidas en relación al tanque de almacenamiento (generalmente son tanques superficiales) correspondiente en el área y en algunos casos al pozo que puede abastecer directamente al usuario. Cada una de estas zonas identificadas se encuentra definida mediante el aislamiento por de válvulas de seccionamiento (ver Lámina 4.28).

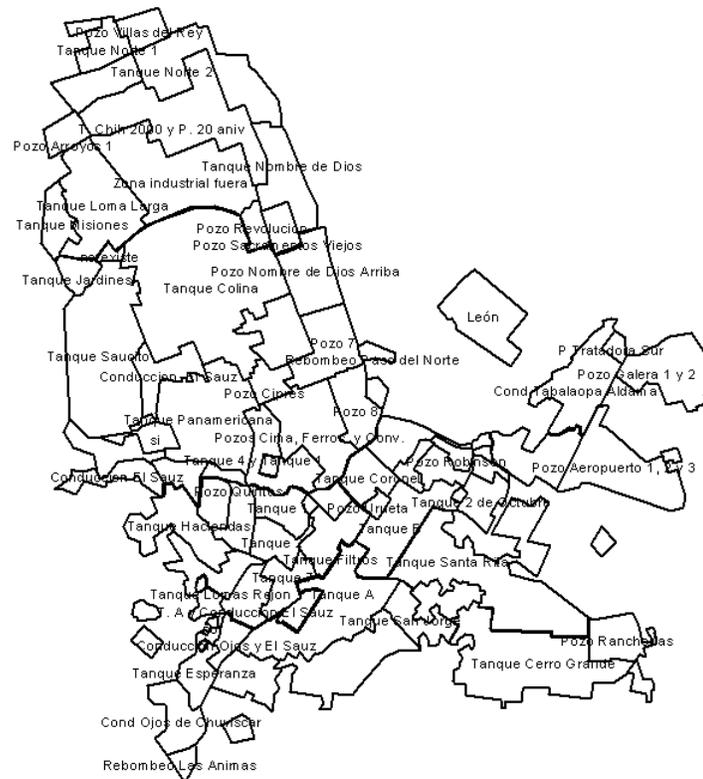
Cuando se tiene un problema de suministro en alguna zona, se permite el paso de agua de la zona limítrofe mediante la apertura de alguna válvula de seccionamiento.

Como fue establecido en el capítulo 2; el servicio del suministro de agua potable en la ciudad es realizado por periodos establecidos en colonias o zonas de influencia; con la finalidad de proporcionar equitativamente el servicio en la ciudad. Dada la problemática de distribución por factores como la topografía, infraestructura existente y el clima.

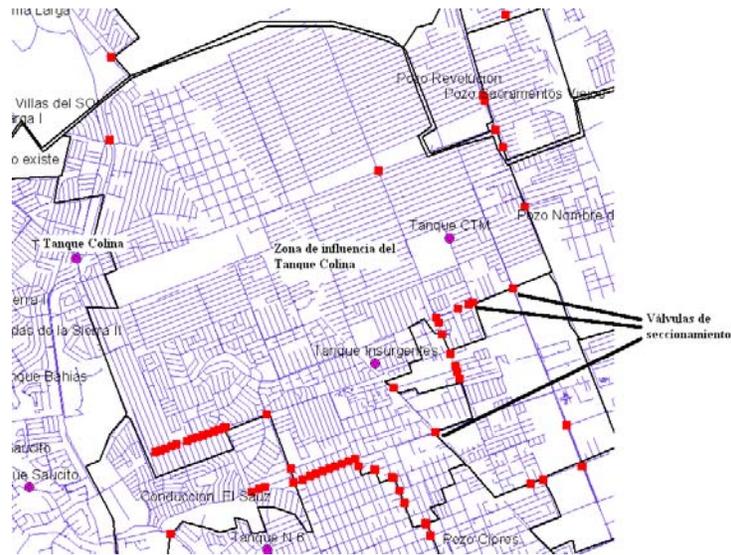


En la Lámina 4.29, se muestran los horarios de servicio promedio de agua potable por colonia. En la ciudad se tiene establecido seis zonas de periodo de suministro, que se identifican de la siguiente manera: la amarilla se le suministra agua las 24 horas del día; la azul con horario de las 5:00 a las 20:00 horas del día; la blanca tiene un suministro de 24 horas del día; esta zona no es operada por la JMÁS, ya que cuentan con pozos propios como la zona industrial; la naranja recibe agua en dos periodos al día de las 10:00 a 16:00 horas y de 20:00 a las 4:00 horas; la roja recibe en agua de las 5:00 a las 18:00 horas del día; y la verde recibe agua en dos periodos al día de las 5:00 a las 10:00 y de las 16:00 a las 20:00 horas.

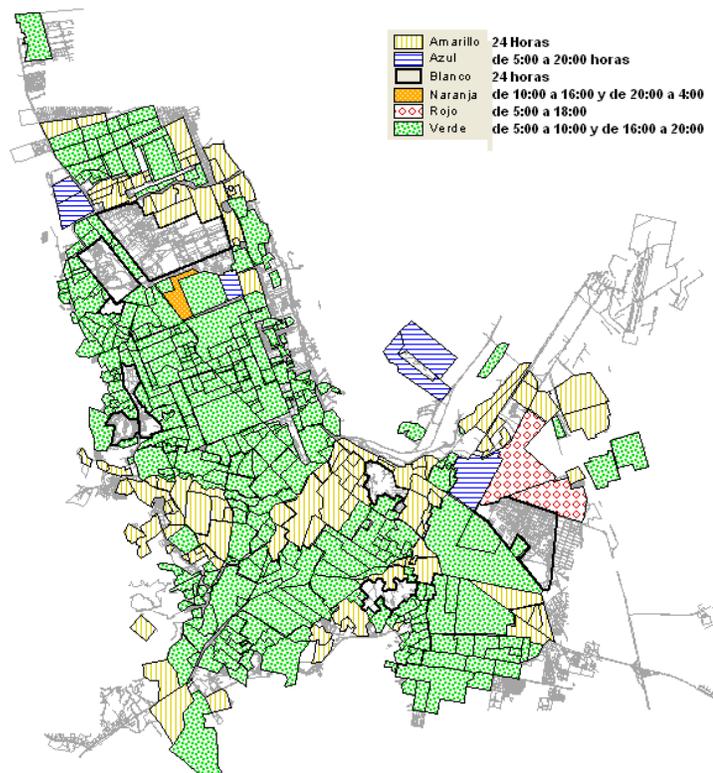
En el Centro de Control se realiza la supervisión de los niveles del agua en los tanques, ya que se tiene un mecanismo de electro nivel en cada tanque que envía el dato de manera continua por medio de telemetría a la computadora central ubicada en el Centro de Control; el nivel de almacenamiento en cada tanque define los tiempos de cierre y apertura de válvulas que son registrados a diario en bitácora, (ver Tabla 4.18 y Tabla 4.19), En estas tablas se da un ejemplo diario de los registros que se tienen en bitácora, hace falta escalar a poder contar con información digital estadística para visualizar mejor la política de operación tanto a lo largo del año, así como de sus diferentes periodos (invierno-verano) con el fin de correlacionar con factores e indicadores que nos definen alternativas de mejoras y optimización de operación.



**Lámina 4.27. Zonas de influencia de los tanques y pozos**



**Lámina 4.28. Zona de influencia del Tanque Colina**



**Lámina 4.29. Horarios de servicio de suministro de agua potable para cada colonia**



**Tabla 4.18. Apertura y cierre de válvulas de las zonas de influencias de los tanques (17 de mayo del 2007)**

NOMBRE	APERTURA		CIERRE		APERTURA		CIERRE	
	HORA	NIVEL	HORA	NIVEL	HORA	NIVEL	HORA	NIVEL
TQ. NOMBRE DE DIOS	3.30	2.90	10.20	1.20	15.15	2.06	20.04	0.80
TQ. LOMA LARGA	3.58	2.41	10.29	1.25	15.35	1.01	21.30	0.64
(VALV. PASEOS)	4.34	2.34	10.30		15.35		21.30	
(VALV. CAMPOBELLO)	4.34	2.34	10.30		15.35		21.30	
TQ. COLINA	3.58	1.93	10.30	0.72	15.11	2.18	20.00	0.86
(VALV. 15 ENE Y SOCIALISMO)	4.49	2.63	10.11		15.11		21.30	
(VALV. SOCIAL. Y CHE GUEVARA)	4.49	2.63	10.31		15.11		21.30	
(VALV. V. GUERECÁ Y R. CORDOVA)			10.10		15.11		21.20	
TQ. CHIHUAHUA 2000	3.59	2.00	10.10	1.07	15.40	0.91	20.13	0.19
TQ. SAUCITO	4.58	2.49	10.07	1.19	15.40	2.24	20.50	0.95
TQ. PANAMERICANA	3.10	2.65	10.15	1.26	15.40	1.96	20.02	0.72
TQ. HACIENDAS DEL VALLE 1	1.47	2.80		2.16	15.30	1.73	20.40	1.55
TQ. HACIENDAS DEL VALLE 2	3.58	1.84	10.14	1.92	15.30	1.90	20.40	1.05
TQ. LOMA REJÓN	4.00	1.98	10.15	2.00	15.45	2.00	20.36	1.14
TQ. ENCORDADO	4.00	2.00	10.16	2.08	15.15	2.28	20.20	1.93
TQ. No. 1 (PLANTA)		2.00	10.17	1.55	15.40	2.00	20.09	1.20
TQ. No. 2 (PLANTA)		1.00	10.17	1.55	15.40	1.40	20.09	
REBOMBEO LOMAS	5.26		10.00	1.10	15.40	20.09	20.09	
TQ. FILTROS	5.30	4.68				2.19	20.00	2.45
TQ. No. 7	4.00		10.14	3.36	15.10	2.49	20.37	0.16
TQ. SAN JORGE	4.01	2.78	10.16	1.34	15.40	1.20	20.40	0.78
TQ. SANTA RITA	4.28	2.55	10.56	1.36	15.46	2.01	20.45	1.04
TQ. No. 4	4.02	1.77	10.15	1.03	15.56	1.50	20.36	1.83
TQ. NORTE 1	4.04	0.58	10.18	1.97	16.00	1.61	20.44	0.46



**Tabla 4.19. Apertura y cierre de válvulas de las zonas de influencias de los tanques (17 de mayo del 2007)**

NOMBRE	APERTURA		CIERRE		APERTURA		CIERRE	
	HORA	NIVEL	HORA	NIVEL	HORA	NIVEL	HORA	NIVEL
TQ. MISIONES UNIVERSIDAD	4.04	2.57	10.18	2.25	16.00	0.90	20.10	1.61
TQ. CAMPANARIO DE ARRIBA	4.03	1.87	10.19	1.71	16.00	3.61	20.30	1.01
TQ. FERIAS	4.03	1.44	10.20	0.60	16.00	3.83	20.40	5.75
TQ. SIERRA AZUL	4.05	5.78	10.22	3.50	16.09	3.49	20.30	8.77
TQ. SENDA REAL	4.05	15.95	10.28	10.27	16.00	1.28	20.30	17.10
TQ. PEÑAS BLANCAS	4.05	1.09	10.28	7.14	16.30	8.90	20.30	0.92
TQ. RINCONADAS 1	4.06	6.79	10.31	1.08	16.15	7.00	20.35	19.00
TQ. RINCONADAS 1	4.06	2.08	10.31	18.33	16.15	20.10	20.40	2.60
TQ. JARDINES	4.07	0.22	10.31	14.90	16.15	20.00	20.40	19.72
TQ. RIBERAS DE SACRAMENTO	4.07	0.07	10.31	14.79	16.15	1.28	20.40	0.58
TQ. ESPERANZA	4.07	2.22	10.37	1.57	16.11	2.12	20.38	1.59
( VALV. ESPERANZA) 8"	2.09	2.28	10.37		16.11		20.38	
TQ. "A"		3.20	10.38	1.37	15.30	2.75	20.40	0.76
(VALV. MENDEZ)	3.11	3.15	10.38		1.30		20.40	
TQ. CERRO GRANDE	4.07	2.82	11.15		16.00	2.40	20.38	0.36
(VALV. CERRO GRANDE)	4.08	2.80	11.20	1.05	16.00		20.38	
TQ. "B"	4.07	2.67	10.38		15.16	1.89	21.00	0.30
(VALV. STA. ROSA)	4.42	2.69*	10.41	1.80	15.16		231.00	
(VALV. 31ª Y URQUIDI)	4.42	2.69	.				21.00	
TQ. NORTE 2	4.07	4.22	10.40		16.12		21.00	1.60
VALV. 94 1/2 Y PINOS	3.09		10.40				20.00	
VALV. FUENTES MARES Y SAUCES	4.19		11.05		15.30		20.45	
VALV. DEL ANGEL Y R. SACRAMENTO			10.00		16.00		20.40	
VALV. WASHINGTON Y JUVENTUD							20.40	
VALVULA DE 36"	1.06	50%					20.30	



#### 4.8.2 Telemetría

Actualmente de los 145 pozos profundos (134 pozos están equipados y de éstos 125 son activos, los otros once están 11 fuera de operación) que se tienen para abastecer a la ciudad, 108 cuentan con telemetría UTR para la operación del encendido y apagado del equipo de bombeo desde el centro de control y 26 de ellos cuentan una instalación local para operarlo de manera manual. Los 134 pozos llevan registro de caudal, gracias a la instalación de macromedidores en todos ellos (ver Tabla 4.20).

De los 84 tanques instalados (entre elevados y siperficiales), 45 de ellos tienen sistema UTR con el que se opera desde el centro de control los niveles, gastos de entrada y salida; 10 de ellos tienen un sistema local que controla la apertura y cierre de válvulas.

Finalmente de los 35 rebombeos existente, 27 de ellos tienen sistema UTR que permite su operación del encendido y apagado del equipo de bombeo desde el centro de control y 13 de ellos cuentan con un sistema local de control.

**Tabla 4.20. Número de instalaciones que cuentan con telemetría**

Tipo de instalación	No. total de Instalaciones	No de instalaciones		% de instalaciones	
		UTR	Local	UTR	Local
Pozos (activos)	134	108	26	74%	26%
Tanques	55	45	10	82%	18%
Rebombeos	40	27	13	68%	33%
Total	240	180	60		

#### 4.8.3 Válvulas reguladoras, sostenedoras y automáticas

En la ciudad de Chihuahua, se tienen instaladas 139 válvulas reguladoras de presión, de diversas marcas (ver Tabla 4.21), como: APCO MEX, BERHAD, CLAVALCO, DOROT, SINGER y VAMEX, además de contar con tres válvulas sostenedoras de presión y una válvula automática (ver Tabla 4.22), los diámetros de las mismas oscilan entre 2 pulgadas y 10 pulgadas (ver Tabla 4.23); destacan las válvulas de 8 pulgadas que representan el 32 % del total. En la Lámina 4.30, se muestra la localización de las válvulas, y distribución por toda la ciudad.

Además se cuenta con 34 válvulas de flotador y 16 válvulas automáticas instaladas en los tanques, mismas que son verificadas y operadas desde el centro de control de la JMÁS.



**Tabla 4.21. Válvulas reguladoras de presión instaladas en la red de distribución**

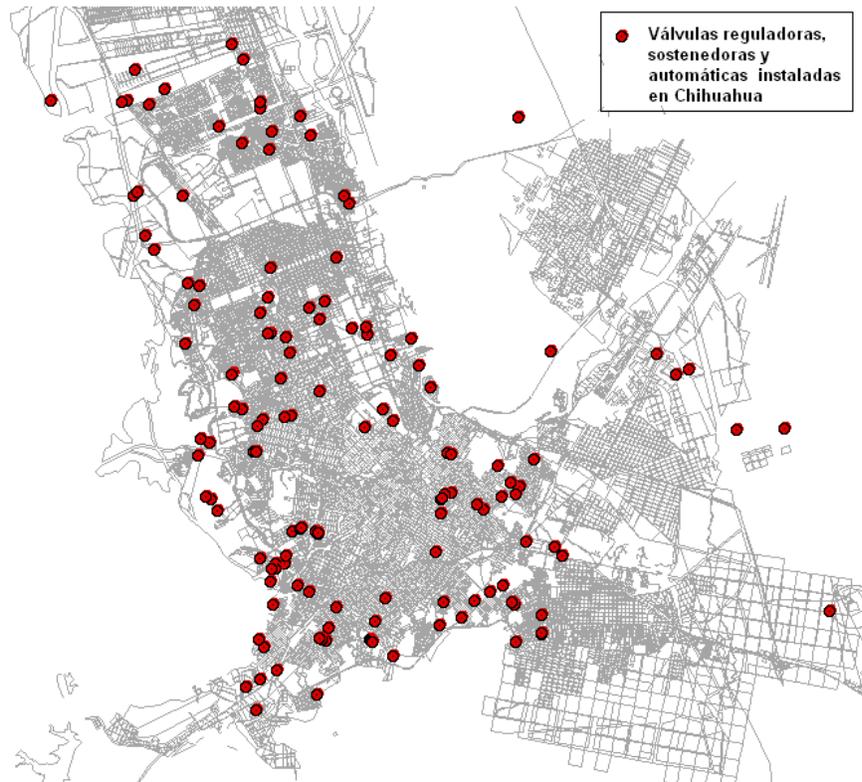
Marca	No. de válvulas Reguladoras	% de válvulas reguladoras
APCO MEX	14	10%
BERMAD	6	4%
CLA VAL CO	1	1%
DOROT	28	20%
SINGER	21	15%
VAMEX	69	50%
TOTAL	139	100%

**Tabla 4.22. Válvulas sostenedoras de presión y automáticas instaladas en la red de distribución**

Marca	No de válvulas	Tipo de Válvulas
RUD	1	Sostenedora
VAMEX	1	Sostenedora
DOROT	1	Sostenedora
VAMEX	1	Automática

**Tabla 4.23. Diámetro de las válvulas instaladas en la red de distribución**

Diámetro	No de válvulas	% de válvulas	Tipo
2	1	1%	Reguladora
2.5	2	1%	Reguladora
3	36	26%	Reguladora
4	23	17%	Reguladora
6	21	15%	Reguladora
8	44	32%	Reguladora
10	4	3%	Reguladora
12	6	4%	Reguladora
16	2	1%	Reguladora
Total	139	100%	
6	1	33%	Sostenedora
4	1	33%	Sostenedora
10	1	33%	Sostenedora
Total	3	100%	
8	1		Automática



**Lámina 4.30. Localización de las válvulas reguladoras, sostenedoras y automáticas**

Cabe precisar que existen innumerables de válvulas de seccionamiento, para delimitar las zonas de influencia, la información relevante o existente a estas serán abordadas en la conceptualización del modelo de simulación.

#### **4.9 Recomendaciones y Conclusiones**

La fuente de abasto de agua superficial es irregular o no permanente y por lo tanto no es segura para el sustento del suministro de agua potable; además todos los embalses existentes fueron construidos a principios de los años 1900 (incluida la presa Chihuahua), no contando con mantenimiento están prácticamente inoperables.

La presa Chihuahua es la única que suministra volúmenes al abasto de agua potable de la Ciudad, aportando un volumen de los meses de mayo a julio de 374,100 m<sup>3</sup> que representa un 0.46% del volumen suministrado a la ciudad desde los meses de enero a diciembre del 2007; Es importante señalar que la JMAS cuenta con derechos de extracción de agua superficial que no puede ejercer por que la presa no alcanza a almacenarlos debido a la variabilidad de los caudales escurridos en su cuenca.



En cuanto a las fuentes de extracción de agua subterránea, se definen para la Ciudad tres cuencas geohidrológicas/acuíferos; los cuales en resumen presentan en el balance técnico realizado por la CNA lo siguiente:

Acuífero Chihuahua-Sacramento.-El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga de  $65.8 \text{ Mm}^3/\text{año}$  y una descarga de  $124.8 \text{ Mm}^3/\text{año}$  por lo que el cambio del almacenamiento subterráneo es de  $-59 \text{ Mm}^3/\text{año}$ . Se esta **sobreexplotando**

Acuífero Tabalaopa-Aldama.- el acuífero tiene una recarga de  $55 \text{ Mm}^3/\text{año}$  y una descarga de  $66 \text{ Mm}^3/\text{año}$  por lo que el cambio del almacenamiento subterráneo es de  $-11 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , en otras palabras. Se esta **sobreexplotando**

Acuífero Saúz-Encinillas.- el acuífero tiene una recarga de  $106.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$  y una descarga  $143.3 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , por lo que resulta un cambio de almacenamiento de  $-49.7 \text{ Mm}^3/\text{año}$ . Se esta **sobreexplotando**

En cuanto a definición de disponibilidad de concesiones o derechos de extracción de aguas subterráneas también realizada por CNA, conforme a la metodología indicada en la "NOM-011-CNA-2000," en los tres acuíferos se tiene:

- Acuífero Chihuahua-Sacramento.- La disponibilidad se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPDA, de esta forma la disponibilidad es de  $47'756,890 \text{ m}^3/\text{año}$ . Se recomienda que las nuevas concesiones se realicen fuera del área de abatimientos y concentración de pozos actuales.
- Acuífero Tabalaopa-Aldama.- Las cifras estimadas por CNA, indican que existe volumen disponible de  $22'992,746 \text{ m}^3/\text{año}$  para nuevas concesiones, cuidando desde luego no concentrar las nuevas extracciones en zonas con alta densidad de aprovechamientos actuales
- Acuífero Saúz-Encinillas.-Según los cálculos de CNA, existen volúmenes disponibles de  $48'250,846 \text{ m}^3/\text{año}$ , para nuevas concesiones, aunque debe cuidarse el otorgamiento en sitios donde existen abatimientos de del nivel del agua.

Cabe hacer mención que aun existiendo disponibilidad para obtener nuevos derechos de extracción en los tres acuíferos, éstos al final están regidos por las declaratorias de veda en los tres acuíferos que datan para: ACHS 1952, ATA 1953 y ASE 1978; siendo esta limitante para emplazar nuevos pozos, concretándose a: la autorización de redistribución de volúmenes de los derechos ya otorgados, sustitución de pozos y compra derechos a otros usuarios que ya cuenten con ellos.

En cuanto al balance de los derechos o títulos concesión de extracción de agua subterránea que tiene la JMAS en los diferentes acuíferos (ver Tabla 4.24); podemos señalar el siguiente



resumen, considerando un caudal máximo de explotación con la infraestructura existente de 4027 litros por segundo.

**Tabla 4.24. Balance de derechos ejercidos en los acuíferos de Chihuahua**

Acuífero	Gasto autorizado (derecho de extracción otorgados por la CNA (l/s)	Capacidad máxima de caudal de explotación	balance de derechos ejercidos
Saúz Encinillas	1350.39	840.2	510.19
Tabalaopa Aldama	874.85	1213.4	-338.55
Chihuahua Sacramento y Ojos de Chuisacar (OCH)	2540.85 (572.55 son de OCH)	1973.4 (216.2 OCH)	567.45 (356.35)
Total	4766.09	4027	

- Acuífero Chihuahua-Sacramento

Los derechos disponibles (356 l/s) se encuentran emplazados en la zona denominada OCH; dado su situación geomorfológico que dificulta la exploración y por ende la explotación de gastos sustentables, ha sido casi imposible su ejercicio. Se tienen estudios de prospección geohidrológica realizados por JCAS-CNA

Los demás derechos (210 l/s) otorgados en este acuífero se encuentran en la superficie vedada (en el valle); donde la normatividad que existe en relación a esto, *“es que en los acuíferos en zona de veda no es posible hacer la transferencia de derechos aun dentro de las mismas cuencas geohidrológicas”*. En cuanto al valle del ACHS la explotación adicional es solo posible con la redistribución de gastos entre aprovechamientos, sustitución de pozos o en su defecto en la compra de derechos de concesión.

- Acuífero Saúz-Encinillas

Donde se encuentran las baterías de la JMAS es también un lugar muy estresado hidrológicamente por la actividad agrícola, delimitando entonces la zona de ejercicio de los derechos disponibles mas hacia el norte en el valle; donde se han encontrado parámetros con concentraciones mayores a los límites permisibles para el consumo de agua potable, dando mala calidad del agua y además con poca productividad hidráulica. Esto determinado con estudios realizados por JCAS-CNA.

En cuanto a la estructuras de almacenamiento, en capítulos posteriores se hará el análisis cualitativo (sectorización), mediante la modelación para determinar la rehabilitación e incorporación de los 2 tanques superficiales que se encuentran fuera de servicio, que en total suman 5,500 m<sup>3</sup> de volumen para almacenamiento. Además se tienen 16 tanques elevados con capacidad total de 2350 m<sup>3</sup> de almacenamiento que no se utilizan.



El análisis cuantitativo de la capacidad de infraestructura instalada y fuera de operación; por la inversión en dicha estructuras y la posibilidad de que cada tanque cuente con una zona de influencia definida y una política de operación para el llenado y vaciado de los mismos. Esto facilitará las labores de operación y planeación de la Junta.

La capacidad de los tanques superficiales no esta directamente relacionada con su área de influencia, ya que encontramos tanques de menor capacidad con mayor área de influencia, así mismo su superficie de servicio no esta delimitado por elevaciones piezometricas.

En cuanto a los registros de la política de operación mediante telemetría y manual, es necesario escalar y automatizar el proceso de registro de los datos para tener estadísticas que coadyuven al análisis y toma de decisiones.



## 5. REGISTROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

### 5.1 Macromedición

Un sistema de macromedición es primordial para las acciones de incremento y control de eficiencia física e hidráulica, éste permite conocer con exactitud los volúmenes de agua que son suministrados a la red y la variación de la demanda de agua a los usuarios, ambos puntos fundamentales en la realización de balances de agua confiables.

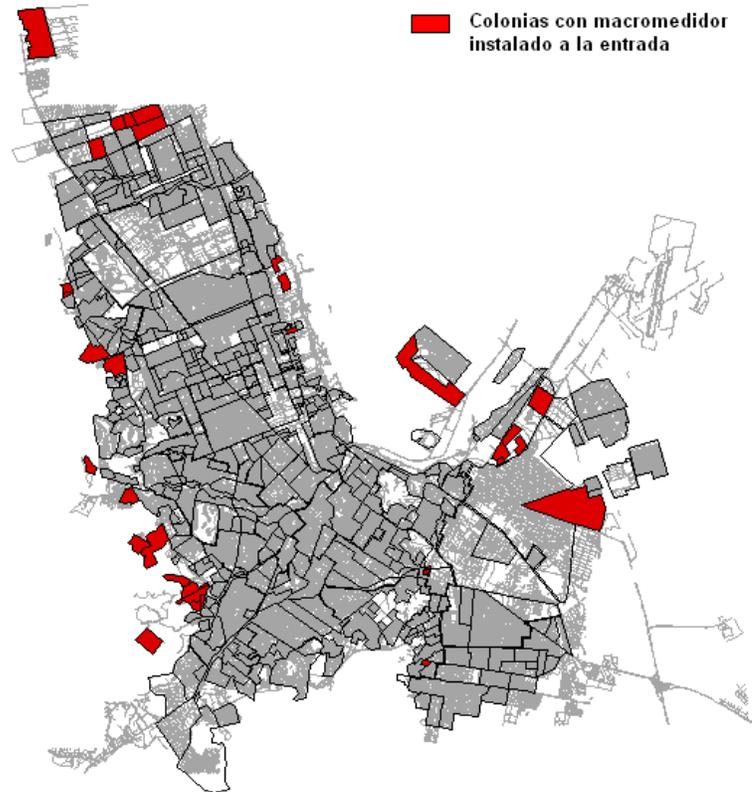
La JMAS sigue los lineamientos de la CNA en la instalación de macromedidores en las fuentes de suministro a la ciudad. Éstos son de tipo propela bridado que se instalan a la salida del pozo.

Como resultado de lo anterior todos los pozos profundos cuentan con un macromedidor. El departamento de suministro de la JMAS es el encargado de llevar un registro de los caudales de cada fuente de suministro, éste se lleva a cabo de manera mensual y anual en archivos de formato Excel que facilitan su consulta.

Actualmente la JMAS ha instalado macromedidores en la entrada de 54 colonias de la ciudad (ver Lámina 5.1) a las que se les registra el caudal de suministro; en éstos aún no se tiene un programa de registro de caudales programado como el de las fuentes, los macromedidores sirven como referencia para conocer los volúmenes de agua suministrado a la colonia pero se realiza de manera puntual. En el futuro la JMAS planea con estos macromedidores implementar programas de detección y recuperación de caudales, etapa que esta en proceso.

También se realiza un programa de macromedición en las ocho líneas de conducción en un programa establecido cada tres meses; sin embargo no se tiene un historial de dichas mediciones.

En cuanto a los rebombes estos no tienen registro de mediciones de caudal, pero se tienen manómetros instalados a la salida del mismo, y como el Departamento de Suministro cuenta con las curvas características de los equipos de bombeo, con lo que se puede conocer el caudal de suministro.



**Lámina 5.1. Colonias con macromedidor instalado en la entrada de la red de distribución**

## 5.2 Micromedición

La micromedición de un sistema de agua potable es esencial junto con la macromedición ya que permiten tener un control óptimo de los volúmenes de agua que se entregan a los usuarios y darle la rentabilidad al sistema.

En diciembre del 2007 se tenía un total de 265,413 contratos de tomas domiciliarias registradas en la JMAS, de éstos 254,611 tienen micromedidores instalados, que equivalen a una cobertura de micromedición del 95.93 % del total de contratos.

Los contratos con cuota fija a la misma fecha son 10,802 usuarios, en la Lámina 5.2, se muestra como el número de usuarios de cuota fija disminuyó de enero a diciembre del 2007, de un total de 12,679 usuarios, se instalaron 1877 micromedidores en este tipo de usuarios por lo que disminuyó a 10,802 usuarios.

El tandeo, que se tiene desde hace 20 años aproximadamente, con el tiempo se ha agudizado; esto debido a que el volumen alumbrado o gasto de extracción (oferta) en este periodo no ha



aumentado acorde a la necesidad (demanda) de crecimiento de la ciudad; el abatimiento de los niveles de producción en los aprovechamientos es debido a los siguientes factores:

- a) Deterioro de vida útil de: la estructura de captación del pozo (el 60% de los pozos tiene mas de 20 años de antigüedad).
- b) Equipo de bombeo de eficiencia normal
- c) Descenso de producción y niveles freáticos en la zona de captación (Acuífero).

Por lo que la JMAS a partir de 1995 ha llevado acabo campañas con los usuarios para promover el uso de tinacos, con la finalidad de que el usuario cuente con un volumen de agua para las horas en las que no les llega el servicio a su toma domiciliaria.

En todas las viviendas de los fraccionamientos nuevos por reglamento y con la normatividad de la JMAS deben contar un tinaco mínimo de 800 litros.

Sin embargo el impacto generado de la demanda por almacenamiento de volumen en tinacos provoca que los tanques de esa área de influencia se vacíen por una sobre demanda; esto no se tiene cuantificado y es difícil hacerlo hasta no contar con sectorización y lo cual incide en una política de operación.

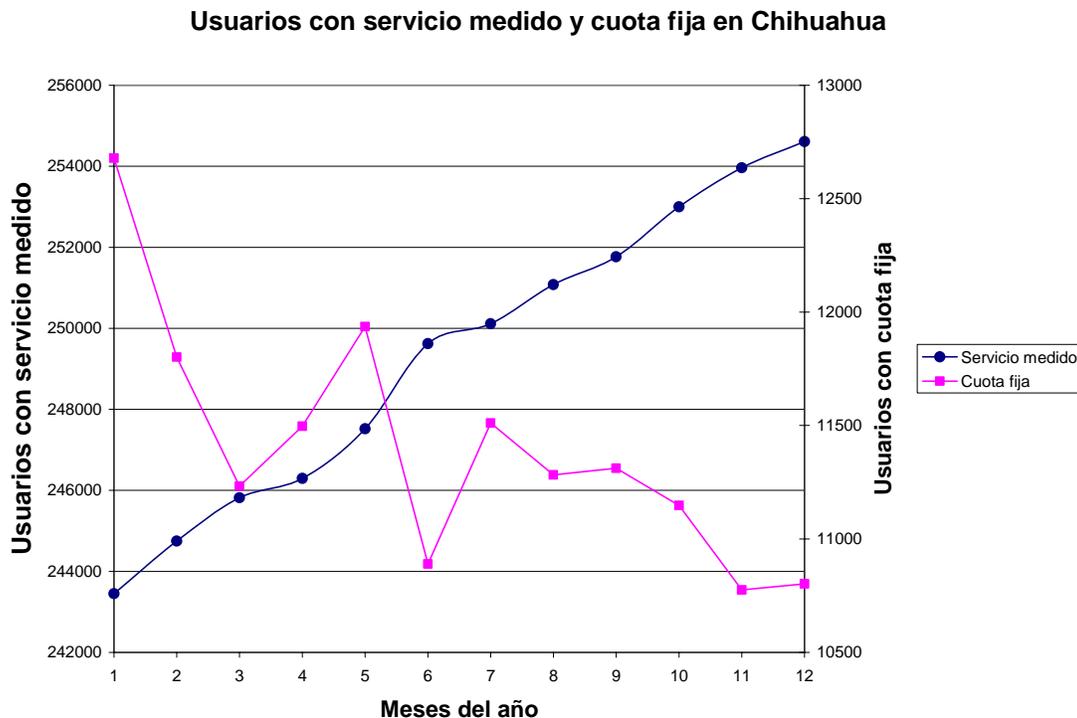


Lámina 5.2. Usuarios con servicio medido y cuota fija



### 5.3 Estadísticas de fugas

Existe un departamento Gestoría y Seguimiento adscrito a Dirección Técnica donde se ubica el Centro de Información y Servicio (CIS), el cual otorga el servicio al usuario vía telefónica para atender los reportes que éstos hagan de fallas o fugas en la red de distribución y en el sistema hidrosanitario, en el CIS se registra el reporte dando un folio para su seguimiento a cada registro. El CIS recibe, clasifica y asigna número de folio a los reportes de los usuarios y las turna a los departamentos responsables de dar respuesta, y éstos a su vez devuelven los reportes foliados al CIS con la correspondiente respuesta.

En la Tabla 5.1, se muestran la clasificación de falla reportados y registrados por el Centro de Información y Servicio (CIS), destacan que en promedio del mes de enero a diciembre del 2007 se presentan 334 fugas en calle, clave A1 asignada por el CIS y 409 fugas en las tomas domiciliarias, clave A3.

**Tabla 5.1. Tipos de fallas del mes de enero a noviembre del 2007**

Tipo de Falla	Clave	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total	Prom
Fuga en la red	A1	389	340	314	310	296	302	370	404	356	323	327	282	4013	334
Fuga en Medidor	A2	105	88	84	62	90	71	77	84	45	66	63	50	885	74
Fuga en la toma	A3	440	379	416	387	427	383	362	439	410	432	395	435	4905	409
Fuga en caja de válvulas	A4	28	20	20	17	20	11	11	17	15	13	19	8	199	17
Fuga en casa sola	A5	11	13	14	10	18	4	4	2	10	5	12	12	115	10
Detectar Fuga y/o línea gral.	A6	84	98	110	81	77	63	66	64	51	30	45	33	802	67
Falta agua sector	B1	3	9	16	15	22	61	26	30	29	18	23	20	272	23
Falta agua domicilio	B2	100	134	135	125	151	125	105	120	90	135	83	82	1385	115
Baja presión	B3	4	2	1	5	6	1	3	6	2	1	7	1	39	3
Aire en línea	B5	1	2	1	3	1	4	1		3	0	0	2	18	2
<b>Total</b>		<b>1165</b>	<b>1085</b>	<b>1111</b>	<b>1015</b>	<b>1108</b>	<b>1025</b>	<b>1025</b>	<b>1166</b>	<b>1011</b>	<b>1023</b>	<b>974</b>	<b>925</b>	<b>12633</b>	<b>1053</b>

Se tiene un total de reportes en el 2007 de 1053, de los cuales el 100% fueron solucionados. El tipo de falla más recurrente son los de las Claves A1, A3 y B3. Por su importancia en número siguen los reportes en fuga en medidor (A2) con 74, falta de agua en domicilio (B2) con 115 y fuga en línea general (A6) con 67; En el caso de la clave B2, puede deberse al desconocimiento del usuario del horario de servicio que le corresponde.

En cuanto a la clave A2 esta es sólo reportado por el usuario cuando se encuentra a la salida del medidor e incide en cuanto a su consumo y no en el caso de encontrarse antes, dada la cantidad de reportes en este rubro puede estimarse que un porcentaje similar o menor puede estarse presentándose; en esta consideración e impactar en la eficiencia física.



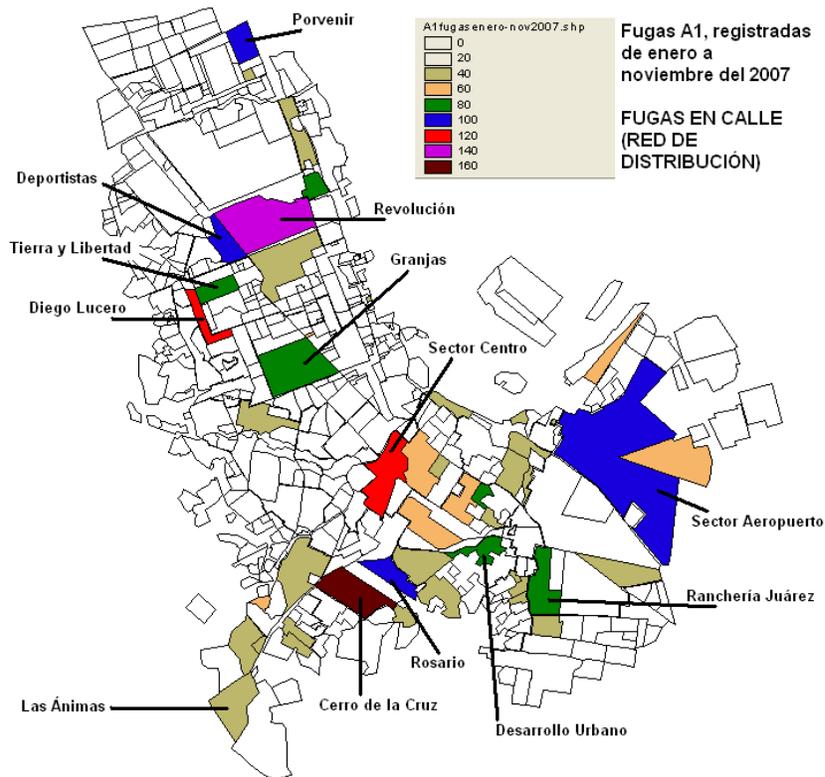
### 5.3.1 Fugas anuales por colonia

En las Lámina 5.3 y Lámina 5.4 se muestran las zonas con alta incidencia de fugas en la red de distribución (Clave A1) y en la toma domiciliaria (Clave A3) que son reportadas al departamento CIS, estas láminas muestran las fugas totales registradas para los meses de enero a noviembre del 2007.

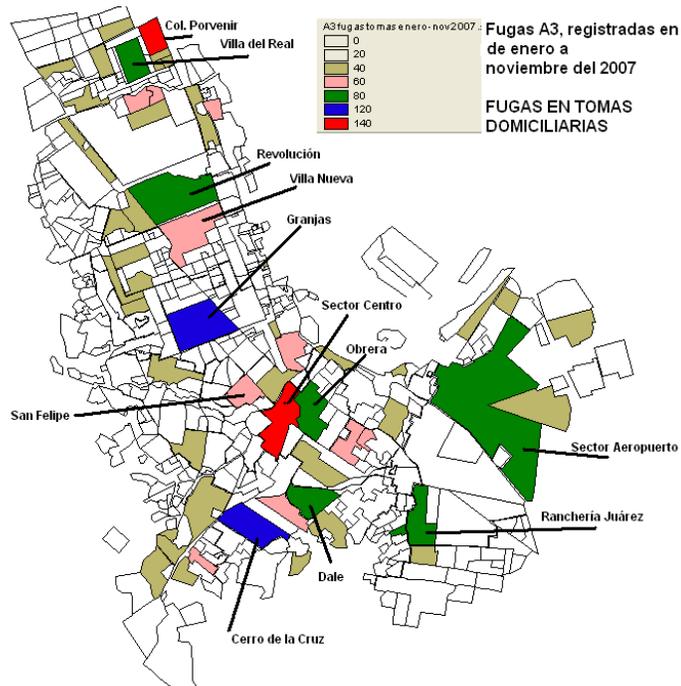
Destaca que las fugas en Calle, clave A1, la colonia Cerro de la Cruz es la más problemática, ya que se presenta un rango de 140 a 160 del reporte de fugas de enero a noviembre, le sigue la colonia Revolución con un rango de reporte de fugas de entre 120 a 140, el sector centro y la colonia Diego Lucero caen en el rango de reporte de fugas de 100 a 120 y las colonias Porvenir, Deportistas, rosario y el Sector Aeropuerto presentan un rango de entre la 80 y 100 fugas de enero a noviembre. El tener reporte puede que una fuga sea reincidente considerando el mismo problema en forma recurrente, dado que el folio es asignado cuando se hace el reporte no es posible identificar lo anterior.

De las fugas en tomas, clave A3, El sector Centro y la colonia Porvenir son las más problemáticas con rangos de fugas que oscilan entre las 120 y 140. Las colonias Cerro de la Cruz y Granjas tienen un rango de fugas en tomas de entre las 100 y 120. Las colonias de Villa Real, Revolución, Obrera, Dale, Ranchería Juárez y Sector Aeropuerto presentan fugas en tomas domiciliarias que oscilan entre los rangos de 80 a 100.

Se puede observar que las claves A1 y A3 se presentan en el mismo periodo casi en las mismas colonias; por lo cual sería conveniente con el análisis estadístico de estos eventos, con la finalidad de contar con el indicador de reincidencia por zona.



**Lámina 5.3. Zonas con alta incidencia de fugas en la red de distribución, clasificación por número de registros clave A1 del CIS**



**Lámina 5.4. Zonas con alta incidencia de fugas en tomas domiciliarias, clasificación por número de registros clave A3 del CIS**



### 5.3.2 Fugas en tuberías al año por kilómetro de red

Un indicador de la problemática de fugas en la red de distribución (clave A1) es el número de fugas por km de red de distribución al año; en esta clasificación (ver Tabla 5.2), se define:

- Red está en buen estado, cuando se tiene menos de dos fallas por km de red al año.
- Se considera entre dos y cinco fallas por km de red al año que se debe implementar un programa de detección y reparación de fugas.
- Cuando se tiene más de 5 fallas por km de red al año, se recomienda implementar un programa de sustitución o rehabilitación de tubería.

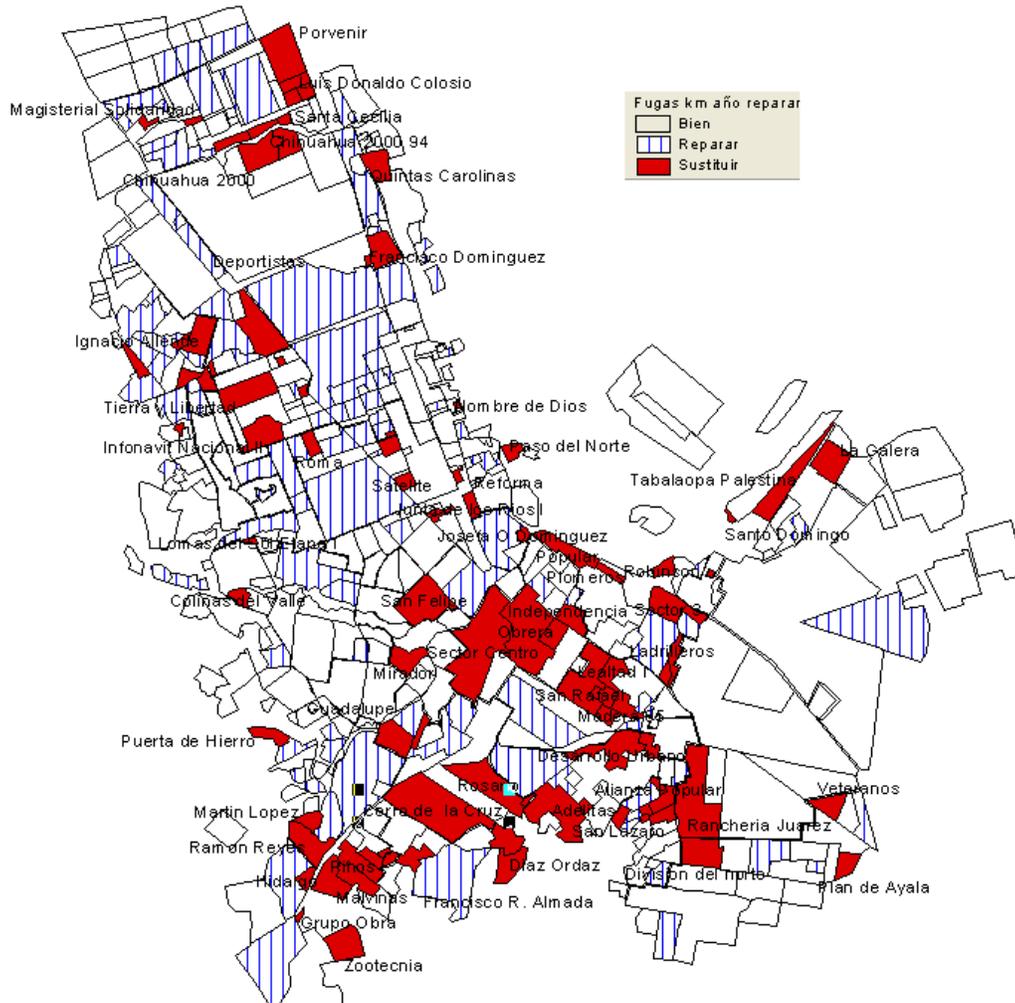
Con base en la información generada por el CIS en el 2007, y considerando la longitud de la red por colonia, se generó el plano de fugas por km de red al año (ver Lámina 5.5). En este plano se indican las zonas de la ciudad en que es necesario sustituir la tubería debido al problema de fallas. En un análisis cuantitativo del total de las colonias con problemas se tiene que deben sustituirse 419.9 km de red que representa un 14.43% del total de la longitud de la red (ver tabla 3.16). (Considerando la totalidad de la longitud de red en estas colonias, lo cual para definir con precisión la totalidad de longitud de líneas a sustituir es necesario un análisis cualitativo)

Además, de las colonias en donde es necesario implementar un programa de detección y reparación de fugas, representa una longitud de red de 676.4 km que son el 23.24% del total de la longitud de la red (ver Tabla 4.17).

Destaca mencionar, que se considera que la mayor parte de la red está en buen estado. Ya que se tiene que las colonias restantes que representan el 62.33% del total de la longitud de red (1813.8 km), presentaron menos de 2 fugas por km al año.

**Tabla 5.2. Número de fallas por km de red**

<b>Fallas en la red de distribución</b>	<b>Recomendaciones</b>
Menos de 2 falla por km de red al año	Red en buen estado
De 2 hasta 5 fallas por km de red al año	Reparar y detectar fugas en tubería
Más de 5 fallas por km de red al año	Sustituir o Rehabilitar tubería



**Lámina 5.5. Fugas en tuberías al año por km de red**

Cabe señalar que en casi el 40% de la longitud de la red es necesario un análisis a detalle para jerarquizar la reposición de tramos de tuberías.

También es visible que este problema se concentra en la parte centro-sur de la Ciudad, considerando que ahí es donde se tienen las líneas con mayor vida útil y por ende las tuberías más viejas donde se tiene mayor incertidumbre en el catastro.

#### 5.4 Recomendaciones y conclusiones

A pesar de que se tienen instalados macromedidores a la entrada de 54 colonias, la JMAS no cuenta con un programa establecido para registrar los volúmenes de entrega de agua a los usuarios de dichas colonias, por lo que se recomienda llevar un registro permanente y periódico de los macromedidores instalados, esta medición debe coincidir con la medición mensual



realizada para la facturación que hace la Dirección Comercial; con la finalidad de establecer balances de agua por colonias y con ello facilitar la detección de fugas en la red principal y para fines de comparación con los volúmenes de agua registrados en los medidores domiciliarios. Las mediciones en los macro medidores se recomiendan que sean llevados a cabo por la Dirección Técnica y compartidos con la Dirección Comercial, para la evaluación de las eficiencias física por parte de la Dirección Técnica y eficiencia comercial de la colonia por parte de la Dirección Comercial y establecer programas en conjunto.

En cuanto a las Conducciones, se recomienda llevar registro estadístico del historial de mediciones de caudales realizadas con equipo ultrasónico en las ocho conducciones, en puntos específicos y establecidos que definan los volúmenes de entrega a red y de los caudales de entrada a tanques principales y de salida de estos volúmenes hacia la distribución en su zona de influencia, a partir de ello se determinará la distribución de gastos en las mismas y la detección de posibles fugas.

De acuerdo a los reportes estadísticos entregados por el CIS, el 62.32 % de la red de agua potable esta en buen estado. El 23.24 % requiere de un programa de detección y reparación de fugas y el 14.43% de la red debe ser rehabilitado.

Cabe señalar que en casi el 40% de la longitud de la red es necesario un análisis a detalle para jerarquizar la reposición de tramos de tuberías.

También es visible que este problema se concentra en la parte centro-sur de la Ciudad, considerando que ahí es donde se tienen las líneas con mayor vida útil y por ende las tuberías más viejas donde se tiene mayor incertidumbre en el catastro.

## 6. CAMPAÑAS DE MEDICIÓN

### 6.1 Verificación de medidores domiciliarios

Para la verificación de los medidores domiciliarios se seleccionó una muestra aleatoria de 400 micromedidores. Para este muestreo no se considera ningún tipo de sesgo o estratificación, es decir, no se hacen diferencias por ningún tipo de rango de las variables inmersas en la micromedición (rangos de consumo, marca, antigüedad, estrato social, etc.).

Una vez seleccionada la muestra y con el apoyo de personal de las Direcciones Comercial y Técnico de la JMAS, se localizaron los micromedidores en gabinete (ver Lámina 6.1); en general se consideró distribuirlos de manera uniforme a todo lo largo de la ciudad, con la finalidad de que la muestra considerara las diferentes zonas de presión y marcas de medidores instalados en la ciudad.

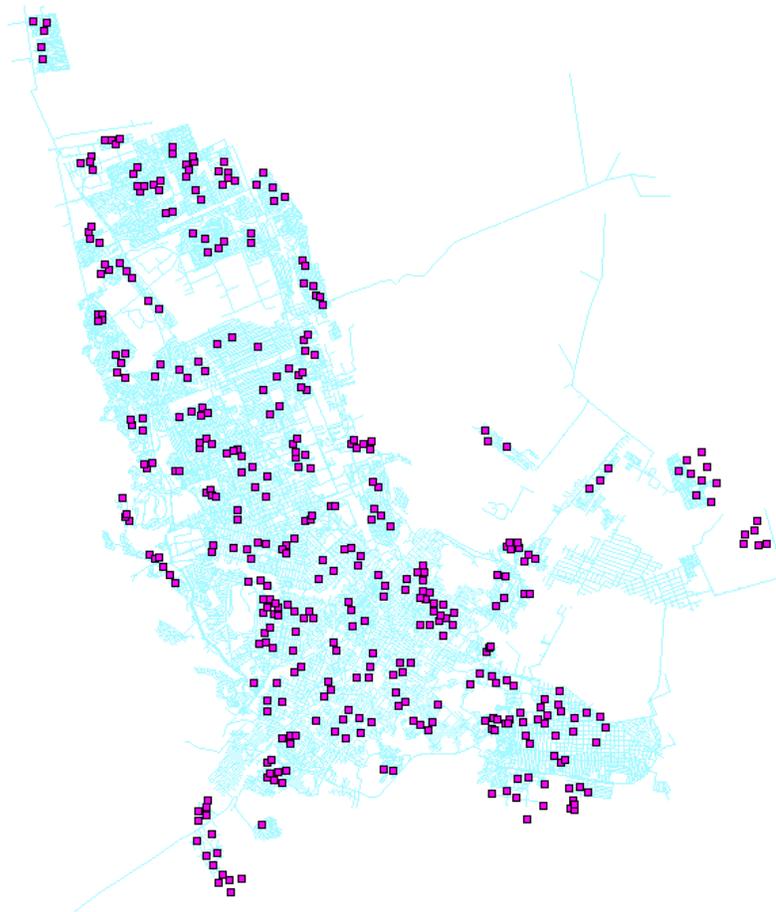
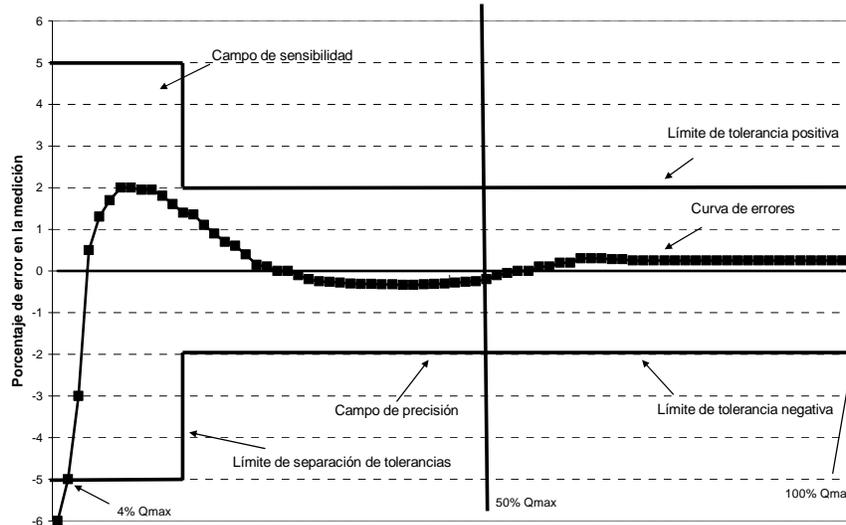


Lámina 6.1. Localización de los medidores domiciliarios a verificar en campo

### 6.1.1 Rango de exactitud de los medidores

La curva característica de un medidor es la que nos refleja el error máximo que puede permitirse al realizar una medición para cada punto de caudal a medir. Así se pueden tener dos condiciones de operación del medidor, la primera es el concepto de precisión que queda definido por la desviación o tolerancia de error con la que mide el micromedidor para un determinado caudal de trabajo, generalmente este caudal es el designado por el 100 % del gasto para el cual fue diseñado el medidor, los errores aceptados para este rango es generalmente del  $\pm 2\%$  (ver Lámina 6.2).

El segundo es el de sensibilidad, que es la capacidad del medidor para registrar de manera precisa los caudales pequeños, cuando la velocidad lineal del agua es baja, los errores aceptados para este rango de operación oscilan entre  $\pm 5\%$  a  $\pm 2\%$ , cuando los medidores caen fuera de este rango se dice que están fuera del campo de sensibilidad.



**Lámina 6.2. Curva de característica de los medidores domiciliarios**

### 6.1.2 Pruebas para la verificación del error en los medidores domiciliarios

El objetivo de la verificación es estimar el error medio de medición de consumos por medio de la evaluación del error de micro medición. La verificación se basa en la NOM-042-SCFI-1997 y la NOM-012-SCFI-1994.

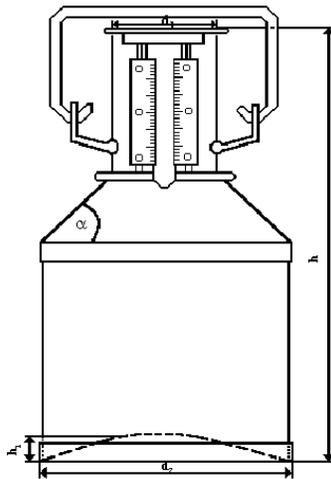
Se verifican los medidores seleccionados en tres caudales distintos:

- Para el gasto obtenido a llave de paso completamente abierta (100% de apertura);
- Para el gasto correspondiente al 50% del gasto obtenido con el 100% de la apertura de la llave de paso; y
- Con el gasto correspondiente al 4% del gasto obtenido con el 100% de la apertura de la llave de paso.

### 6.1.3 Equipo empleado

El equipo empleado para las pruebas de error es el siguiente::

- Cronómetro digital con una exactitud de 1/100 de segundo.
- Medida volumétrica comercial de 10 litros, fabricada y calibrada según la Norma Oficial Mexicana NOM-042-SCFI-1997 (ver Lámina 6.3).
- Probeta graduada con capacidad de 1 litro.
- Dispositivo para establecer los gastos requeridos (comúnmente llamado “cuello de ganso”), Ver esquema de la Lámina 6.4.
- Herramientas y materiales de plomería.



**Lámina 6.3. Unidad volumétrica**

### 6.1.4 Realización de la prueba

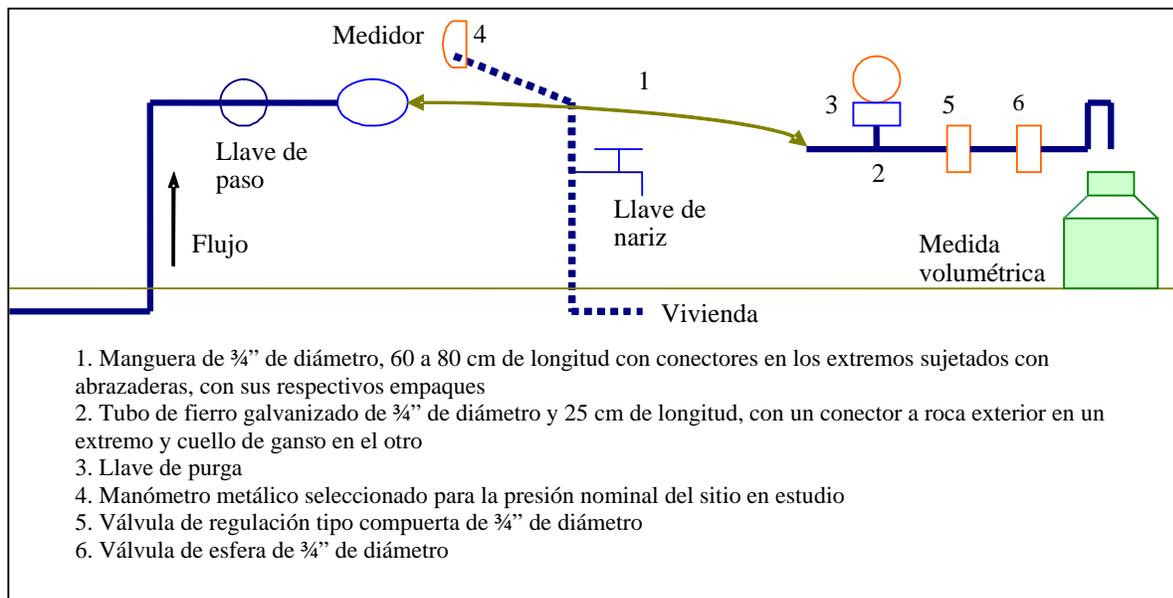
Una vez seleccionados los micromedidores, se procede a solicitar el acceso a cada uno de los predios. Enseguida son anotados en un formato tipo los datos generales (datos del usuario, colonia, fecha de realización de la prueba), los datos del medidor (marca, clase, número de serie y tamaño) y los datos de los equipos utilizados para las pruebas.

Posteriormente, se verifica que no esté pasando agua al interior del domicilio, conectando así a la llave de nariz el dispositivo de prueba, o en su defecto conectándolo a la extremidad de salida del medidor, Lámina 6.4. Se procede a purgarlo abriendo totalmente las válvulas, tanto la de paso de la conexión domiciliaria como las del dispositivo, sin olvidar la de purga del manómetro, la cual se cierra al final de esta acción.

Después se mide la presión en el sitio, para lo cual se cierra la llave de esfera del dispositivo y la de paso de la toma. Se determina el gasto con la llave de paso completamente abierta cuantificando el tiempo en que se completa un volumen previamente determinado de 10 litros, que es el volumen de la medida calibrada. Conocido el gasto para el 100% de la apertura de la llave de paso, se calculan el gasto para el 50 y el 5 % del gasto previamente obtenido.

Se inicia la prueba para el gasto de apertura total, que consiste en tomar la lectura inicial del micro medidor evaluado para luego abrir de forma súbita la llave de globo del dispositivo e iniciar el llenado de la medida volumétrica, llevando el conteo de tiempo de llenado. Es importante mencionar que una vez llena la medida, se cierra de forma súbita la llave de globo y se toma la lectura final del medidor verificado, así como el volumen vertido en la medida volumétrica. Las medidas tienen una precisión de 10 mililitros.

El procedimiento anterior se repite tres veces para cada uno de los gastos de prueba. La información de la prueba es vaciada durante su realización en el formato que se muestra en la Lámina 6.4.



**Lámina 6.4. Esquema del dispositivo para establecer los gastos de la prueba**



## VERIFICACIÓN DE MICROMEDIDORES

<b>N° de sector:</b>		<b>CIUDAD:</b>			
<b>Calle y n°:</b>					
<b>Colonia:</b>					
<b>Brigada:</b>		<b>Fecha:</b>			
<b>No. de contrato:</b>		<b>Hora de inicio</b>			
<b><i>DATOS DEL MEDIDOR</i></b>					
Marca		No. de serie	Capacidad (m <sup>3</sup> /h)	Antigüedad	
<b><i>POSICIÓN</i></b>					
Correcta		Incorrecta	Empotrado	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	
<b><i>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO A MICROMEDIDORES</i></b>					
<b><i>PRUEBA VOLUMÉTRICA CON LA LLAVE COMPLETAMENTE ABIERTA</i></b>		<i>Caudal (l/s)</i>	Capacidad del medidor patrón (litros)	VOLUMEN EN EL MEDIDOR PATRÓN (litros)	Vol. medido:
					Tiempo:
1ra lectura en el medidor		Lectura final			
2da lectura en el medidor		Lectura final			
3ra lectura en el medidor		Lectura final			
<b><i>PRUEBA VOLUMÉTRICA AL 50% DEL CAUDAL A LLAVE COMPLETAMENTE ABIERTA</i></b>		<i>CAUDAL (l/s)</i>	Capacidad del medidor patrón (lts)	VOLUMEN DEL MEDIDOR PATRÓN (l)	Vol. =
					t =
1ra lectura en el medidor		Lectura final			
2da lectura en el medidor		Lectura final			
3ra lectura en el medidor		Lectura final			
<b><i>PRUEBA VOLUMÉTRICA AL 4% DEL CAUDAL A LLAVE COMPLETAMENTE ABIERTA</i></b>		<i>CAUDAL (l/s)</i>	Capacidad del medidor patrón (lts)	VOLUMEN DEL MEDIDOR PATRÓN (l)	Vol. =
					t =
1ra lectura en el medidor		Lectura final			
2da lectura en el medidor		Lectura final			
3ra lectura en el medidor		Lectura final			
<b>OBSERVACIONES</b>					
					

Lámina 6.5. Formato de campo para el registro de información de las pruebas de exactitud



### 6.1.5 Marca de los medidores verificados en campo

De los 416 medidores verificados en campo, se detectaron 7 marcas diferentes (ver Tabla 6.1): de la marca Arad, se verificaron 123 medidores que corresponde al 29.57% de la muestra total; de la marca Azteca, se encontraron y verificaron 51 que corresponde a un 12.26% de la muestra total; de la marca Invensys, se verificaron 23 medidores que representa el 5.53% de la muestra; de la marca Schulemberger, se verificaron 28 correspondiendo al 6.73%; de la marca Sensus, se verificaron 188 medidores que corresponde al 45.19% de las muestra total, también se localizaron 2 medidores de la marca CICASA y un medidor de la marca KENT. En total se tiene una muestra de medidores de 7 marcas diferentes.

**Tabla 6.1. Clasificación por marca de los medidores verificados en Campo.**

Marca	No medidores verificados en campo	Porcentaje de medidores verificados en campo
Arad	123	29.57%
Azteca	51	12.26%
Cicasa	2	0.48%
Invensys	23	5.53%
Kent	1	0.24%
Schulemberger	28	6.73%
Sensus	188	45.19%
	416	100.00%

### 6.1.6 Cálculo de los errores de medición de los micromedidores

Para cada grupo de medidores se presentan dos errores, el error medio de sobremedición y el error medio de submedición calculado de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$Em_{ij} = \frac{Vm_{ij} - Vr_{ij}}{Vr_{ij}}$$

Donde:

$Em_{ij}$ , Error medido absoluto

$Vm_{ij}$ , volumen medido en el recipiente patrón de 10 litros

$Vr_{ij}$ , Volumen registrado por el medidor

Considerando el conjunto de errores absolutos estimados en cada micro medidor, se procede a evaluar el error medio de submedición y el error medio de sobremedición por marca a partir de la ecuación siguiente:



$$E_j = \frac{\sum Em_{ij}}{n} \quad (17)$$

Donde:

$E_j$ , Error de sobremedición o submedición

$n$ , Número de medidores que sobremiden o submiden.

#### 6.1.7 Errores de medición para una apertura del 100%

De las verificaciones realizadas en campo (en el anexo A, capítulo 11 de la Tabla 11.1 a Tabla 11.12 se muestran los resultados de las verificaciones realizadas en campo), se determinaron los errores de submedición y sobremedición, así como los medidores que se encuentran en el rango de funcionamiento adecuado, en la Tabla 6.1, se muestra un resumen de los resultados obtenidos para una apertura de válvula del 100 por ciento.

De la marca Arad, de los 123 medidores se detectó que 10 de ellos submiden el volumen de agua con un error promedio de -3.13%, 75 medidores de dicha marca caen dentro del rango de funcionamiento adecuado, es decir miden bien con un error promedio de 0.36%, 38 medidores de la marca Arad sobremiden el volumen de agua con un error promedio de 4.46 por ciento. Los micromedidores pertenecientes a esta marca tienen rangos de instalación de 1995 a 2006, siendo 50 de ellos instalados en el 2005, en el 2003 fueron instalados 44 micromedidores. Del total de micromedidores evaluados de esta marca los que se encuentran en el rango de funcionamiento adecuado representan un 61 por ciento.

De la marca Azteca, de los 51 medidores verificados en campo, 27 de ellos submiden el volumen con un error promedio de -9.92%, 14 medidores caen en el rango de medición adecuado con un error promedio de -0.11% y 10 medidores sobremiden el volumen de agua con un error promedio de 3.79 por ciento. Los micromedidores pertenecientes a esta marca tienen rangos de instalación de 1994 a 2006, siendo 16 de ellos instalados en el 1994, en el 1995 fueron instalados 10 micromedidores y en el 2000 se instalaron 13. Del total de micromedidores evaluados de esta marca los que se encuentran en el rango de funcionamiento adecuado representan un 27 por ciento.

De la marca Cicasa, sólo se verificaron 2 medidores con un error promedio de sobremedición del volumen del 2.34 por ciento, éstos fueron instalados en el año 2000.

De la marca Invensys, de los 23 medidores monitoreados, dos de ellos submidieron el volumen con un error del -2.67%, 18 medidores miden bien con un error promedio de 0.62% y 3 medidores sobremidieron el volumen con un error promedio de 4.36 por ciento. Los micromedidores de esta marca tienen rangos de instalación de 2002 a 2003, siendo 12 de ellos instalados en el 2002, en el 2003 fueron instalados 11 micromedidores. Del total de micromedidores evaluados de esta marca los que se encuentran en el rango de funcionamiento adecuado representan un 78 por ciento.



De la marca Kent sólo se verificó un medidor con un error promedio de 3.58 % de sobremedición, instalado en el año de 1992.

De la marca Schulemberger, se verificaron 28 medidores, de los cuales 11 de ellos submiden el volumen de agua con un error promedio de -6.31%, 12 de ellos caen en el rango de medición correcto con un error promedio de -0.07% y 5 medidores sobremiden el volumen con un error promedio de 3.56 por ciento. Los micromedidores de esta marca se instalaron entre 1995 a 2000, siendo 10 de ellos instalados en el 1997, en el 1998 fueron instalados 6 micromedidores y en 7 se desconoce un año de instalación. Del total de micromedidores evaluados de esta marca los que se encuentran en el rango de funcionamiento adecuado representan un 43 por ciento.

De la marca Sensus, de los 188 medidores muestreados en campo, 44 de ellos submidieron el volumen con un error promedio de -5.05%, 96 medidores Sensus miden correctamente el volumen con un error promedio de -0.61% y 48 medidores Sensus sobremidió el volumen de agua con un error promedio de 4.67 por ciento. Los micromedidores de esta marca se instalaron entre los años 2000 a 2007, siendo 98 de ellos instalados en el 2000, en el 2006 fueron instalados 32 micromedidores y 17 en el 2002. Del total de micromedidores evaluados de esta marca los que se encuentran en el rango de funcionamiento adecuado representan un 51 por ciento.

Del total de medidores verificados en campo, 94 de ellos que representa el 22.60 % de los medidores tiene problemas de sub medición de caudal, 215 medidores que representa el 51.68 por ciento de la muestra midió correctamente y 107 medidores que es el 25.7 % de los medidores sobremidió el caudal.

**Tabla 6.1. Errores de medición para una apertura del 100% de la llave**

Marca	No medidores	No. de medidores		Error de submedición (%)	No. de medidores		Error Promedio de medición	No. de medidores		Error de sobremedición (%)
		submiden > 2%	(%)		Miden bien	%		sobremiden > 2%	%	
Arad	123	10	8.13	-3.13%	75	60.98	0.36%	38	30.9	4.46%
Azteca	51	27	52.94	-9.92%	14	27.45	-0.11%	10	19.6	3.79%
Cicasa	2							2	100.0	2.34%
Invensys	23	2	8.70	-2.67%	18	78.26	0.62%	3	13.0	4.36%
Kent	1							1	100.0	3.58%
Schulemberger	28	11	39.29	-6.31%	12	42.86	-0.07%	5	17.9	3.56%
Sensus	188	44	23.40	-5.05%	96	51.06	-0.16%	48	25.5	4.67%
Total o promedio	416	94	22.60	Prom = -5.42%	215	51.68	Prom = 0.13%	107	25.7	Prom = 3.82%

La suma de los micromedidores que pertenecen a las marcas Sensus y Arad representan aproximadamente un 75% del total de los micromedidores instalados; teniendo respectivamente un 51 y 61 % de micromedición correcta en la prueba de apertura al 100%. La marca invensys es la que tiene mayor porcentaje de medidores en el rango de funcionamiento correcto en esta prueba con 78 por ciento.



#### 6.1.8 Errores de medición para una apertura del 50%

En la Tabla 6.2, se muestran los resultados de las verificaciones de medidores para una apertura del 50% de la válvula. Para la marca Arad el 10.57% de los medidores presentan un error de submedición del volumen del -3.29 %; 62.60 por ciento de los medidores miden correctamente con un error promedio de 0.16 % y 26.83 % de los medidores sobremiden el volumen con un error promedio de 4.10 por ciento.

De los medidores de marca Azteca, el 49.02% de ellos submide el volumen de agua con un error promedio de -12.73%, el 35.29 % de los medidores miden bien con un error promedio de -0.56% y el 15.69 % de los medidores sobremide el volumen con un error promedio de 2.48 por ciento.

De la marca Cicasa, los dos medidores verificados en campo miden bien para esta apertura de válvula.

De los medidores Invensys, el 17.39 % de ellos submiden el volumen con un error promedio de -5.43%, el 60.87 % de estos medidores cae en el rango de medición correcto con un error promedio del 0.05% y el 21.74 % de los medidores sobremidió el volumen de agua con un error promedio del 3.57 por ciento.

De los 28 medidores Schulemberger, el 25.00 por ciento submidió el volumen de agua con un error del -5.88%, el 57.14 % de los medidores registró el caudal correctamente con un error promedio del 0.27% y el restante 17.6 % sobremidió el volumen de agua con un error promedio de 4.38 por ciento.

De los 188 medidores Sensus, el 22.87 % submidió el volumen de agua con un error promedio de -4.57%, el 58.51% midió en el rango de funcionamiento correcto con un error promedio de -0.06% y el 18.62 % de los medidores sobremidió el volumen de agua con un error promedio de 5.39 por ciento.

En general para esta apertura de válvula, de los 416 medidores verificados en campo, el 22.12 % de ellos submidió el volumen de agua con un error promedio de -6.38%, 56.97 % de los medidores tiene un error promedio del -0.15% que cae dentro del rango de buen funcionamiento y el restante 20.91 % tiene un volumen de sobremedición con un error promedio del 3.72 por ciento.



**Tabla 6.2. Errores de medición para una apertura del 50% de la llave**

Marca	No medidores	No. de medidores		Error de submedición n (%)	No. de medidores		Error Promedio de medición	No. de medidores		Error de sobremedición n (%)
		submedición > 2%	(%)		Mide bien	%		sobremedición > 2%	%	
Arad	123	13	10.57	-3.29%	77	62.60	0.16%	33	26.83	4.10%
Azteca	51	25	49.02	-12.73%	18	35.29	-0.56%	8	15.69	2.48%
Cicasa	2				2	100.00	-0.73			
Invensys	23	4	17.39	-5.43%	14	60.87	0.05%	5	21.74	3.57%
Kent	1							1	100.00	2.38%
Schulemberger	28	7	25.00	-5.88%	16	57.14	0.27%	5	17.6	4.38%
Sensus	188	43	22.87	-4.57%	110	58.51	-0.06%	35	18.62	5.39%
Total o promedio	416	92	22.12	Prom = -6.38%	237	56.97	Prom = -0.15%	87	20.91	Prom = 3.72%

Los micromedidores que pertenecen a las marcas Sensus y Arad representan aproximadamente un 75% del total de los micromedidores instalados; teniendo respectivamente un 62.5 y 58.51 % de micromedición correcta en la prueba de apertura al 50%. La marca Arad es la que tiene mayor porcentaje de medidores en el rango de funcionamiento correcto en esta prueba.

#### 6.1.9 Errores de medición para una apertura del 5%

En la Tabla 6.3, se presentan los resultados de la verificación de medidores domiciliarios para la apertura de válvula de 5%. De los 123 medidores Arad verificados en campo, el 13.82 % de los medidores submedió el caudal con un error promedio de -13.41 %, el 63.41 % de los medidores cae en el rango de buen funcionamiento para esta apertura de válvula con un error promedio de 0.40 % y el 22.76 % de estos medidores sobremedió el volumen de agua con un error promedio de 11.88 por ciento.

De los 51 medidores domiciliarios Azteca verificados en campo el 54.90% de ellos registró un error de submedición del -16.05%, el 27.45 % de los medidores cayeron en el rango de buen funcionamiento con un error promedio de -0.38% y el 17.65 % restantes sobre midió el volumen de agua con un error de 17.81 por ciento.

Los 2 medidores Cicasa registraron un error promedio para esta apertura de válvula de -3.00 que cae dentro del rango de buen funcionamiento.

De los 23 medidores Invensys, el 34.78 % registro un error de submedición de -18.54%, el 52.17 % de los medidores funcionó bien con un error promedio de -0.41% y el 13.04% de los medidores registró errores de sobremedición de 17.73 por ciento.



Los medidores Schulemberger el 39.29 por ciento de ellos registro errores de submedición por -12.35 %, el 46.43 % de los medidores midió bien con un error promedio de 0.42% y el restante 14.29 % de los medidores registró errores promedio de sobre medición de 8.50 por ciento.

De los 188 medidores Sensus, el 27.13 % de ellos registro errores de submedición promedio de -15.64 %, el 54.26 % de los medidores cayó en el rango de buen funcionamiento con un error promedio de -0.14% y el 18.62% de ellos sobremidió con un error promedio de 10.05 por ciento.

En general para esta apertura de válvula de los 416 medidores verificados en campo, el 27.64 por ciento de ellos presentó volúmenes submedidos con un error promedio de -15.20%, el 53.13 % de los medidores cayó en el rango de buen funcionamiento con un error promedio de -0.52 % y el 19.23 % de los medidores sobremide el caudal con un error promedio de 13.48%.

**Tabla 6.3. Errores de medición para una apertura del 5% de la llave**

Marca	No medidores	No. de medidores		Error de submedición (%)	No. de medidores		Error Promedio de medición	No. de medidores		Error de sobremedición (%)
		submedición > 2%	(%)		Mide bien	%		sobremedición > 2%	%	
Arad	123	17	13.82	-13.41%	78	63.41	0.40%	28	22.76	11.88%
Azteca	51	28	54.90	-16.05%	14	27.45	-0.38%	9	17.65	17.81%
Cicasa	2				2	100.00	-3.00%			
Invensys	23	8	34.78	-18.54%	12	52.17	-0.41%	3	13.04	17.73%
Kent	1							1	100.00	14.89%
Schulemberger	28	11	39.29	-12.35%	13	46.43	0.42%	4	14.29	8.50%
Sensus	188	51	27.13	-15.64%	102	54.26	-0.14%	35	18.62	10.05%
Total o promedio	416	115	27.64	-15.20%	221	53.13	-0.52%	80	19.23	13.48%

Entre las marcas Sensus y Arad representan aproximadamente un 75% del total de los micromedidores instalados; teniendo respectivamente un 63.41 y 54.26 % de micromedición correcta en la prueba de apertura al 5%. La marca Arad es la que tiene mayor porcentaje de medidores en el rango de funcionamiento correcto en esta prueba

#### 6.1.10 Errores de medición global

Si se analizan los errores considerando el promedio de las tres aperturas de válvula de todos los errores registrados en la verificación de los 416 medidores, éstos tienen un error promedio de -2.43 % de submedición, valor dentro de la norma.

Para los rangos de funcionamiento al 100 % y 50% de apertura de la válvula el porcentaje de error promedio es de -1.28% y -1.5% respectivamente, y para el rango de funcionamiento del 5% de apertura de la válvula el error promedio es de -4.5%, valores dentro de la norma ( $\pm 2\%$  y  $\pm 5\%$ ).

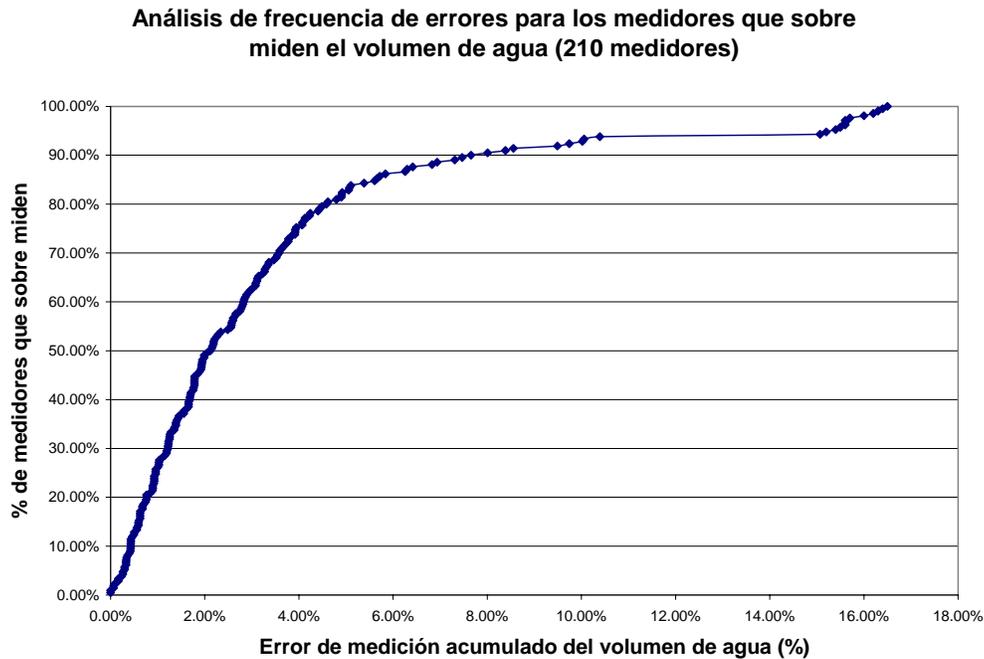


Siendo la marca Arad la que tiene mayor porcentaje de medidores en el rango de funcionamiento correcto en las pruebas de 50% y 5% de apertura; mientras la marca Invensys en la apertura al 100% es la que tiene mayor porcentaje de medidores que miden bien con 78 por ciento.

#### 6.1.11 Análisis de frecuencia de los errores de sobremedición y submedición

En la Lámina 6.6, se muestra la curva del análisis de frecuencia de los errores de los medidores que presentaron sobremedición del volumen de agua, en total de los 416 medidores verificados en campo, 210 registraron algún volumen de más, en la lámina mencionada se clasifican por rangos de sobremedición, se tiene por ejemplo que el 50% de los medidores tiene un error de 0 a 2%, el 70% de los medidores tiene un error entre el 0 y 4% y el 100% de los medidores tiene un error de sobremedición del volumen entre el 0 y 16 por ciento.

En la Lámina 6.7, se muestra el mismo tipo de análisis de frecuencia para los medidores que registraron algún problema de submedición, del total de 416 se tienen 216 medidores en este caso, cerca del 80% de los medidores tiene errores menores del 0 al 5 por ciento de submedición. El 100% de los medidores tiene un error entre el 0 y el 50 por ciento.



**Lámina 6.6. Análisis de frecuencia de los errores de sobre medición**



### Análisis de frecuencia de errores para los medidores que sub miden el volumen de agua (216 medidores)

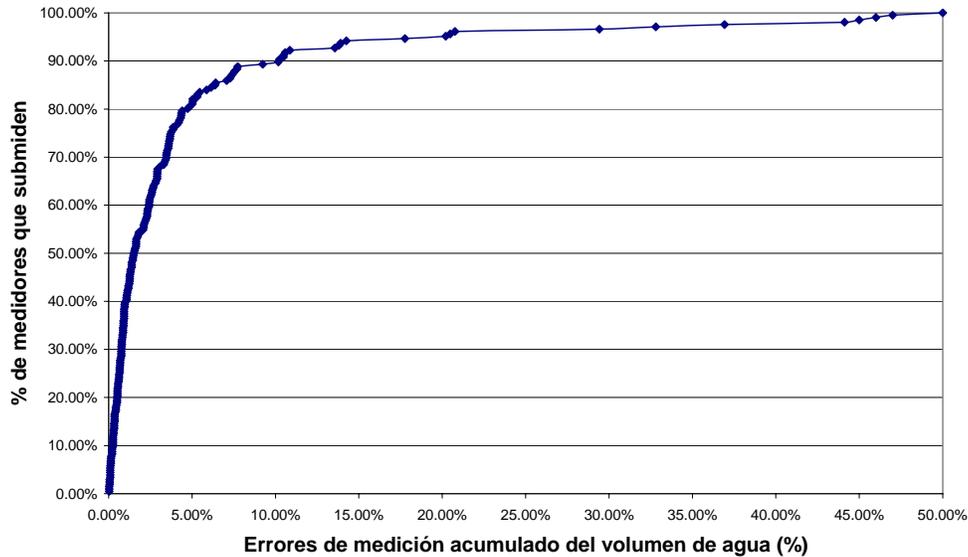


Lámina 6.7. Análisis de frecuencia de los errores de sub medición

Podemos concluir que del total de la muestra de 416 micromedidores; el 50.48% de estos sobremiden el volumen de agua en alguna de las tres pruebas de apertura de válvula y el 51.92% de los medidores submiden el volumen de agua en alguna de las tres pruebas de apertura de válvula.

## 6.2 Macromedición

### 6.2.1 Actividades previas a la campaña de medición

Antes de iniciar el proceso de medición, se realizó un recorrido de campo en cada una de las conducciones para identificar con mayor precisión los puntos de aforo. En consideración de que existen diferentes detalles los cuales fueron necesarios conocer con anterioridad a la medición como: material de la tubería, diámetro, espesor de pared del tubo, distancia donde se ubicaría el equipo de medición (p.e. 4 ó 5 diámetros de cambios de dirección), en el caso donde se presentó alguna tubería enterrada, se solicitó a la JMÁS la construcción de una caja de válvulas o se realizó un sondeo para descubrir el tubo y poder efectuar la medición, fuente de energía eléctrica cercana y garantizar la seguridad del equipo. Para esto último, la JMÁS asignó a una persona para que cuidara el equipo; lo anterior para evitar actos de vandalismo que pudieran presentarse.

Las recomendaciones anteriores ayudaron a tener mayor certidumbre de los resultados y con ello un mejor proceso en la calibración del modelo de simulación hidráulica.

También antes de comenzar las mediciones de caudal en pozos se realizó en forma conjunta con el personal de la JMAS, una serie de actividades las cuales se enuncian a continuación:

- Definición de la ubicación de los equipos de medición ultrasónica;
- Excavación y construcción de registros para la seguridad de los equipos de medición;
- Diseño del plan de monitoreo de caudal;
- Inicio de campaña de mediciones de caudal.

### 6.2.2 Equipo de medición empleado

Las mediciones de caudal se realizaron empleando cuatro equipos ultrasónicos marca Thermo Polysonic, modelo DCT7088 (ver Foto 6.1) que tiene la ventaja de ser portátil, con rangos de exactitud de  $\pm 0.5\%$ , fácil de instalar en campo, con una sensibilidad para el registro de flujo de 0.003 m/s, registro de hasta 40,000 mediciones en el data logger y cuenta con una batería con una duración de 16 horas de operación.



**Foto 6.1. Equipo Thermo polysonics DCT7088 (cortesía Dynamic Consultant)**

Las actividades realizadas dentro del programa de trabajo se muestran a continuación:

- a) Instalación de medidores de flujo tipo ultrasónicos en cajas de válvulas previamente construidas.
- b) Recopilación de información almacenada en los registradores (data loggers).
- c) Cronograma de ubicación de equipos.

Se definió una ruta de medición con el fin de correlacionar los puntos fijos durante 24 hrs y las de mediciones puntuales en las conducciones, abarcando las longitudes de las conducciones en el



mismo periodo de medición. Identificando los puntos de entrega e incorporación de caudales en las conducciones.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la campaña de medición de caudales puntuales realizados en las principales conducciones de agua que abastecen a la ciudad de Chihuahua.

La campaña de medición se llevó a cabo con el apoyo del personal del área técnica de la JMAS, destacan los Ings.: Carlos Ballesteros, Mario Loya, Rafael Fonseca, Manuel Puerta y Carmen Julia Navarro. Las fechas en que se realizaron las mediciones por conducción se muestran en la Tabla 6.4.

**Tabla 6.4. Fechas de la campaña de medición en las conducciones**

<b>Conducción</b>	<b>Fecha de la campaña de medición</b>
Puerta de Chihuahua	5 de septiembre del 2007
Ojos de Chuviscar	6 de septiembre del 2007
El Sáuz	18 a 20 de septiembre del 2007
Tabalaopa Aldama	9 de octubre del 2007
Aldama Nombre de Dios	8 de octubre del 2007
Panamericana	5 de noviembre del 2007
Sacramento Norte	6 de noviembre del 2007
Sacramentos Viejo	13 de febrero del 2008

### 6.2.3 Campaña de medición de caudales en la conducción Puerta de Chihuahua

La medición de esta conducción inicia en los pozos que conforman la batería del mismo nombre y termina en el tanque A. En la Tabla 6.5, se muestran los gastos medidos en los macromedidores fijos instalados en los pozos de Puertas de Chihuahua. Los Pozos uno y dos tienen un gasto registrado por la JMAS de 60.13 l/s y 62.59 l/s respectivamente, para un caudal total de 122.72 l/s. El equipo ultrasónico (ver Lámina 6.8), registró un gasto promedio de 122.54 l/s en el punto de convergencia de los caudales de ambos pozos, con lo que se concluye que los macros instalados en ambos pozos registran correctamente el caudal.

El gasto medido en el punto elegido en la línea de conducción Puertas de Chihuahua donde se juntan los caudales de los pozos tres a seis se muestra en la Lámina 6.9, en promedio se registro un gasto de 301.64 l/s, ligeramente diferente a la suma de los gastos registrados en los macromedidores de dichos pozos los 290.66 l/s. El error promedio es del 2.5 %, una diferencia pequeña y dentro del rango de exactitud de los medidores, por lo que se puede concluir que los macromedidores registran correctamente el gasto.

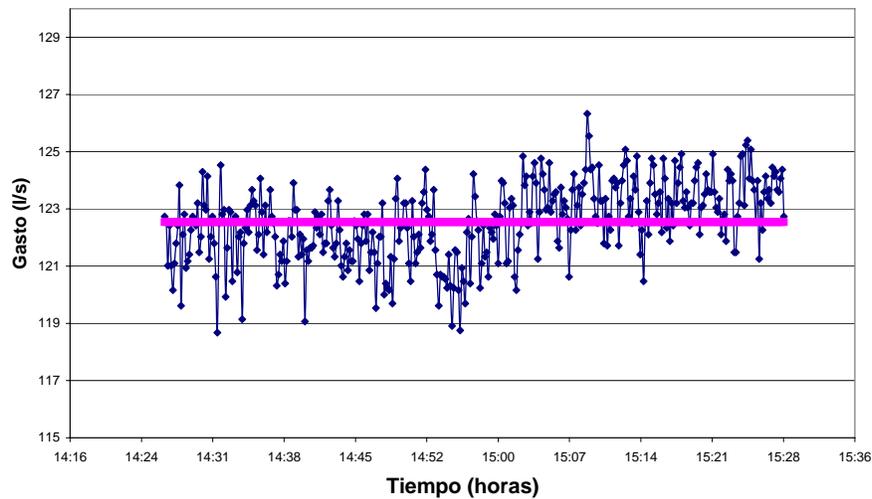


**Tabla 6.5. Batería de Pozos Puerta de Chihuahua y sus gastos medidos en macro y con ultrasónico**

Pozos	Gasto medido en los macros de cada pozo (l/s)	Gasto por línea de conducción (l/s)	Gasto medido con el equipo Ultrasónico (l/s)
Puerta de Chihuahua 1	60.13	122.72	122.54
Puerta de Chihuahua 2	62.59		
Puerta de Chihuahua 3	78.12	290.66	301.64
Puerta de Chihuahua 4	71.00		
Puerta de Chihuahua 5	71.55		
Puerta de Chihuahua 6	69.99		
Total	413.38	413.38	424.18

En la Lámina 6.10, se muestra la variación del gasto en la conducción Puerta de Chihuahua, en este punto se midió por un periodo de 24 horas; de hecho es el punto en donde se unen la conducción de los pozos uno y dos y la conducción de los pozos tres a seis, en promedio se tiene un gasto de 416.39 l/s, muy parecido al gasto de 413.38 l/s que da la suma de los caudales registrados en los macromedidores de los pozos.

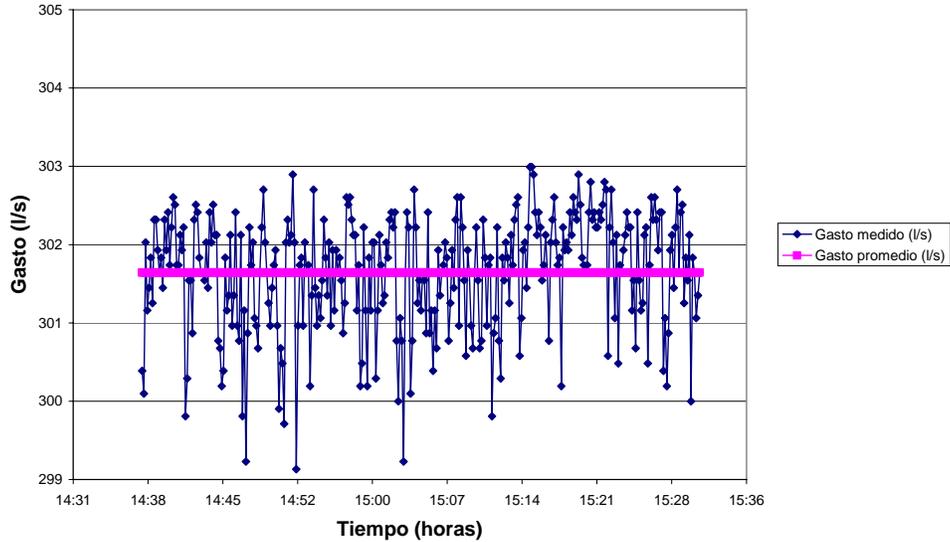
**Variación del gasto en la línea de conducción de los Pozos 1 y 2 de Puertas de Chihuahua**



**Lámina 6.8. Variación del gasto en la línea de conducción de los pozos 1 y 2 de Puertas de Chihuahua (sitio de medición 1)**

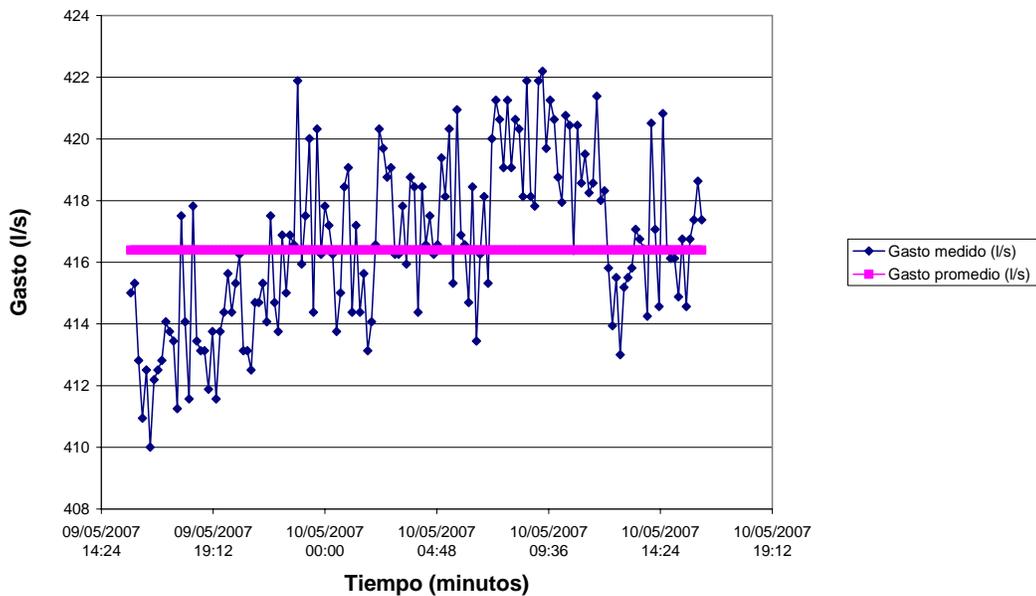


**Variación del gasto en la línea de conducción Puertas de Chihuahua  
pozos 3 a 6**



**Lámina 6.9. Variación del gasto en la línea de conducción Puertas de Chihuahua pozos del 3 al 6 (sitio de medición 2)**

**Variación del Gasto en la conducción Puerta de Chihuahua en la  
unión de la batería de Pozos**



**Lámina 6.10. Variación del gasto en la conducción Puerta de Chihuahua (medición de 24 horas, sitio de medición 3)**



Se seleccionaron nueve puntos o sitios de medición a lo largo de la conducción Puertas de Chihuahua. En las Tabla 6.6 y Tabla 6.7, se muestran las características de los puntos de medición seleccionados en la conducción Puertas de Chihuahua, en dicha tabla se tiene el diámetro externo e interno de la tubería, el espesor, y el gasto promedio medido.

A continuación se describe la trayectoria del caudal en la conducción. En la Lámina 6.11, se muestra la variación del gasto en la línea de conducción Puertas de Chihuahua, en la llegada al Tanque Cerro Grande con un gasto promedio es de 399.6 l/s, en este punto se tiene la primera derivación de caudal, hacia el Tanque Cerro Grande (ver Lámina 6.12), con un en promedio son 40.58 litros por segundo. El resto (358.97 l/s) continua su trayecto hacia el Tanque A.

Pero inmediatamente abajo del Tanque Cerro Grande, se tiene una derivación de 2 pulgadas de diámetro a red (donde no fue posible medir el gasto que se deriva por dicha tubería), después existe una derivación de 10 pulgadas de diámetro localizada en la calle Hidalgo, en la que se registró un caudal (ver Lámina 6.13) promedio de 31.01 litros por segundo.

Es decir de los 358 l/s que se envía al Tanque A, se derivan a red los 31.01 l/s, lo que da una diferencia de 327.96 l/s, esto si considerar el caudal derivado en la línea de 2 pulgadas.

Posteriormente existe la derivación conocida como Las Garzas de 8 pulgadas de diámetro, localizada en la calle Díaz Ordaz. En este punto se registró un caudal promedio de (ver Lámina 6.14) 24.28 l/s, que restados de los 327.96 l/s queda un gasto de 303.68 litros por segundo que sigue su trayectoria hacia el Tanque A.

En el punto conocido como Los Corrales, existe otra derivación de 8 pulgadas de diámetro en el que se registró (ver Lámina 6.15) un gasto promedio de 43.22 l/s, el cual se resta del gasto de 303.68 l/s, quedan 260.46 litros por segundo, que sigue su trayectoria hacia el Tanque A.

En la llegada al tanque A se registró el caudal (ver Lámina 6.16) promedio de 112.26 l/s que restados a los 260.46 l/s queda un total de 148.20 l/s que se inyectan a la red en un punto aguas abajo del Tanque A.



**Tabla 6.6. Características del punto de medición en la conducción Puertas de Chihuahua**

No. de Sitio	Identificación	
<b>1</b>	<b>PUERTAS DE CHIHUAHUA 1 Y 2</b>	
	Diámetro exterior (O.D.)	461.54 mm
	Diámetro Interior (I.D.)	457.20 mm
	Espesor del tubo:	8 mm
	Gasto (l/s)	122.54
<b>2</b>	<b>PUERTA DE CHIHUAHUA 3 A 6</b>	
	Diámetro exterior (O.D.)	509.29 mm
	Diámetro Interior (I.D.)	508 mm
	Espesor del tubo:	10 mm
	Gasto Promedio (l/s)	301.64
<b>3</b>	<b>PUERTA DE CHIHUAHUA TOTAL (medición 24 horas)</b>	
	Diámetro exterior (O.D.)	942.19 mm
	Diámetro Interior (I.D.)	914.40 mm
	Espesor del tubo:	16 mm
	Gasto Promedio (l/s)	415.00
<b>4</b>	<b>LLEGADA TANQUE CERRO GRANDE</b>	
	Diámetro Exterior (O.D.)	617.51 mm
	Diámetro Interior (I.D.)	609.60 mm
	Espesor del tubo:	12 mm
	Gasto Promedio	399.6
<b>5</b>	<b>Entrada al TANQUE CERRO GRANDE</b>	
	Diámetro exterior (O.D.)	627.06 mm
	Diámetro interior (I.D.)	609.6 mm
	Espesor del tubo:	8 mm
	Gasto Inicial Promedio (l/s)	40.58
<b>6</b>	<b>Derivación localizada en la calle Hidalgo</b>	
	Diámetro Externo (O.D.)	280.11
	Diámetro Interno (I.D.)	254.00
	Espesor del tubo:	5 mm
	Gasto Promedio	31.01



Tabla 6.7. Características de los puntos de medición en la conducción Puertas de Chihuahua

No. de Sitio	Identificación	
7	<b>Derivación GARZAS (Colonia Díaz Ordaz)</b>	
	Diámetro Exterior (O.D.)	241.91 mm
	Diámetro Interior (I.D.)	203.20 mm
	Espesor del tubo:	16 mm
	Gasto Inicial Promedio (l/s)	24.28
8	<b>Derivación CORRALES</b>	
	Diámetro externo (O.D.)	241.91 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	203.20 mm
	Gasto Promedio (l/s)	43.22
9	<b>LLEGADA PUERTA DE CHIHUAHUA AL TANQUE A</b>	
	Diámetro Exterior (O.D.)	923.09 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	914.4 mm
	Espesor del tubo:	18 mm
	Gasto Promedio (l/s)	112.26

Variación del gasto a la llegada del tanque Cerro Grande de la conducción Puertas de Chihuahua

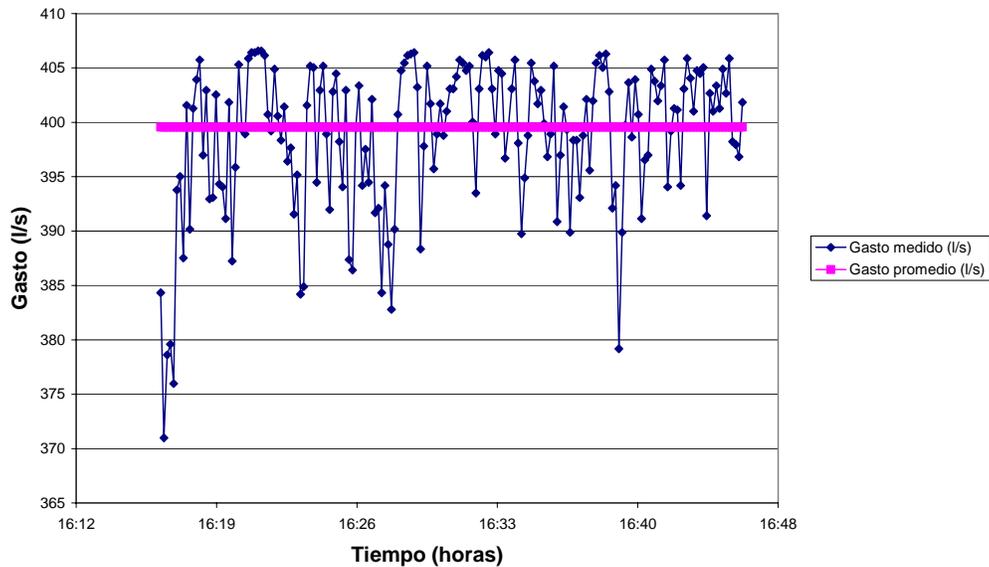


Lámina 6.11. Variación del gasto en la conducción Puertas de Chihuahua a la llegada al tanque Cerro Grande (sitio de medición 4).



### Variación del gasto que entra al tanque Cerro Grande

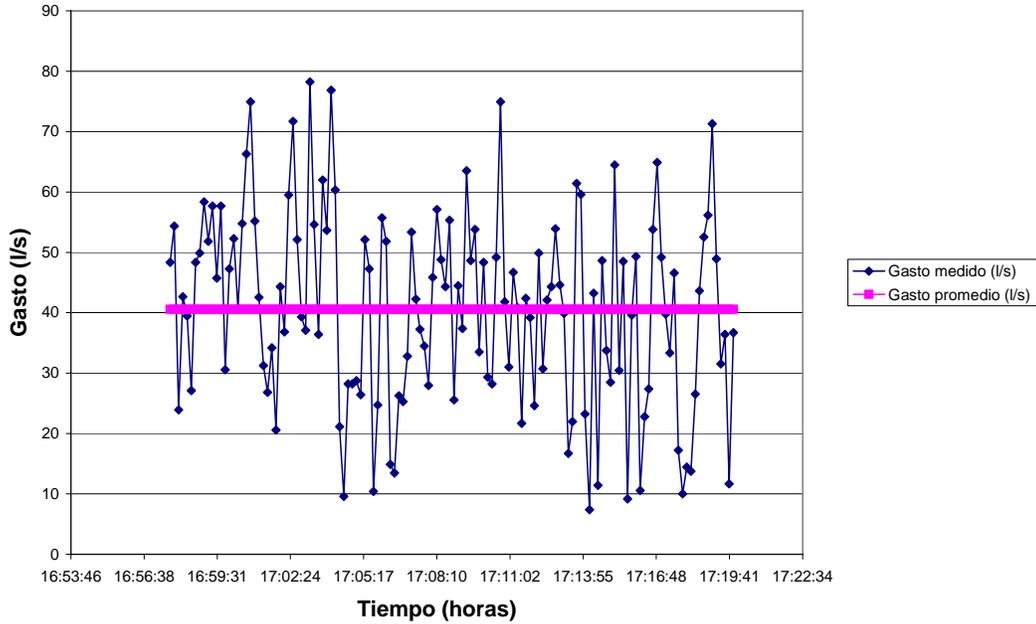


Lámina 6.12. Variación del gasto que entra al tanque cerro grande (sitio de medición 5)

### Variación del gasto en la derivación de 10 pulgadas de la conducción Puertas de Chihuahua que esta por la calle Hidalgo

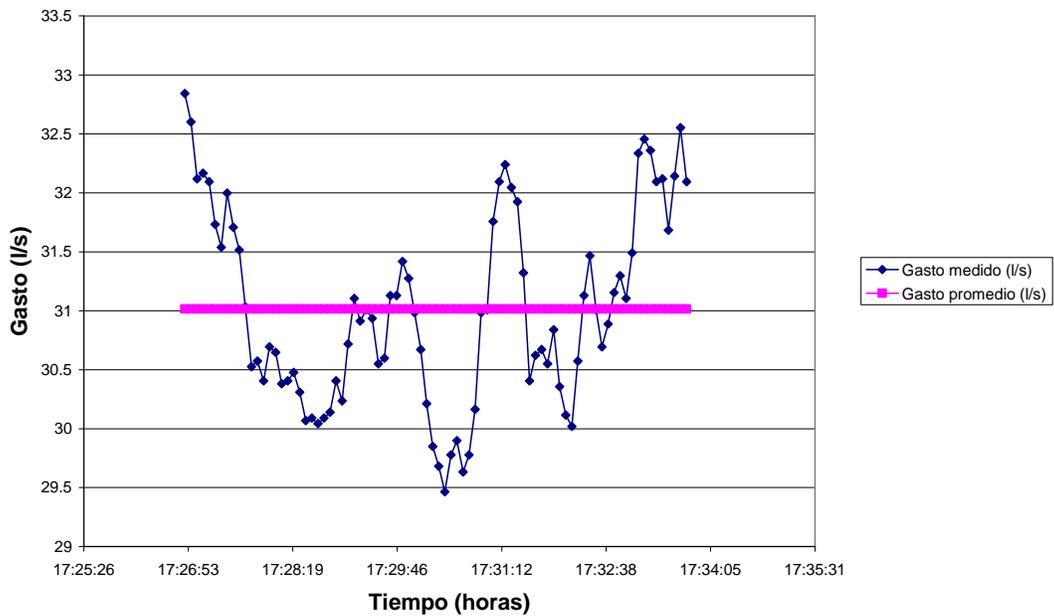
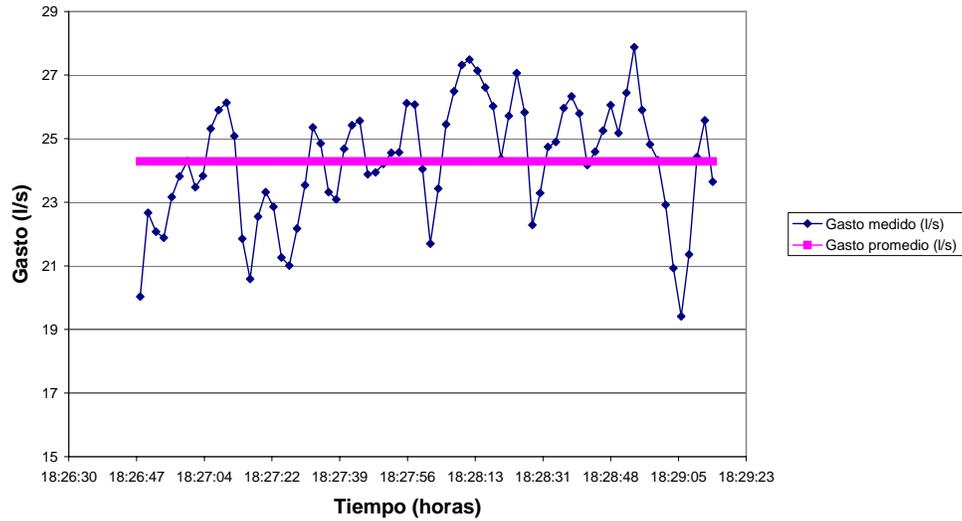


Lámina 6.13. Variación del gasto en la derivación de 10 pulgadas de diámetro de la conducción Puertas de Chihuahua localizada en la calle Hidalgo (sitio de medición 6)

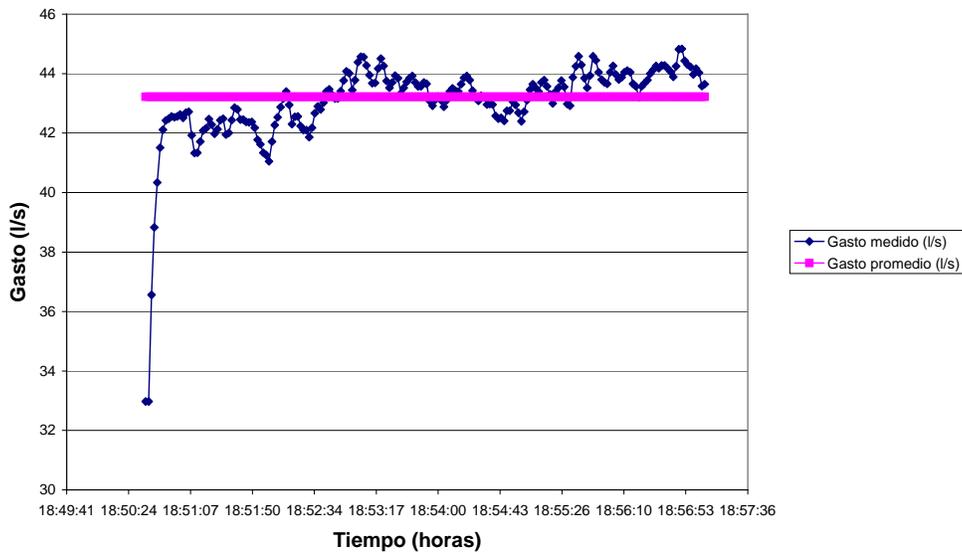


**Variación del gasto en la derivación de 8 pulgadas de la conducción  
puertas de Chihuahua conocida como las Garzas, localizada en la  
colonia Díaz Ordaz**



**Lámina 6.14. Variación del gasto en la derivación de 8 pulgadas de la conducción Puertas de Chihuahua, conocida como las Garzas, localizada en la colonia Díaz Ordaz (sitio de medición 7)**

**Variación del Gasto en la derivación de 8 pulgadas de diámetro  
conocida como Los Corrales**



**Lámina 6.15. Variación del gasto en la derivación de 8 pulgadas de diámetro de la conducción Puertas de Chihuahua conocido como Los Corrales (sitio de medición 8)**



### Variación del gasto en la llegada al Tanque A de la conducción Puerta de Chihuahua

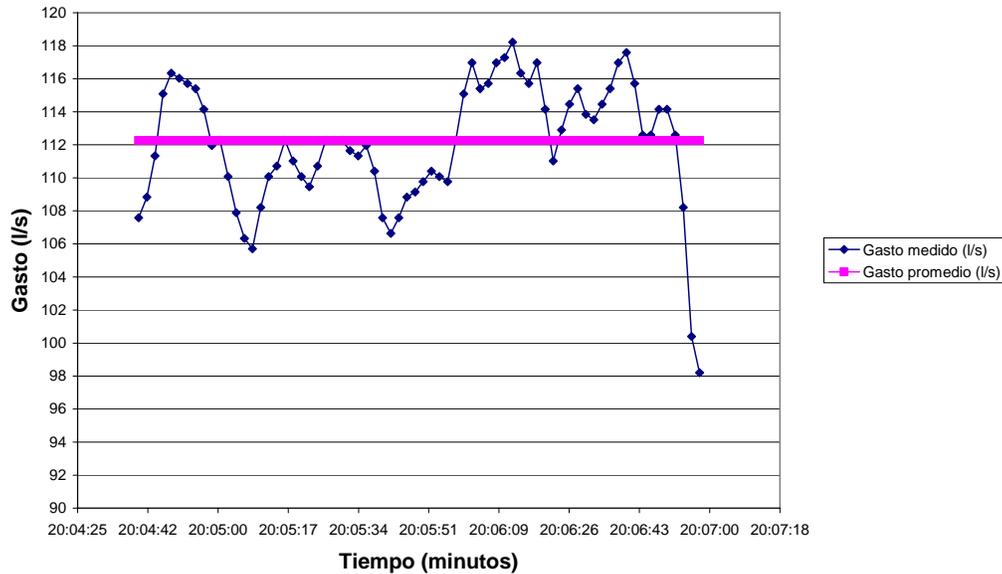


Lámina 6.16. Variación del gasto a la llegada al Tanque A de la Conducción Puertas de Chihuahua (sitio de medición 9)

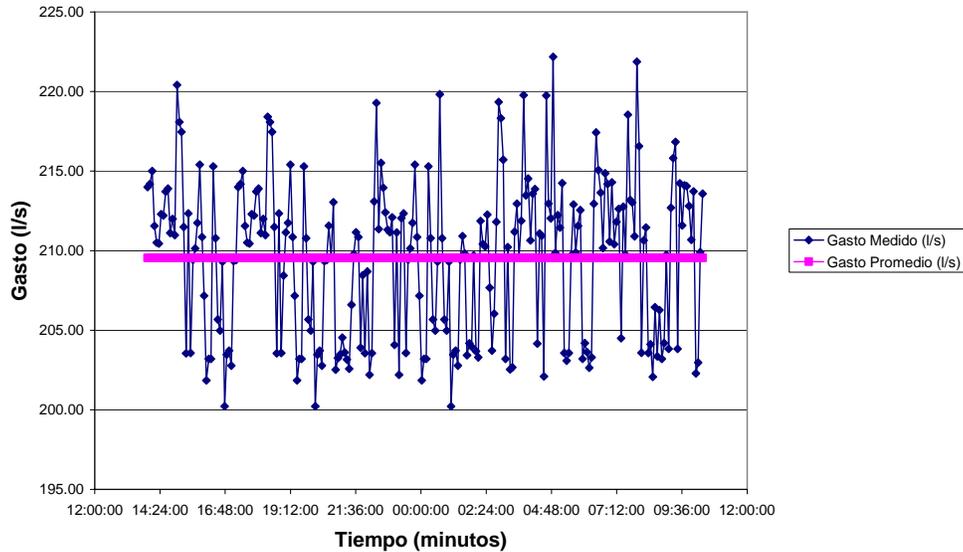
#### 6.2.4 Campaña de medición de caudales en la conducción Ojos de Chuviscar

La medición de esta conducción inicia en los pozos que abastecen a esta y termina en el tanque A. Para la campaña de medición de gastos en la conducción Ojos de Chuviscar, se seleccionó una estación de medición localizada aguas abajo del punto en donde se entroncan los cuatro pozos, ahí se midió el gasto durante 24 horas.

El gasto total de los cuatro pozos profundos es 203.9 l/s (ver Tabla 6.8) medido directamente en los macromedidores fijos instalados en cada equipo de bombeo. En la Lámina 6.17, se muestra la variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar, el periodo de medición fue de 24 horas, el gasto promedio obtenido fue de 209.54 l/s, similar a la suma de los gastos medidos en los macromedidores de 203.9 litros por segundo.



**Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar en el punto donde se incorporan los cuatro pozos profundos**



**Lámina 6.17. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar (medición de 24 horas), en el punto en donde se incorporan los 4 pozos profundos (sitio de medición 1)**

**Tabla 6.8. Gastos medidos en los equipos de bombeo de la conducción Ojos de Chuviscar**

Pozos	Gasto (l/s) medido en el macromedidor del equipo de bombeo	Gasto medido con el equipo ultrasónico (l/s) en un periodo de 24 horas
Ojos no. 5	86.2	
Ojos no. 6	67.9	
Chuviscar	22.1	
Sierra Azul	27.7	
<b>Total</b>	<b>203.9</b>	<b>209.54</b>

Para conocer la distribución del gasto en la conducción se seleccionaron, además del punto de 24 horas, otros cuatro puntos de aforo (en la Tabla 6.9 se muestran sus características). El primero se localizó en el puente colgante, donde registró un gasto promedio de 190.36 l/s (ver Lámina 6.18); se puede observar que existe una diferencia de 19.18 l/s entre el primer punto de medición (gasto promedio de 209.54 l/s) y el punto ubicado en el puente colgante. Esto se debe a que la JMAS entrega un caudal a la comunidad Ejidal ubicada en este tramo.

El siguiente punto de medición se localizó en Los Corrales (a un lado de las caballerizas). Donde el gasto promedio registrado (ver Lámina 6.19) fue de 190.34 l/s; esto significa que el tramo localizado entre el puente colgante y las caballerizas no se tiene ninguna diferencia del gasto y por lo tanto no se presentan fugas o derivaciones clandestinas en el mismo.



El tercer punto de medición se tiene localizado en el entronque a la presa Chihuahua a un lado del Hotel California. En dicho punto se tiene un gasto promedio de 186.65 l/s, en la Lámina 6.20, se muestra la variación del gasto.

Por último se registró la variación del gasto (ver Lámina 6.21), en el punto conocido como Zootecnia. El gasto promedio fue de 172.74 litros por segundo. La diferencia entre el punto localizado en el entronque a la presa Chihuahua y Zootecnia es de 13.91 litros por segundo.

Es importante mencionar que personal del departamento de suministro de la JMAS, encargados de operar y dar mantenimiento a los equipos de bombeo y a los macromedidores, realizaron una medición puntual en la caja de válvulas localizada en Av. 100 y calle los Pinos. El caudal registrado ahí por el personal de la JMAS fue de 73.0 l/s, este caudal se suministra a la red de distribución, antes de llegar al Tanque A, al cual le llega un gasto de 99.74 litros por segundo. Éste último es enviado ya sea al Tanque A o a la red, dependiendo de las necesidades de suministro en dicha zona de influencia.

Por lo general, de las 5:00 a las 10:00 horas y de las 16:00 a las 20:00 horas, se otorga el servicio de agua potable hacia la red de distribución para dar agua a las colonias localizadas en la parte baja del Tanque A, por lo que el gasto de 99.74 litros por segundo en ciertas horas del día se envía directamente al Tanque A. Finalmente es importante mencionar que durante la campaña de medición no fue posible medir el gasto a la entrada del Tanque A, ya que el agua era suministrada a la red.



**Tabla 6.9. Características de los puntos de medición en la conducción Ojos de Chuviscar.**

No de Sitio	Identificación	
<b>1</b>	<b>PUNTO DONDE ENTRONCA EL CAUDAL DE LOS 4 POZOS (punto de medición de 24 horas)</b>	
	Diámetro externo (O.D.)	563.40 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	508 mm
	Espesor del tubo:	27 mm
	Gasto Promedio (l/s)	209.54
<b>2</b>	<b>PUNTE COLGANTE</b>	
	Diámetro Externo (O.D.)	410.61 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	406.4 mm
	Espesor del tubo:	6 mm
	Gasto Promedio (l/s)	190.36
<b>3</b>	<b>CORRALES (caballerizas)</b>	
	Diámetro Externo (O.D.)	576.13 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	508.1 mm
	Espesor del tubo:	5.5 mm
	Gasto Promedio (l/s)	190.34
<b>4</b>	<b>Entronque a la Presa (HOTEL)</b>	
	Diámetro Externo (O.D.)	515.66 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	508.1 mm
	Espesor del tubo:	8 mm
	Gasto Promedio (l/s)	186.65
<b>5</b>	<b>ZOOTECNIA-ACUEDUCTO</b>	
	Diámetro Externo (O.D.)	515.66 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	508.1 mm
	Espesor del tubo:	8 mm
	Gasto Promedio (l/s)	172.74



Variación del gasto en la conducción de Ojos de Chuviscar en el  
Puente Colgante

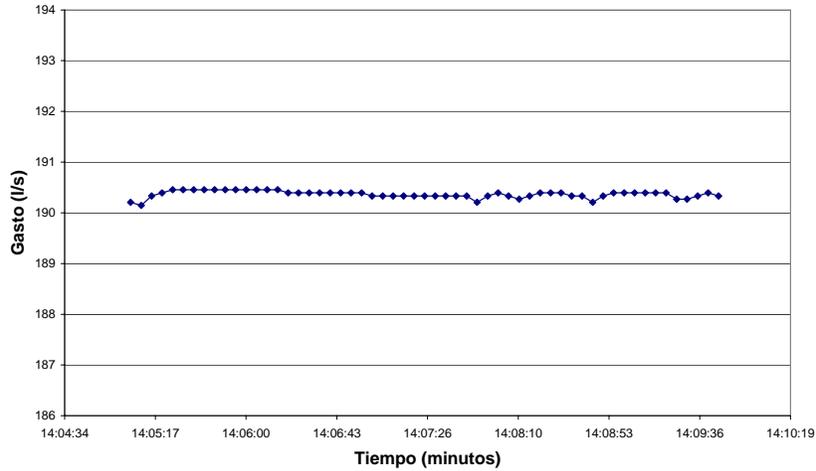


Lámina 6.18. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar sobre el puente Colgante (sitio de medición 2)

Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar en los  
Corrales

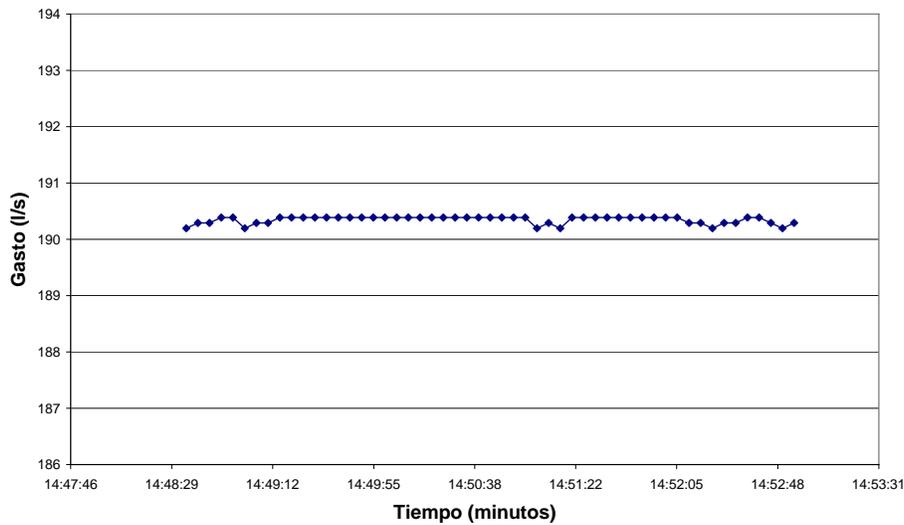


Lámina 6.19. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar a la altura de los Corrales (a un lado de las caballerizas, sitio de medición 3)



### Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar en el entronque al Hotel

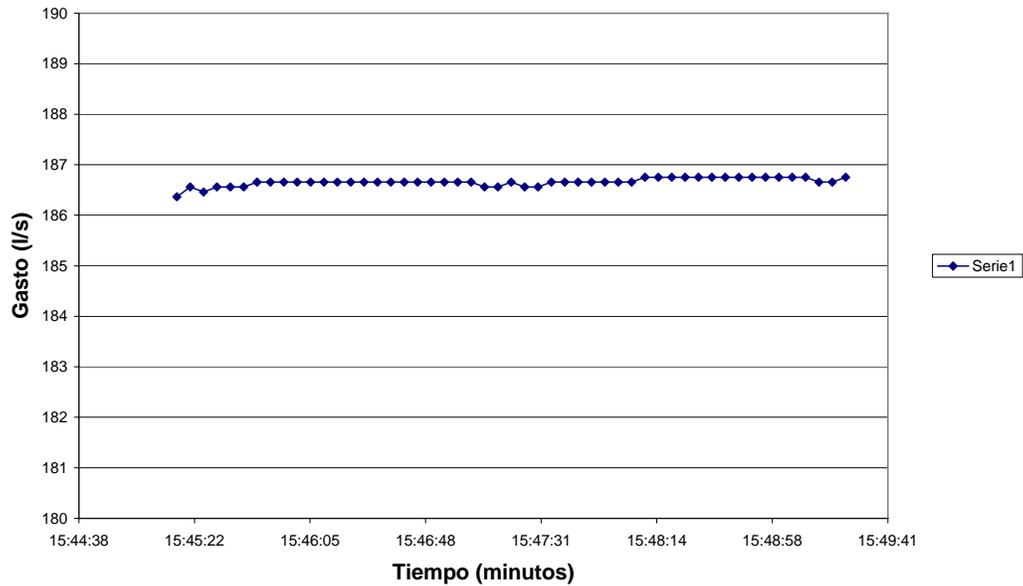


Lámina 6.20. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar en el entronque a la presa (Sitio de medición 4)

### Variación del Gasto en la caja localizada en Zootecnia

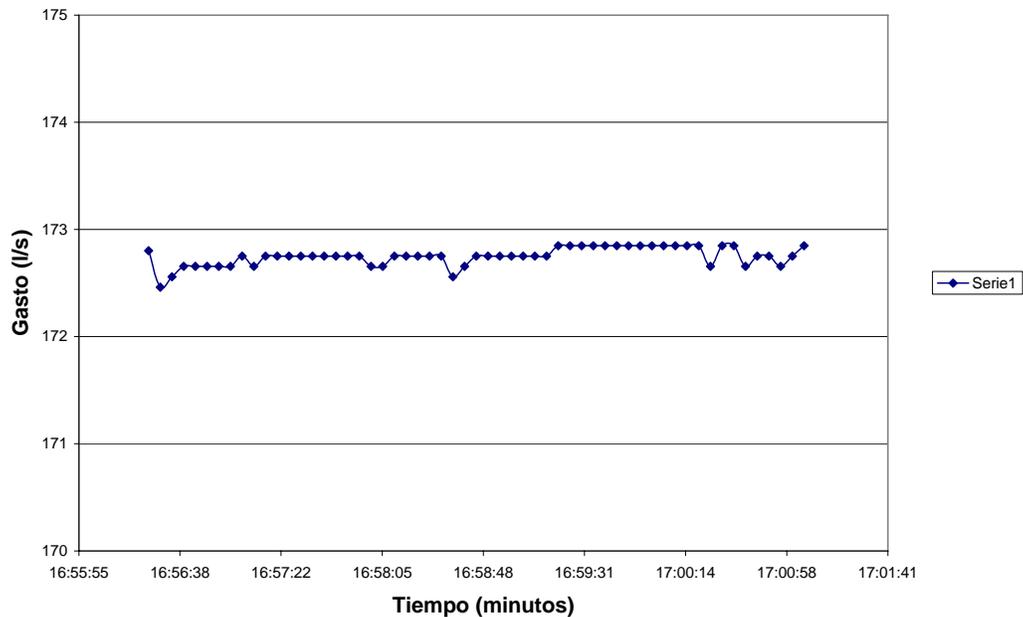


Lámina 6.21. Variación del gasto en la conducción Ojos de Chuviscar en Zootecnia (sitio de medición 5)



### 6.2.5 Campaña de medición de caudales en la conducción El Sáuz

La medición de esta conducción inicia en los pozos que conforman las baterías I y II del mismo nombre y termina en el Tanque A. En el trayecto se van incorporando caudales de otras baterías de pozos o aprovechamientos aislados (ver Tabla 6.10): Las baterías de pozos El Sáuz I y II con 11 y 12 pozos profundos respectivamente, más los pozos denominados Estación Terrazas 1 y 2, suman un caudal producido de 840.19 l/s. Este gasto se une en la caja de cambio de régimen en donde se envía por gravedad al rebombeo El Sáuz.

Esta estación cuenta con cuatro equipos de bombeo en paralelo, donde por lo general operan tres equipos cada uno con capacidad para 300 l/s cada uno, el cuarto equipo de bombeo se usa como control de nivel en del cárcamo de bombeo, se activa una vez que el nivel del agua alcanza una cierta altura y se apaga cuando se llega a un cierto nivel mínimo. Con los cuatro equipos de bombeo se puede tener la capacidad de suministrar hasta un gasto máximo de 1200 l/s, pero esto se da en periodos de tiempo corto (minutos).

Es importante mencionar que la batería de pozos de Estación Terrazas, antes de conectarse al acueducto el Sáuz, entregan un volumen de agua al pueblo llamado Estación Terrazas, a través de una derivación de cuatro pulgadas de diámetro. Este gasto aún no se ha cuantificado.

Aguas abajo del rebombeo El Sáuz, se incorpora la batería de seis pozos conocida como Riberas el Sacramento. Los pozos cuatro y seis inyectan agua la colonia Riberas El Sacramento y las excedencias se incorporan a la Conducción. El gasto acumulado de los seis pozos registrado en los macromedidores es de 181.4 litros por segundo.

También se incorporan al acueducto El Sáuz, los pozos 8 y 9 de la batería de pozos conocida como Sacramento Norte, con un gasto de 73.2 l/s. El pozo impulso inyecta un gasto de 29.47 l/s al acueducto el Sáuz. El gasto total hasta el pozo Impulso es de 124.7 l/s, esto sin descontar el caudal entregado en el pueblo “Estación Terrazas” y en la colonia Riberas de Sacramento de la ciudad de Chihuahua.

Ya en la ciudad se incorporan los pozos: Arroyos 4 y Picachos 5; Villa Dorada 2, CTU Saucito y CIMA.

Para la campaña de medición de gastos se realizaron sondeos en 12 puntos localizados a lo largo del acueducto El Sáuz, en el anexo fotográfico se muestran algunas fotos de esta campaña de medición. En la Tabla 6.11 y Tabla 6.12, se muestran los diámetros externos e internos de los diferentes puntos de medición, así como el espesor del tubo y el gasto promedio medido con el equipo ultrasónico.



**Tabla 6.10. Baterías de pozos que suministran agua a través de la conducción el Sáuz, el gasto es el registrado en los macromedidores**

ID	Pozo	Gasto (l/s)	Gasto total (l/s)	Gasto Acumulado (l/s)	Observaciones
1	Sáuz N° 1	11.0			
2	Sáuz N° 2	11.3			
3	Sáuz N° 3	24.3			
4	Sáuz N° 4	11.0			
5	Sáuz N° 5	24.4			
6	Sáuz N° 6	11.9			
7	Sáuz N° 7	24.6			
8	Sáuz N° 8	20.4			
9	Sáuz N° 9	38.3			
10	Sáuz N° 10	16.5			
11	Sáuz N° 11	54.1			
12	Sáuz N° 12	55.4			
13	Sáuz N° 16	19.6			
14	Sáuz N° 17	24.3			
15	Sáuz N° 18	31.0			
16	Sáuz N° 24	36.0			
17	Sáuz N° 25	34.9			
18	Sáuz N° 26	33.1			
19	Sáuz N° 27	38.9			
20	Sáuz N° 28	41.0			
21	Sáuz N° 29	31.5			
22	Sáuz N° 30	36.0			
23	Sáuz N° 31	38.4	667.90		
24	Estacion Terrazas 1	61.2			
25	Estacion Terrazas 2	111.1	172.30	840.19	los Terrazas entregan un gasto al pueblito
113	Riveras el Sacramento 1	35.5			
116	Riveras el Sacramento 4	24.3			Bombeo a Red
117	Riveras el Sacramento 3	25.5			
118	Riveras el Sacramento 5	28.5			
121	Riveras el Sacramento 6	33.4			Bombeo a Red y al Acueducto
122	Riveras el sacramento 2	34.2	181.4	1021.6	
78	Sacramento Norte N° 8	35.0			
79	Sacramento Norte N° 9	38.2	73.2	1094.8	
111	IMPULSO	29.47	29.47	1124.7	
120	Arroyos 4	39.1	39.1	1163.37	
123	Picacho 5	24.0	24.0	1187.37	
105	Villa Dorada 2	18.84	18.84	1206.21	
91	CTU Saucito	15.53	15.53	1221.74	
93	Cima	14.10	14.10	1235.84	



**Tabla 6.11. Características de los puntos de medición de caudal en la conducción el Sáuz**

<b>No de sitio</b>	<b>Identificación</b>	
<b>1</b>	<b>REBOMBEO EL SÁUZ</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	1018 mm
	Espesor Interno (I.D.)	974 mm
	Espesor del Tubo	22 mm
	Gasto Promedio (l/s)	1141.58
<b>2</b>	<b>IMPULSO</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	1018.58 mm
	Espesor Interno (I.D.)	914.40 mm
	Espesor del Tubo	55.22 mm
	Gasto Promedio (l/s)	950.00
<b>3</b>	<b>CUMBRES UNIVERSIDAD</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	509.29 mm
	Espesor Interno (I.D.)	508 mm
	Espesor del Tubo	55 mm
	Gasto Promedio (l/s)	879.88
<b>4</b>	<b>LLEGADA A TANQUE LOMA LARGA</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	1018 mm
	Espesor Interno (I.D.)	914 mm
	Espesor del Tubo	38.97 mm
	Gasto Promedio (l/s)	0.00
<b>5</b>	<b>T. L. LARGA COL. PASEOS DE CHIH.</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	687.54 mm
	Espesor Interno (I.D.)	609.60 mm
	Espesor del Tubo	38.97 mm
	Gasto Promedio (l/s)	101.69
<b>6</b>	<b>TANQUE LOMA LARGA CAMPO BELLO</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	515.66 mm
	Espesor Interno (I.D.)	457.20 mm
	Espesor del Tubo	27.5 mm
	Gasto Promedio (l/s)	17.00



Tabla 6.12. Características de los puntos de medición de caudal en la conducción el Sáuz (continuación)

No de Sitio	Identificación	
<b>7</b>	<b>TANQUE COLINA</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	1018.58 mm
	Espesor Interno (I.D.)	914.40 mm
	Espesor del Tubo	55.22 mm
	Gasto Promedio (l/s)	789.77
<b>8</b>	<b>WESTIN SOBERANO</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	923.09 mm
	Espesor Interno (I.D.)	914.40 mm
	Espesor del Tubo	12 mm
	Gasto Promedio (l/s)	720.30
<b>9</b>	<b>PASO A DESNIVEL FCO. VILLA</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	923.09 mm
	Espesor Interno (I.D.)	914.40 mm
	Espesor del Tubo	12 mm
	Gasto Promedio (l/s)	584.36
<b>10</b>	<b>TANQUE LOMAS REJÓN</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	471.09 mm
	Espesor Interno (I.D.)	457.20 mm
	Espesor del Tubo	6 mm
	Gasto Promedio (l/s)	100.28
<b>11</b>	<b>PUENTE CAMPESINA</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	923.09 mm
	Espesor Interno (I.D.)	914.80 mm
	Espesor del Tubo	4.55 mm
	Gasto Promedio (l/s)	462.40
<b>12</b>	<b>LLEGADA AL TANQUE A</b>	
	Espesor Externo (O.D.)	620.70 mm
	Espesor Interno (I.D.)	609.6 mm
	Espesor del Tubo	5.55 mm
	Gasto Promedio (l/s)	245.72

En la Lámina 6.22 se muestra la variación del gasto en la tubería de 36 pulgadas de Fo.Fo del rebombeo El Sáuz. En promedio se registró un caudal de 1141.58 l/s, se debe mencionar que el registro de esta medición contó con un gasto máximo de 1260.03 l/s, el cual duró unos minutos; este pico de producción se presenta cuando operan los 4 equipos de bombeo, siendo intermitente con la finalidad de estabilizar el nivel del agua en el cárcamo del rebombeo. Por lo general operan permanentemente sólo tres equipos de bombeo. Éste fue primer punto de medición de caudales a lo largo de la conducción del Sáuz.

El segundo punto de medición fue el parque industrial Impulso, ahí se instaló el equipo ultrasónico, durante dos días, en la tubería de 36 pulgadas de Asbesto Cemento, en promedio se tiene un gasto de 950.00 l/s (ver Lámina 6.23), aunque se presentan máximos de 1033.28 litros por segundo.



El siguiente punto que se ubicó sobre la conducción el Sáuz, en lo alto de la colonia Cumbres Universidad. La medición se realizó sobre una tubería de 36 pulgadas de A-C, el gasto promedio en este punto fue de 879.89 l/s. En la Lámina 6.24 se muestra la variación del mismo.

El siguiente punto de medición se localizó a la llegada al tanque Loma Larga 2, en este punto el equipo no registro señal, debido al diámetro de la tubería de 36 pulgadas de diámetro y al material de la misma de Asbesto – Cemento, esto genera problemas en la recepción de la señal del equipo ultrasónico, lo que dificulta o evita que se tenga una medición de caudal.

En la salida de 24 pulgadas de A-C del Tanque Loma Larga 2, que suministra agua a la Colonia Paseos de Chihuahua, se ubicó el quinto punto de medición. En éste se registro un caudal promedio de 101.69 l/s. En la Lámina 6.25 se muestra la variación en dicho punto.

El sexto punto de la Macromedición se ubicó en la salida del Tanque Loma Larga 1, que suministra agua a la colonia Campo Bello, sobre la tubería de 18 pulgadas de A-C (ver Lámina 6.26), el gasto promedio fue de 17.00 litros por segundo.

Después del Tanque Colina, sobre la tubería de 36" A-C, de la Conducción El Sáuz, se localizó el séptimo punto. El gasto promedio fue de 789.77 l/s, en la Lámina 6.27, se muestra la variación del gasto.

El octavo punto de medición del gasto puntual se localizó sobre la conducción el Sáuz a la altura del Westin Soberano sobre la tubería de 36 pulgadas de acero, el caudal promedio fue de 720.30 litros por segundo. En la Lámina 6.28, se muestra la variación del gasto de dicho punto.

El noveno punto de medición se ubicó en el paso a desnivel sobre la calle Francisco Villa, en la tubería de 36 pulgadas de acero. En este punto se registró la variación del gasto durante 24 horas, obteniendo un gasto promedio de 584.36 litros por segundo (ver Lámina 6.29), con registros de gastos máximos de 870.00 litros por segundo y gastos mínimos de 65 litros por segundo.

El resultado del siguiente punto de medición se muestra en la Lámina 6.30, se muestra la variación del gasto a la llegada al Tanque Lomas Rejón sobre la tubería de 18 pulgadas. Este tanque se abastece de forma tandeada desde la Conducción El Sáuz, una vez que el nivel del tanque alcanza un cierto tirante se cierra la válvula. Para registrar el caudal de entrada el personal de la JMÁS abrió la válvula. El gasto promedio de entrada al tanque fue de 100.28 litros por segundo.

El penúltimo punto de medición se localizó bajo el puente Campesina, en una tubería de 36 pulgadas. En la Lámina 6.31, se muestra la variación del gasto, que en promedio registró 462.40 litros por segundo.

En las Lámina 6.32 y Lámina 6.33, se muestra la variación del gasto a la llegada del tanque A, en la tubería de 24 pulgadas. En la primera lámina, se muestra el gasto de entrada con la derivación hacia los Ojos de Chuisca Cerrada, en promedio se tienen un caudal de 245.72 l/s; en la



segunda lámina, se tiene en el mismo punto el caudal pero con la derivación hacia los Ojos de Chuviscar abierta, el gasto promedio registrado fue de 154.11 l/s. Es decir de la Conducción el Sáuz se deriva un caudal de 91.61 l/s a la red a través de la conducción de los Ojos de Chuviscar.

Variación del Gasto en el rebombero el SAUZ

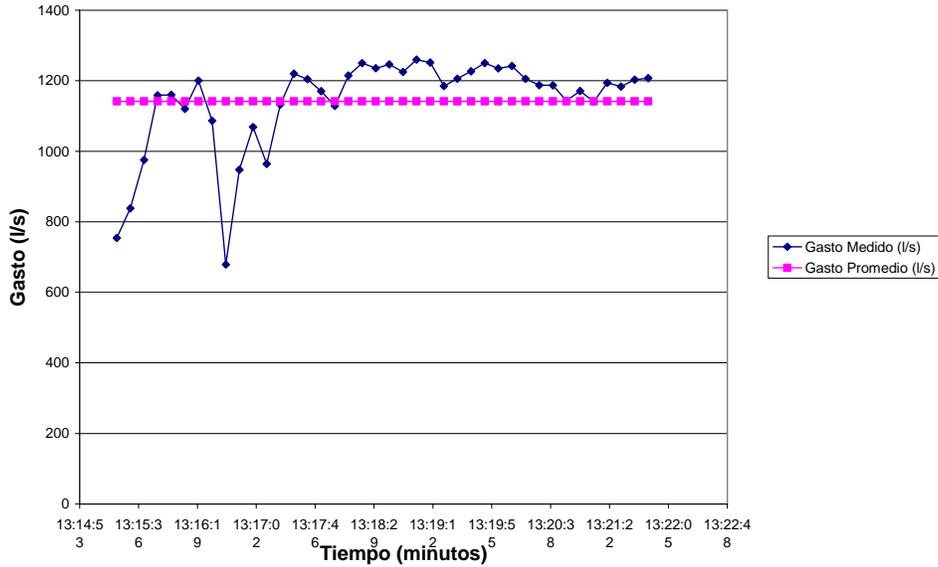


Lámina 6.22. Variación del gasto en el rebombero El Sáuz, en la conducción El Sáuz (sitio de medición 1)

Variación del Gasto en la conducción el Sauz en IMPULSO del 18 al 20 de septiembre del 2007

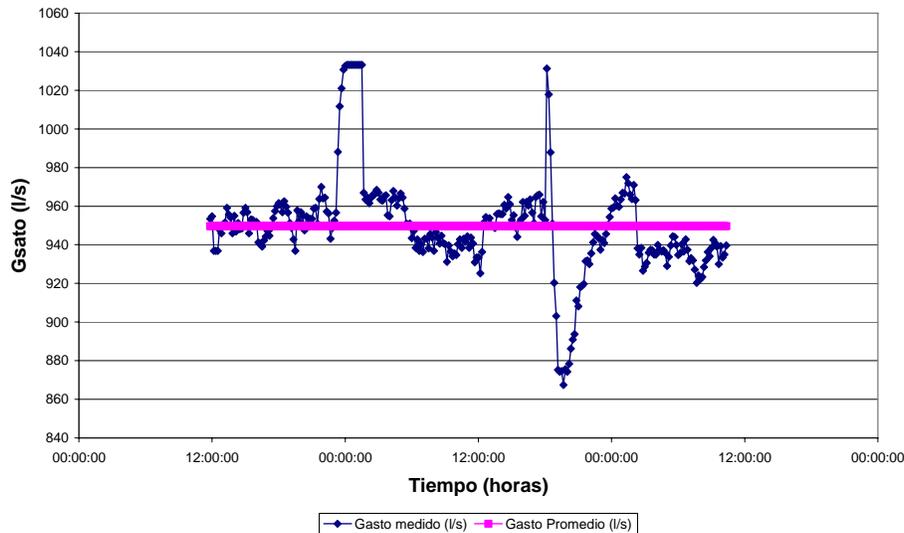


Lámina 6.23. Variación del gasto en la conducción El Sáuz en el parque industrial Impulso (sitio de medición 2)



### Medición en la Conducción el Sauz, en Cumbres Universidad

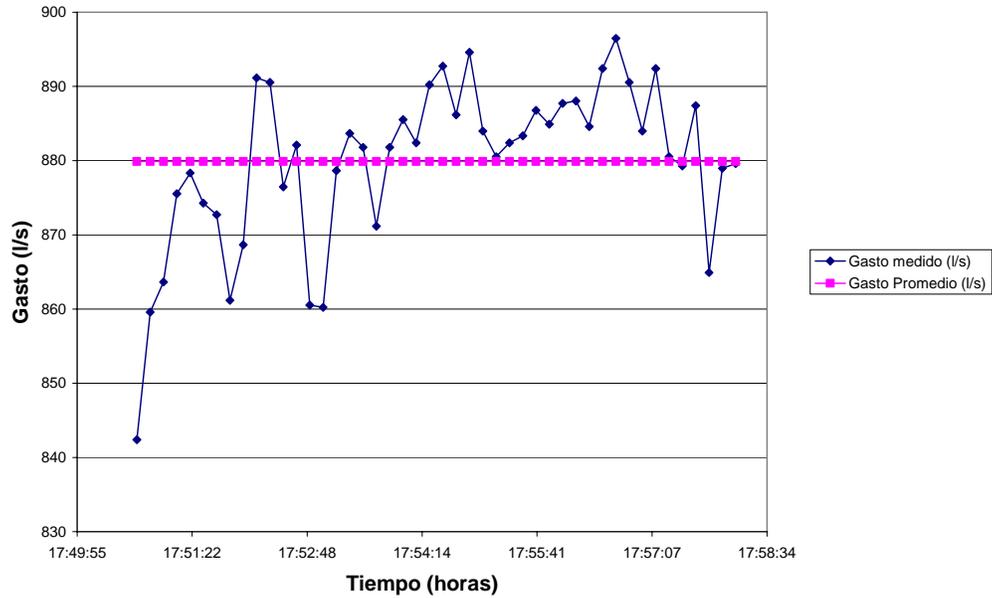


Lámina 6.24. Variación del gasto en la conducción El Sáuz en Cumbres Universidad (sitio de medición 3)

### Variación del gasto en la salida del tanque Loma Larga en la línea de de 24 pulgadas que abastece la colonia Paseos de Chihuahua

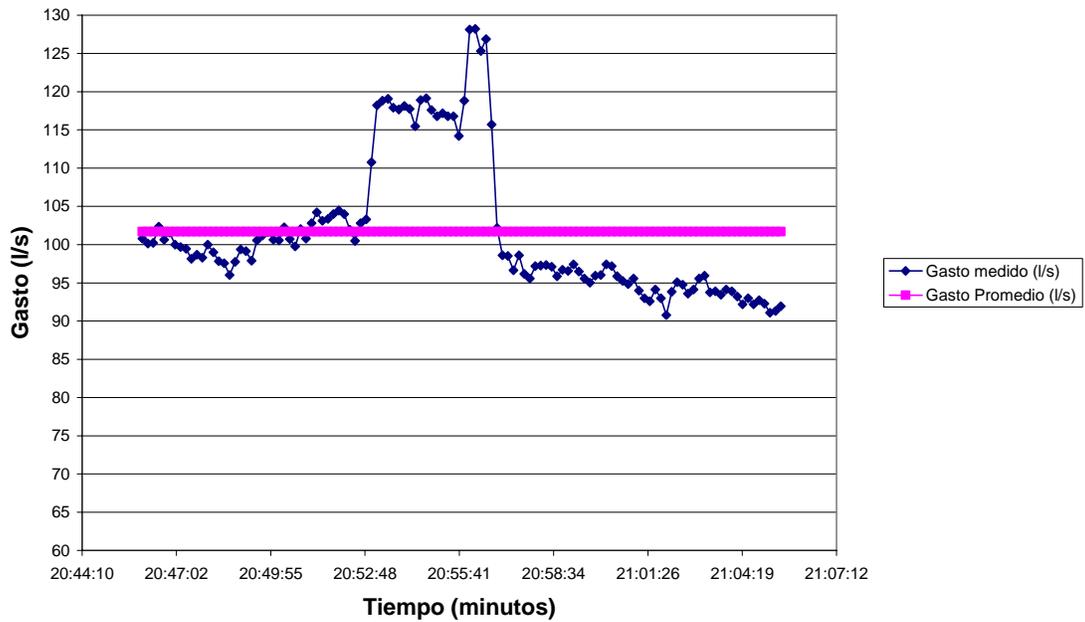


Lámina 6.25. Variación del gasto en la salida de 24 pulgadas del tanque Loma Larga hacia la colonia Paseos de Chihuahua (sitio de medición 5)



Variación del gasto de la salida del tanque Loma Larga en la línea de 18 pulgadas que abastece la colonia Campo Bello

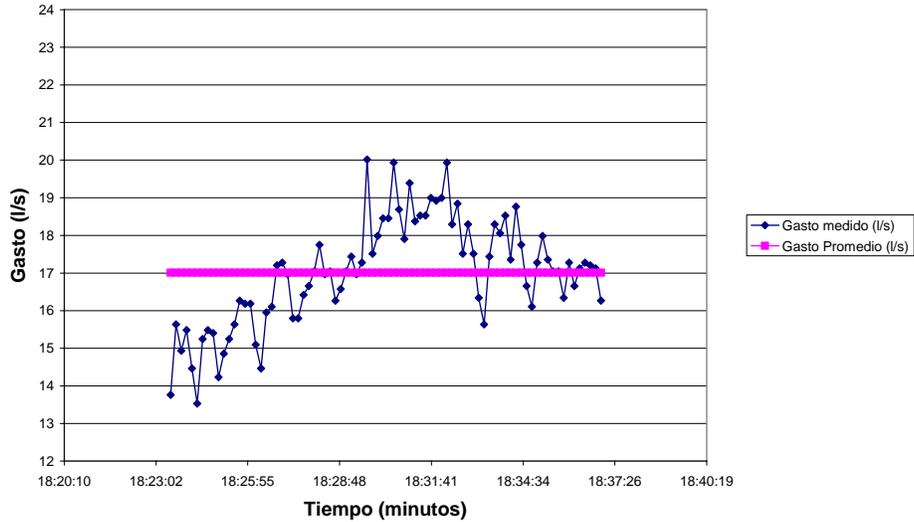


Lámina 6.26. Variación del gasto en la salida de 18 pulgadas del tanque Loma Larga hacia la colonia Campo Bello (sitio de medición 6)

Variación del gasto en la conducción del Sauz después del tanque Colina

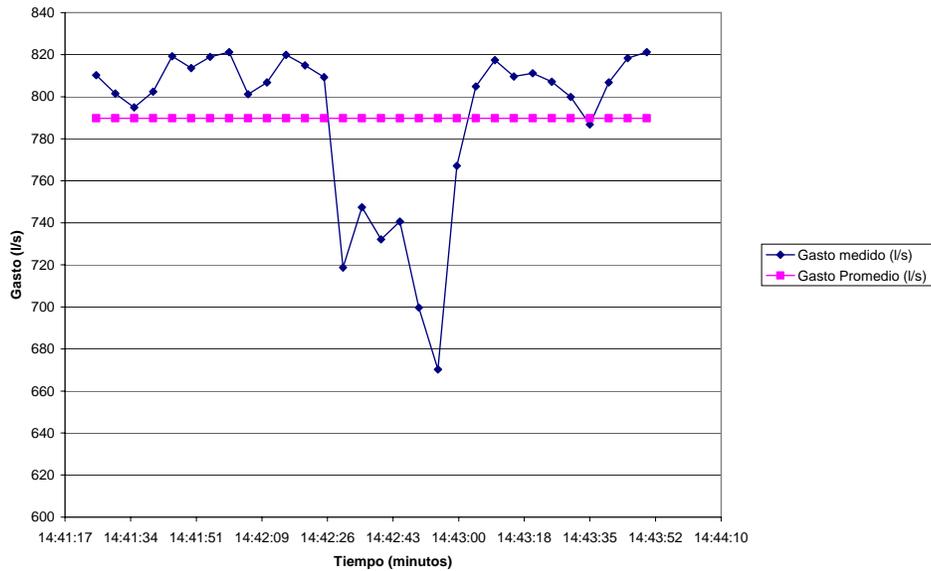


Lámina 6.27. Variación del gasto en la conducción El Sáuz después del tanque Colina (sitio de medición 7)



Variación del gasto sobre la línea de conducción del Sauz antes de la derivación al Westin Soberano

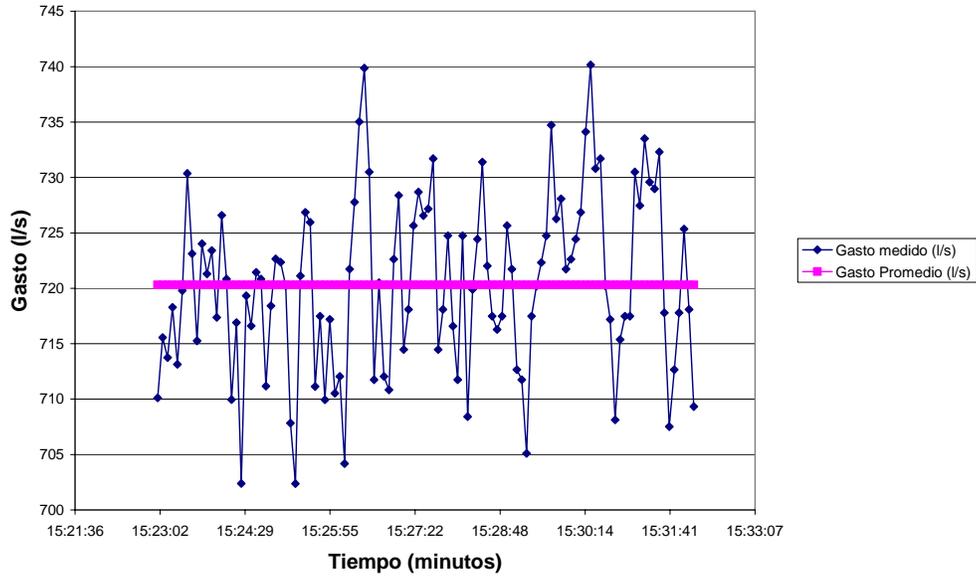


Lámina 6.28. Variación del gasto en la conducción El Sáuz a la altura del Westin Soberano (sitio de medición 8)

Variación del gasto en la conducción el Sauz en el paso a Desnivel localizado en la calle Francisco Villa

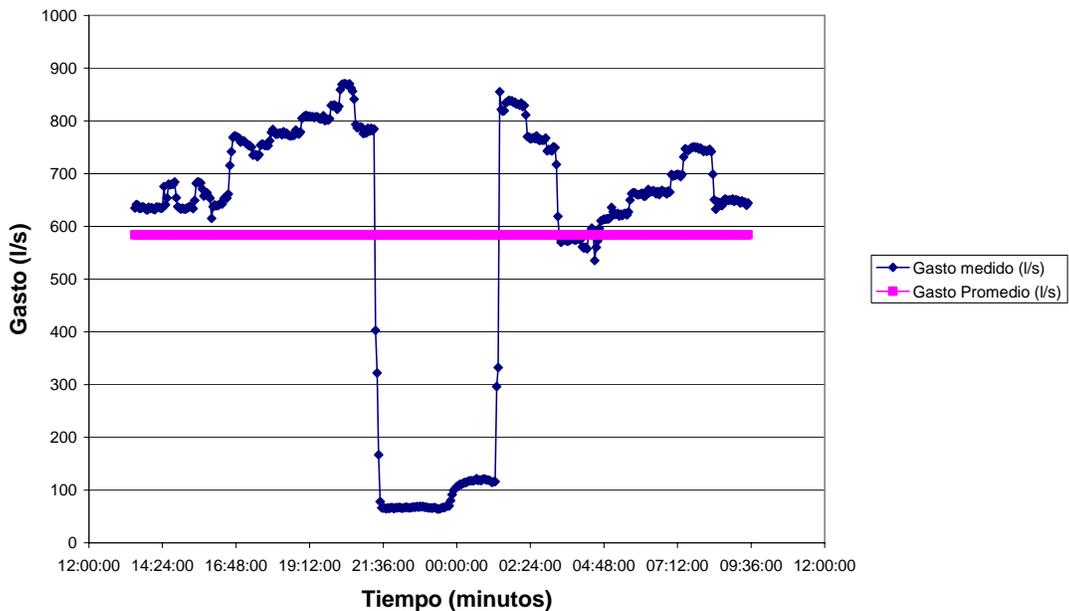


Lámina 6.29. Variación del gasto en el paso a desnivel localizado en la calle Fco. Villa, sobre la conducción El Sáuz, la medición fue de 24 horas (sitio de medición 9)



Variación del gasto a la entrada del tanque Lomas Rejón

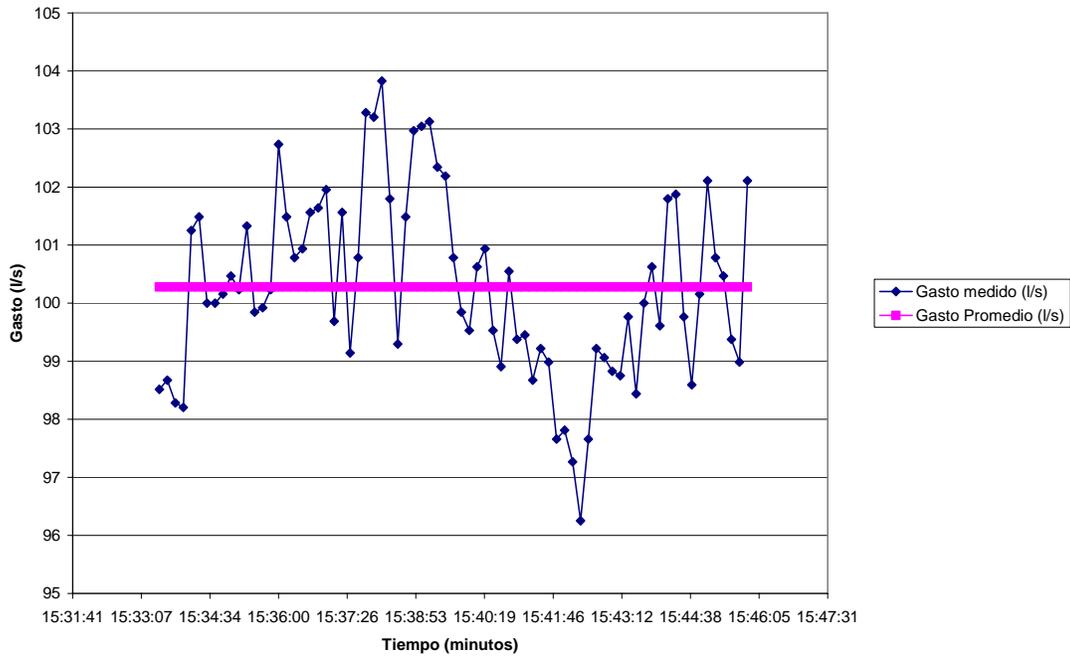


Lámina 6.30. Variación del gasto a la llegada del tanque Lomas Rejón (sitio de medición 10)

Variación del gasto en la conducción del Sauz en el Puente Campesina

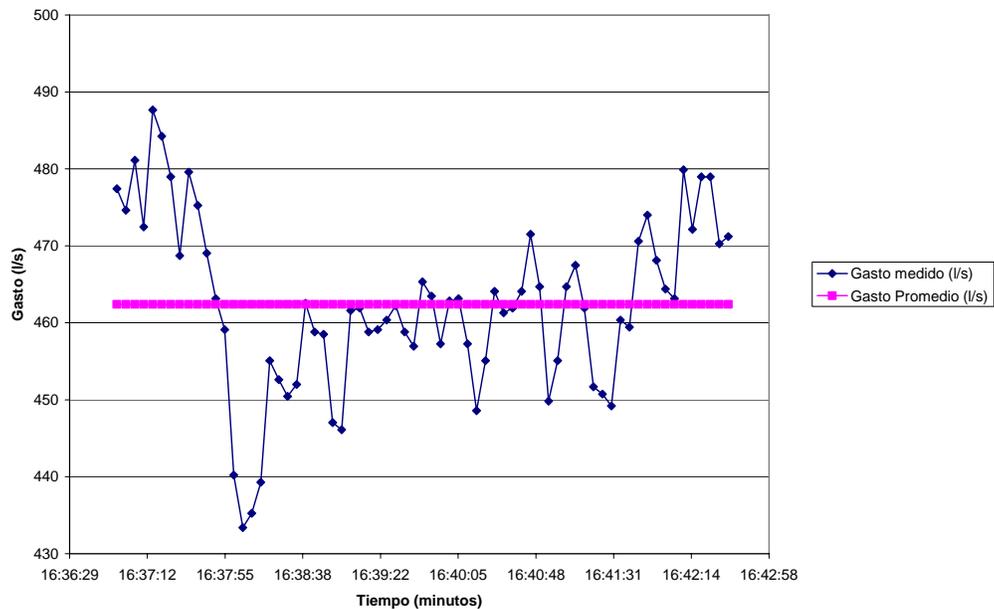


Lámina 6.31. Variación del gasto en la conducción El Sáuz, en el Puente Campesina (sitio de medición 11)



Variación del gasto en la conducción del Sauz a la llegada al tanque A con la derivación hacia Ojos de Chuviscar cerrada

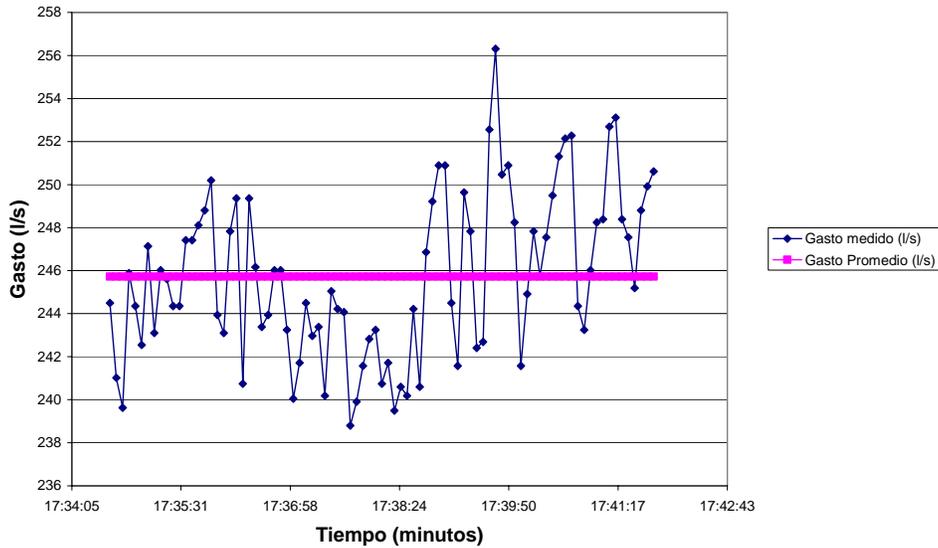


Lámina 6.32. Variación del gasto en la llegada al Tanque A, con la derivación hacia los Ojos de Chuviscar Cerrada (sitio de medición 12)

Variación del gasto de la conducción el Sauz a la entrada del tanque A, con la derivación hacia los Ojos de Chuviscar abierta

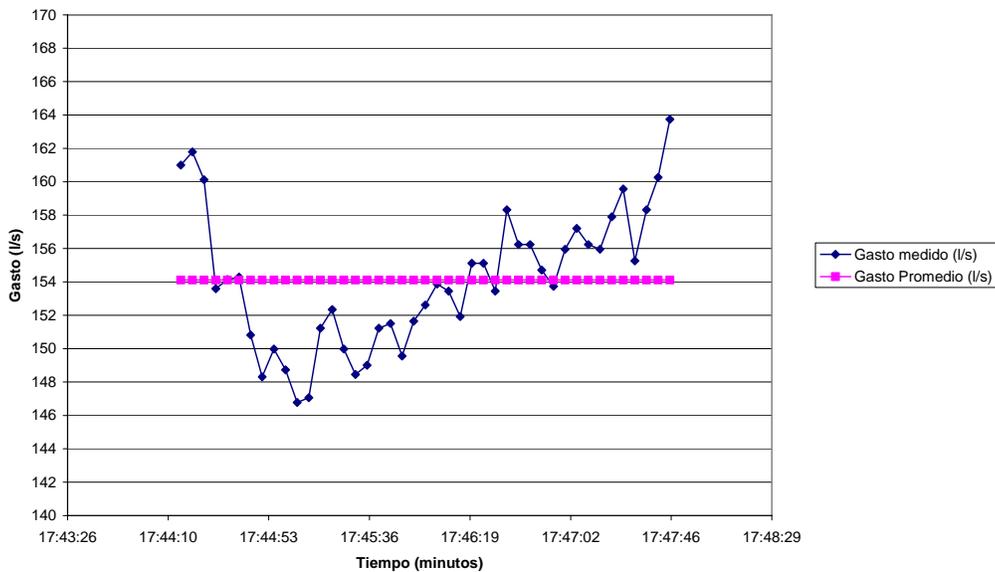


Lámina 6.33. Variación del gasto en la llegada al Tanque A, con la derivación hacia los Ojos de Chuviscar abierta (sitio de medición 12)



#### 6.2.6 Campaña de medición de caudales en la conducción Tabalaopa Aldama.

La medición de esta conducción inicia en los pozos que conforman la batería del mismo nombre y termina en el tanque Santa Rita. Para la campaña de medición de caudales en la conducción de Tabalaopa Aldama se seleccionaron 13 puntos de medición (ver Tabla 6.13 y Tabla 6.14). El primero ubicado en la línea principal Tabalaopa Aldama antes de la incorporación del Pozo 4; la duración en este punto fue de 24 horas (ver Lámina 6.34), el gasto promedio registrado fue de 290.96 litros por segundo.

Otro punto en la línea de ocho pulgadas de la conducción a donde llega el caudal de los pozos Laguna 1, Siaz y Paseos de Concordia, que se incorpora a la altura de Industria Setton, se registró el gasto durante 24 horas (ver Lámina 6.35), en este punto el gasto promedio fue de 42.27 litros por segundo.

El siguiente punto en la derivación a la colonia Praderas León se midió un gasto puntual de 84.55 litros por segundo (ver Lámina 6.36). Es importante señalar que el sentido del flujo fue de la conducción de Tabalaopa Aldama hacia Praderas León, aunque algunas veces el sentido del flujo se invierte, cuando se pone en marcha el pozo León III hacia la colonia El León, el caudal remanente se inyecta hacia la conducción de Tabalaopa Aldama.

El cuarto punto se ubicó sobre la calle Esperanza, donde se registró un gasto puntual de 238.75 l/s. En la Lámina 6.37, se muestra la variación del caudal en dicho punto.

El quinto punto se ubica a la llegada del Rebombéo X1, también se midió el caudal de manera puntual (ver Lámina 6.38) con un promedio de 281.79 litros por segundo.

Los siguientes puntos de medición del gasto fueron en cada una de las tres bombas (rebombéo) se registró de manera puntual (ver Lámina 6.39, Lámina 6.40 y Lámina 6.41). Los gastos promedio obtenidos fueron de 121.48 l/s, 54.11 l/s y 101.39 l/s respectivamente. En general se puede decir que los gastos de entrada y salida del Rebombéo X1 coinciden.

Los puntos del 9 al 11 se midieron a la salida de cada una de las bombas del Rebombéo X2 (ver Lámina 6.42, Lámina 6.43 y Lámina 6.44), se registraron gastos promedio de 95.14 l/s, 159.44 l/s y 97.32 l/s para las bombas 1, 2 y 3 respectivamente.

Los puntos 12 y 13 a la llegada y salida del Tanque Santa Rita se registraron los gastos mostrados en la Lámina 6.45 y Lámina 6.46. En promedio se tiene un gasto de llegada de 272.42 l/s y otro de salida de 234.27 litros por segundo.



**Tabla 6.13. Características de los puntos de medición de cauda en la conducción Tabalaopa Aldama**

No de sito	Identificación	
<b>1</b>	<b>LINEA PRINCIPAL TABALAOPA ALDAMA</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	700.28 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	609.6 mm
	Espesor del Tubo (mm)	90.68
	Gasto Promedio (l/s)	290.96
<b>2</b>	<b>SETTON</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	222.81 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	203.2 mm
	Espesor del Tubo (mm)	19.61
	Gasto Promedio (l/s)	42.27
<b>3</b>	<b>DERIVACION A PRADERAS DE LEON</b>	
	Material:	PVC
	Diámetro Externo (O.D.)	413.80 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	406.40 mm
	Espesor del Tubo (mm)	7.4
	Gasto Promedio (l/s)	84.55
<b>4</b>	<b>CALLE ESPERANZA</b>	
	Material:	ASBESTO
	Diámetro Externo (O.D.)	668.44 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	609.60 mm
	Espesor del Tubo (mm)	58.4
	Gasto Promedio (l/s)	238.75
<b>5</b>	<b>LLEGADA AL REBOMBEO X1</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	623.88 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	609.60 mm
	Espesor del Tubo (mm)	14.28
	Gasto Promedio (l/s)	281.79
<b>6</b>	<b>REBOMBEO X1 (BOMBA 1)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	280.11 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	254.00 mm
	Espesor del Tubo (mm)	26.11
	Gasto Promedio (l/s)	121.48



**Tabla 6.14. Características de los puntos de medición de cauda en la conducción Tabalaopa Aldama (continuación)**

No de sitio	Identificación	
<b>7</b>	<b>REBOMBEO X1 (BOMBA 2)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	280.11 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	254.00 mm
	Espesor del Tubo (mm)	26.11
	Gasto Promedio (l/s)	54.11
<b>8</b>	<b>REBOMBEO X1 (BOMBA 3)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	280.11 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	254.00 mm
	Espesor del Tubo (mm)	26.11
	Gasto Promedio (l/s)	101.40
<b>9</b>	<b>REBOMBEO X2 (BOMBA 1)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	280.11 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	254 mm
	Espesor del Tubo (mm)	26.11
	Gasto Promedio (l/s)	95.14
<b>10</b>	<b>REBOMBEO X2 (BOMBA 2)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	280.11 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	254.00 mm
	Espesor del Tubo (mm)	26.11
	Gasto Promedio (l/s)	159.44
<b>11</b>	<b>REBOMBEO X2 (BOMBA 3)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	280.11 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	254.00 mm
	Espesor del Tubo (mm)	26.11
	Gasto Promedio (l/s)	97.32
<b>12</b>	<b>LLEGADA TANQUE SANTA RITA</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	623.88 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	609.6 mm
	Espesor del Tubo (mm)	14.28
	Gasto Promedio (l/s)	272.42
<b>13</b>	<b>SALIDA TANQUE SANTA RITA</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	471.09 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	457.2 mm
	Espesor del Tubo (mm)	13.89
	Gasto Promedio (l/s)	234.27



Variación del gasto en la conducción Tabalaopa Aldama (24 horas de registro)

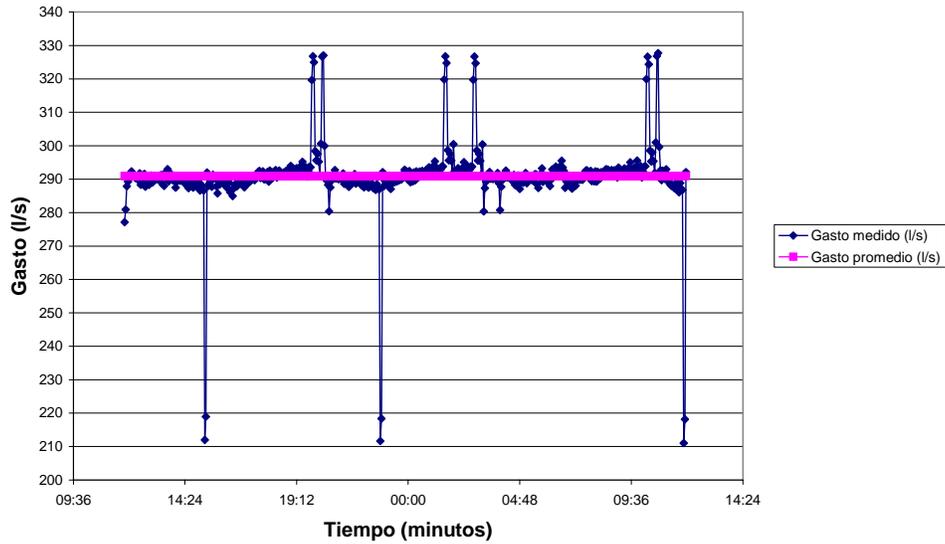


Lámina 6.34. Variación del Caudal en la línea principal de la Conducción Tabalaopa Aldama arriba del pozo cuatro (sitio de medición 1)

Variación del gasto en la línea de 8 pulgadas de los pozos Siaz, Laguna 1 y Paseos de Concordia 1 y 2, que se conecta a la conducción de Tabalaopa Aldama

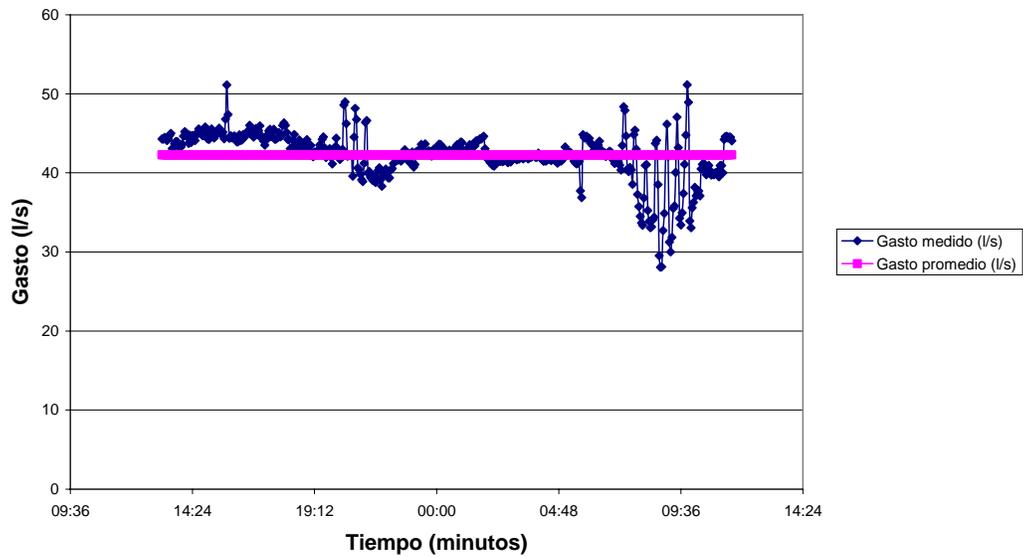


Lámina 6.35. Variación del gasto en la línea de 8 pulgadas de diámetro de la incorporación de los pozos Siaz, Laguna 1, y paseos de Concordia que se conecta a la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 2)



### Variación del Gasto en la derivación a Praderas de León

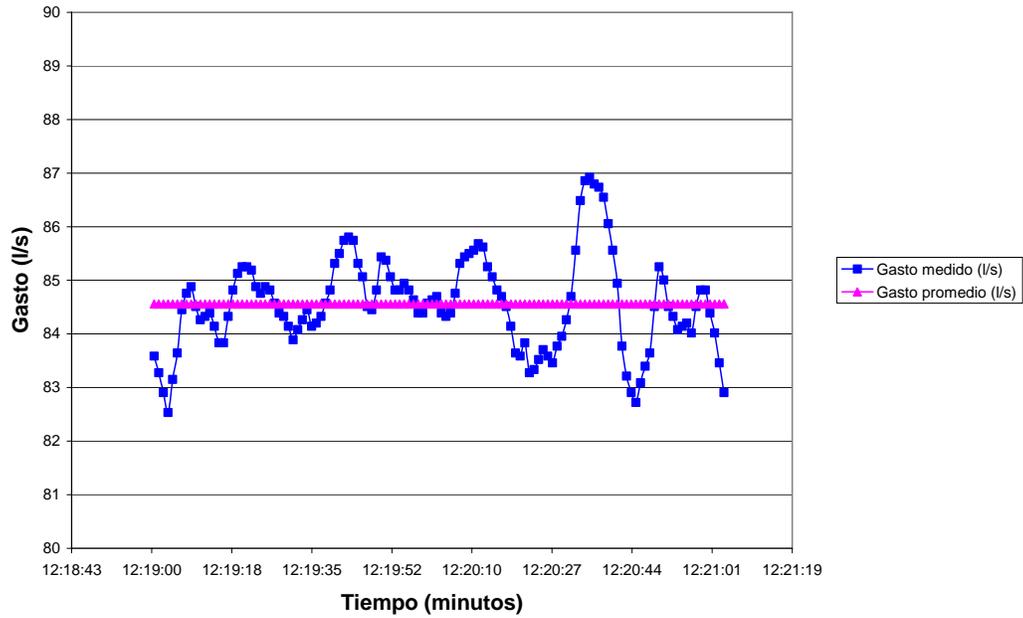


Lámina 6.36. Variación del gasto en la derivación a Praderas León de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 3)

### Variación del gasto en la conducción de Tabalaopa Aldama en la Calle Esperanza

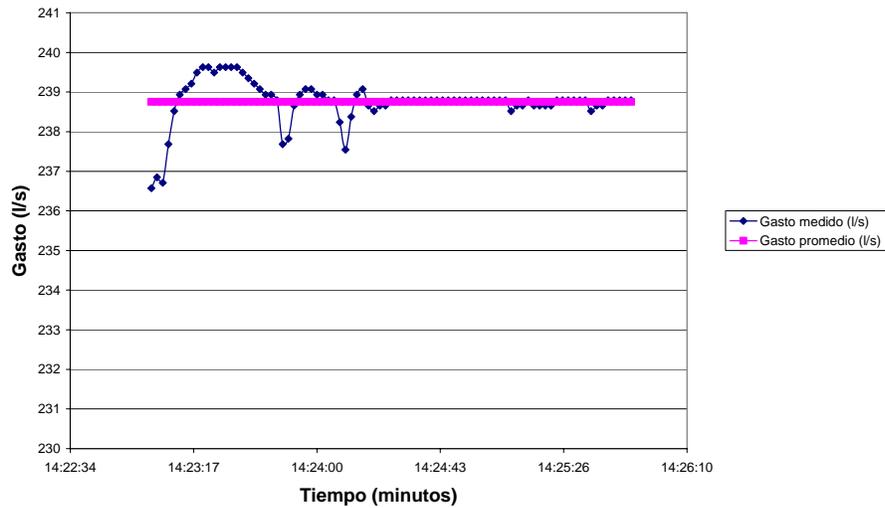


Lámina 6.37. Variación del gasto en la conducción Tabalaopa Aldama a la altura de la Calle Esperanza (sitio de medición 4)



### Variación del gasto a la llegada del Rebomero X1

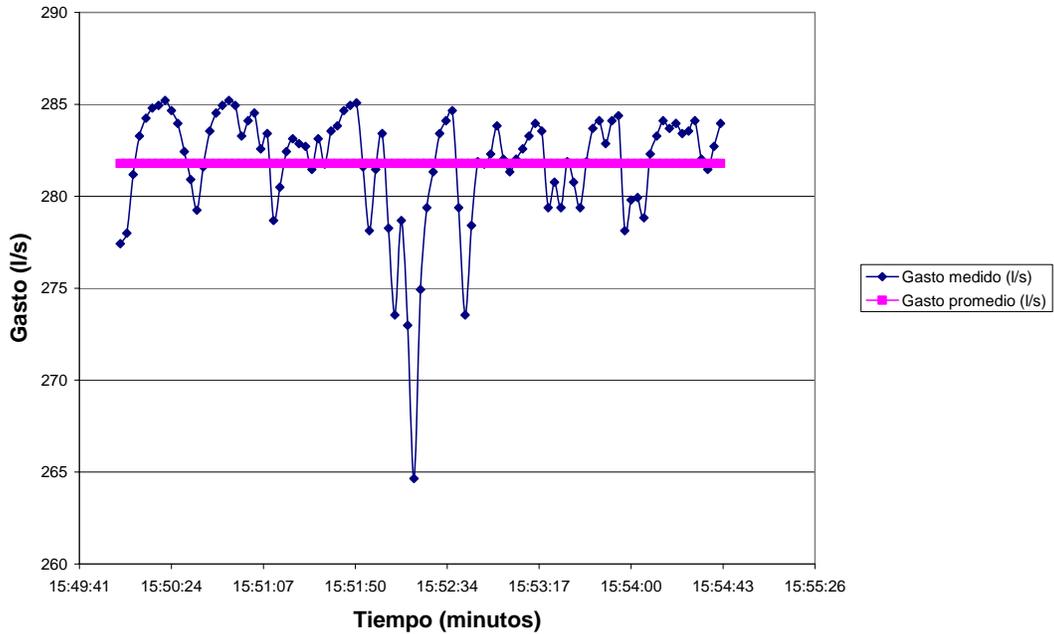


Lámina 6.38. Variación del gasto a la llegada del Rebomero X1, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 5)

### Variación del gasto en la Bomba 1 del Rebomero X1

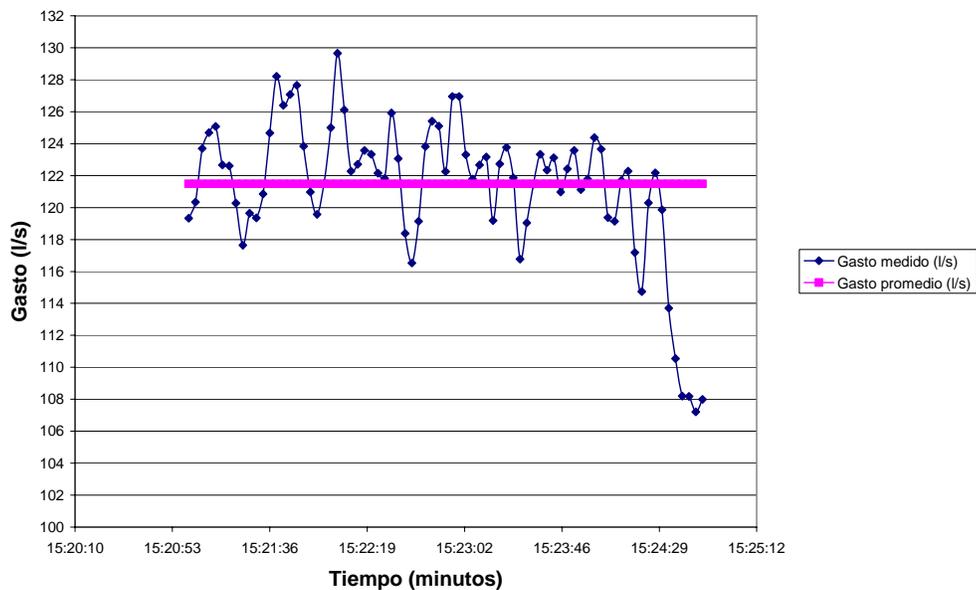


Lámina 6.39. Variación del gasto en la Bomba 1 del Rebomero X1, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 6)



### Variación del gasto en la Bomba 2 del Rebomero X1

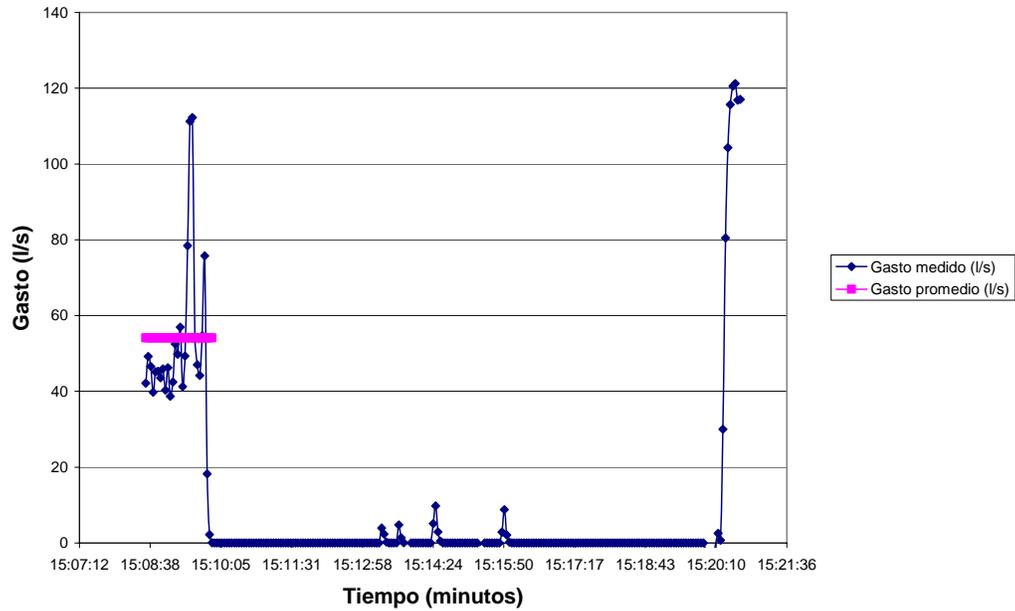


Lámina 6.40. Variación del gasto en la bomba 2 del Rebomero X1, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 7)

### Variación del gasto en la bomba 3 del Rebomero X1

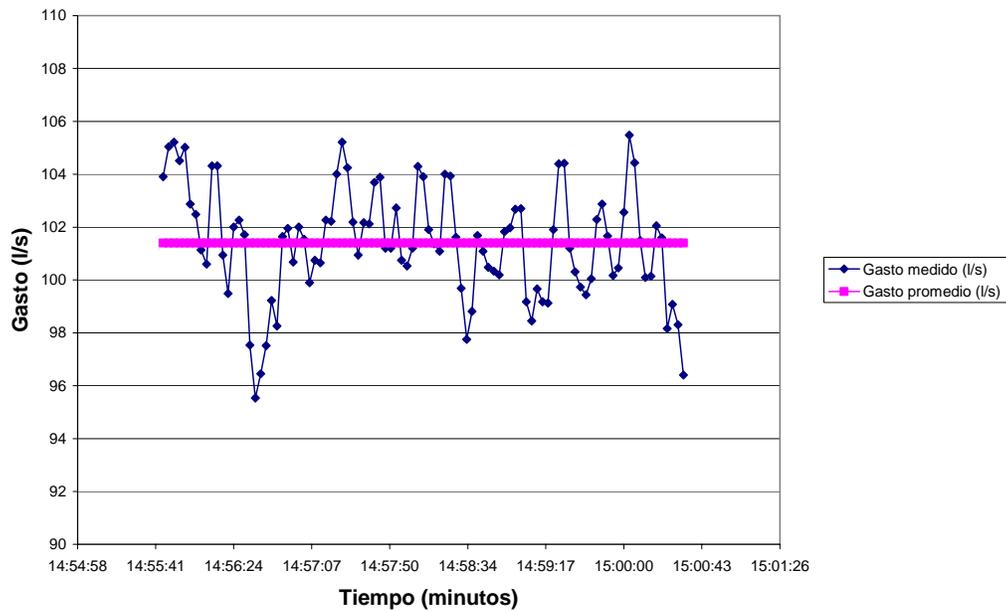


Lámina 6.41. Variación del gasto en la bomba 3 del rebomero X1, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 8)



### Variación del gasto en la bomba 1 del Rebomdeo

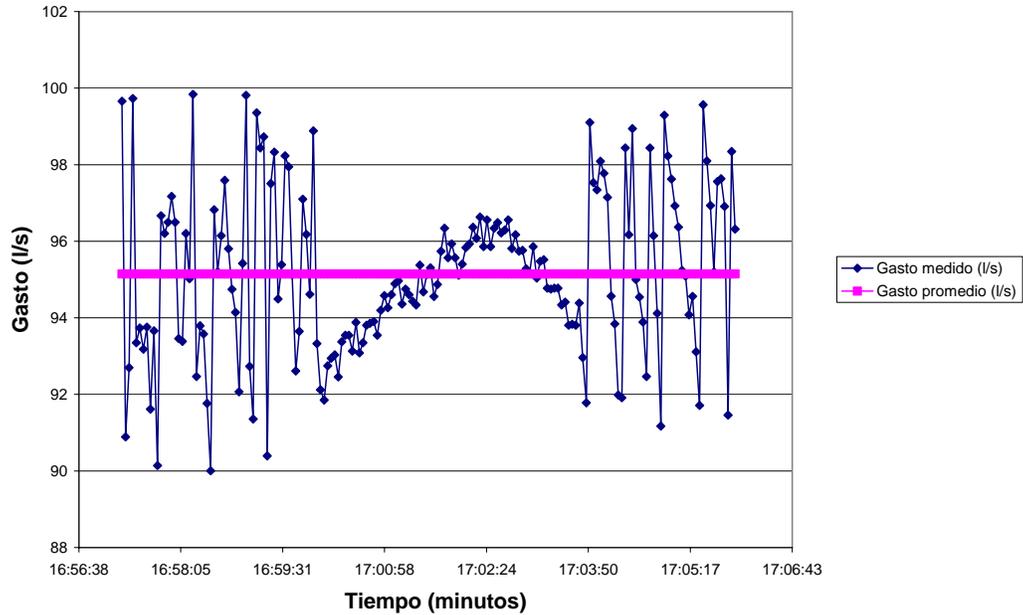


Lámina 6.42. Variación del gasto en la Bomba 1 del Rebomdeo X2, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 9)

### Variación del gasto en la Bomba 2 del Rebomdeo X2

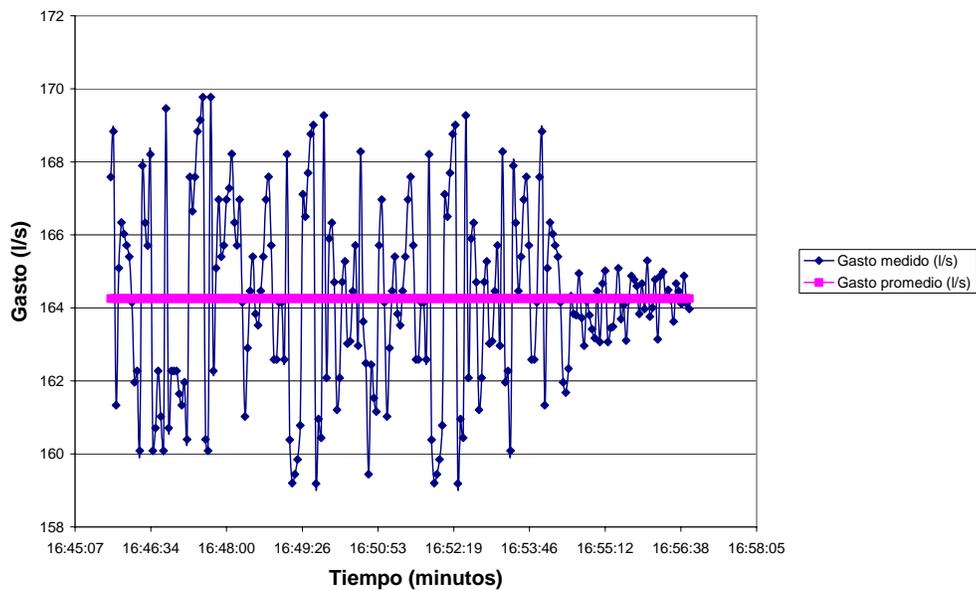


Lámina 6.43. Variación del gasto en la Bomba 2 del rebomdeo X2, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 10)



### Variación del gasto en la bomba 3 del Rebombéo X2

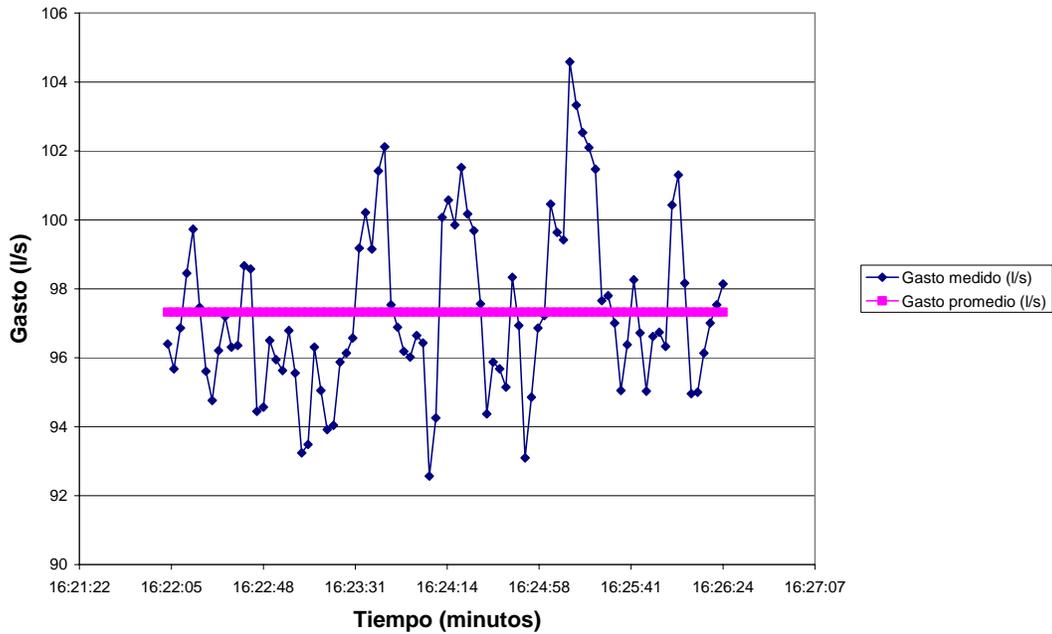


Lámina 6.44. Variación del gasto en la Bomba 3 del rebombéo X2, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 11)

### Variación del Gasto a la llegada al tanque Santa Rita

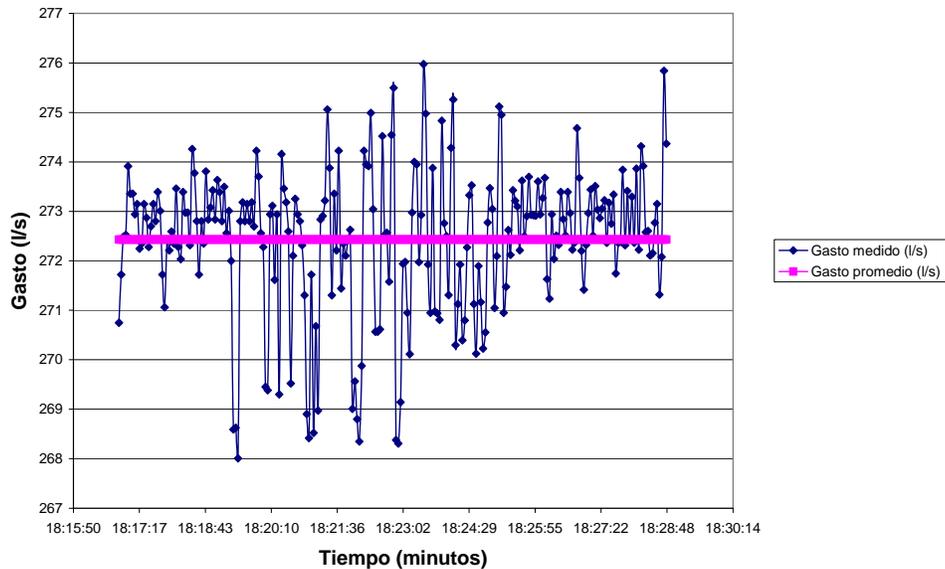
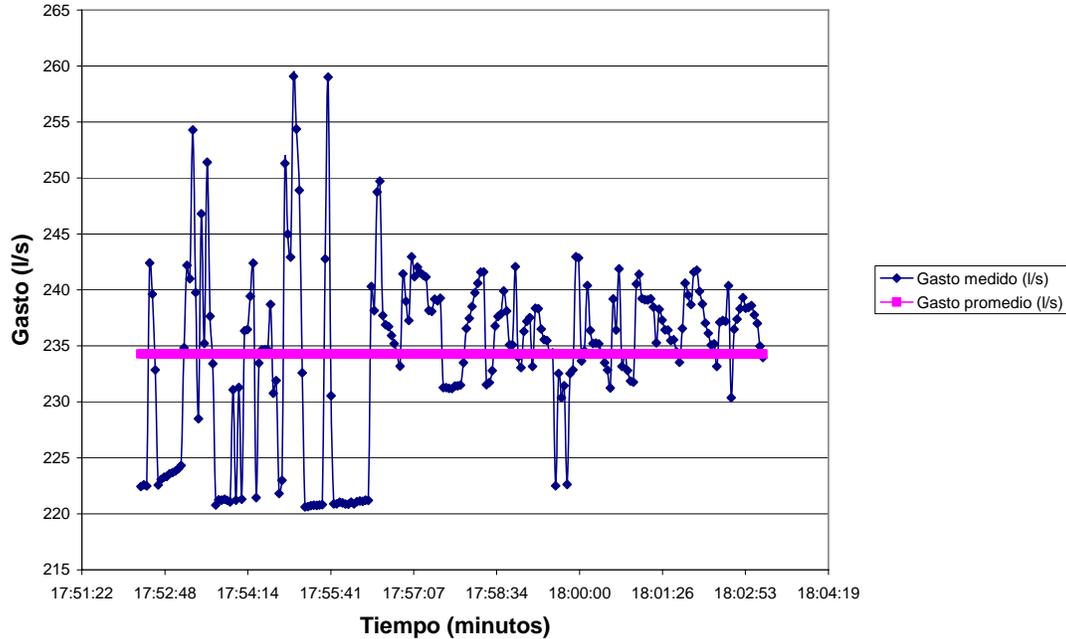


Lámina 6.45. Variación del gasto a la llegada del Tanque Santa Rita, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 12)



### Variación del gasto a la salida del Tanque Santa Rita



**Lámina 6.46. Variación del gasto a la salida del tanque Santa Rita, de la conducción Tabalaopa Aldama (sitio de medición 13)**

#### 6.2.7 Campaña de medición de caudales en la conducción Aldama Nombre de Dios.

La medición de esta conducción inicia en los pozos que conforman la batería del mismo nombre y termina en el tanque Coronel. Para la medición de caudales en la Conducción Aldama Nombre de Dios se seleccionaron nueve puntos (ver Tabla 6.15 y Tabla 6.16). El primero a la salida del Tanque Nombre de Dios, sobre la tubería de acero de 24 pulgadas de diámetro. En la Lámina 6.47, se muestra la variación del gasto, con un registro de 24 horas; el gasto de la salida de dicho tanque tiene un horario de las 12:00 a las 20:30 horas y de las 1:30 am a las 8:15 am. El gasto promedio registrado es de 378.82 litros por segundo.

El segundo punto de medición se localizó en el Puente Ferrocarril (ver Lámina 6.48), donde se tiene un gasto de 304.55 litros por segundo. El tercer punto se localizó en la calle Insurgentes esquina Paracaidistas (ver Lámina 6.49), con un gasto promedio de 331.09 litros por segundo.

El punto número cuatro de medición se realizó en la llegada del tanque cuatro, (ver Lámina 6.50), con un gasto promedio de 189.55 l/s, y los puntos de medición del 5 al 8 en las bombas 1, 2, 3 y 4 del rebombeo del tanque no. 4, (ver Lámina 6.51, Lámina 6.52, Lámina 6.53 y Lámina 6.54), con gastos promedios de 19.61 l/s, 99.98 l/s, 63.03 l/s y 67.58 l/s respectivamente.



Por último se realizó la medición de caudal a la llegada del tanque Coronel (ver Lámina 6.55), con un gasto promedio de 83.76 litros por segundo.

**Tabla 6.15. Características de los puntos de medición de la conducción Aldama Nombre de Dios**

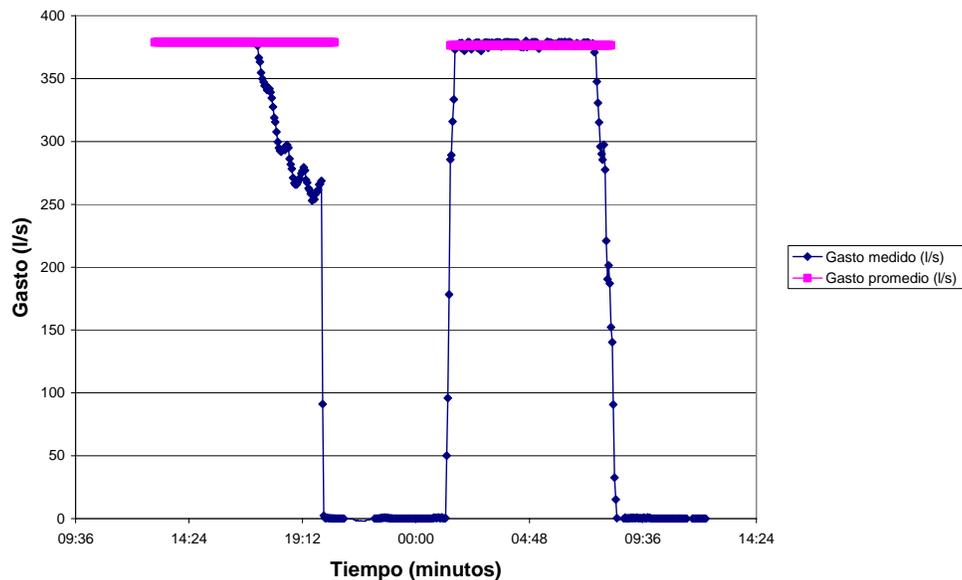
No de sitio	Identificación	
<b>1</b>	<b>SALIDA TANQUE NOMBRE DE DIOS</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	614.33 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	609.60 mm
	Espesor del Tubo (mm)	4.73
	Gasto Promedio (l/s)	378.82
<b>2</b>	<b>PUENTE FERROCARRIL</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	614.33 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	609.60 mm
	Espesor del Tubo (mm)	4.73
	Gasto Promedio (l/s)	304.55
<b>3</b>	<b>INSURGENTES ESQ. PARACAIDISTA</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	518.84 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	508.00 mm
	Espesor del Tubo (mm)	10.84
	Gasto Promedio (l/s)	331.09
<b>4</b>	<b>LLEGADA TANQUE NO. 4</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	464.73 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	457.20 mm
	Espesor del Tubo (mm)	7.53
	Gasto Promedio (l/s)	189.55
<b>5</b>	<b>SALIDA TANQUE 4 B1 (ADENTRO)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	222.81 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	203.20 mm
	Espesor del Tubo (mm)	19.61
	Gasto Promedio (l/s)	60.75
<b>6</b>	<b>SALIDA TANQUE 4 B2 (ADENTRO)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	222.81 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	203.20 mm
	Espesor del Tubo (mm)	19.61
	Gasto Promedio (l/s)	99.98



**Tabla 6.16. Características de los puntos de medición de la conducción Aldama Nombre de Dios.**

No de Sitio	Identificación	
<b>7</b>	<b>SALIDA TANQUE 4 B3 (ADENTRO)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	222.81 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	203.20 mm
	Espesor del Tubo (mm)	19.61
	Gasto Promedio (l/s)	63.03
<b>8</b>	<b>SALIDA TANQUE 4 B4 (ADENTRO)</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	222.81 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	203.20 mm
	Espesor del Tubo (mm)	19.61
	Gasto Promedio (l/s)	67.58
<b>9</b>	<b>LLEGADA TANQUE CORONEL</b>	
	Material:	ACERO
	Diámetro Externo (O.D.)	222.81 mm
	Diámetro Interno (I.D.)	203.20 mm
	Espesor del Tubo (mm)	19.61
	Gasto Promedio (l/s)	83.76

**Variación del gasto a la salida del Tanque Nombre de Dios**



**Lámina 6.47. Variación del gasto a la salida del tanque Nombre de Dios, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 1)**



### Variación del gasto en la conducción Aldama Nombre de Dios en el puente Ferricarril

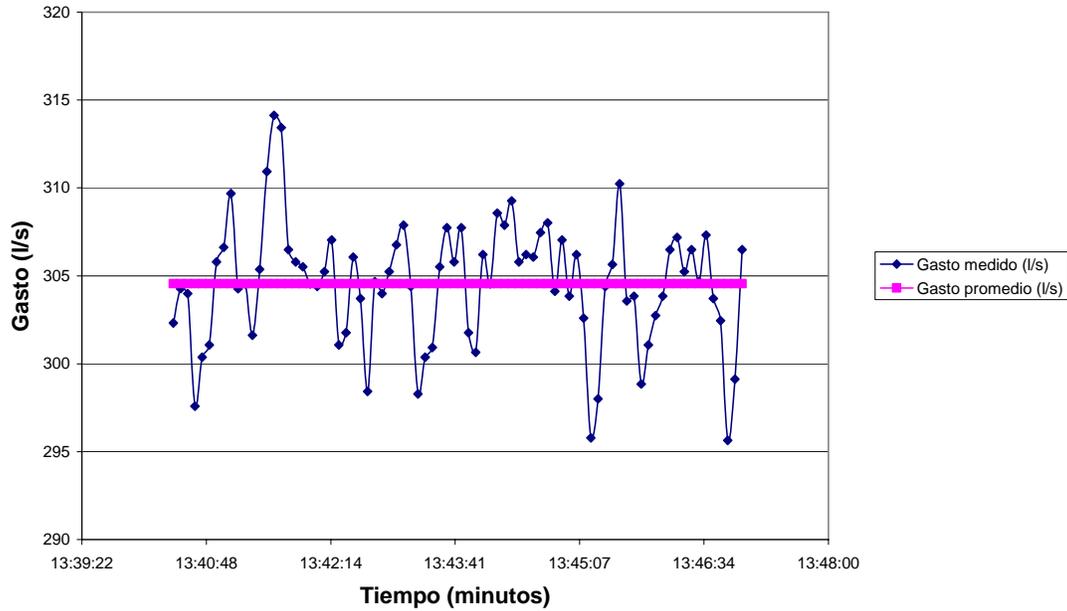


Lámina 6.48. Variación del gasto en la conducción Aldama Nombre de Dios a la altura del puente Ferrocarril, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 2)

### Variación del gasto en la conducción Aldama Nombre de Dios en Insurgentes y Esq. Paracaidistas

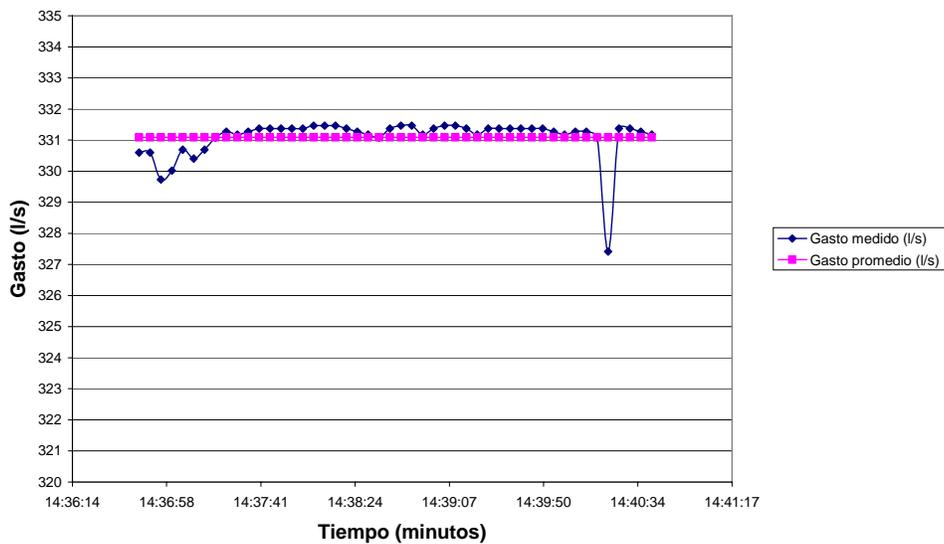


Lámina 6.49. Variación del gasto la conducción Aldama Nombre de Dios en Insurgentes y Calle Paracaidistas, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 3)



### Variación del gasto en la llegada al Tanque No. 4

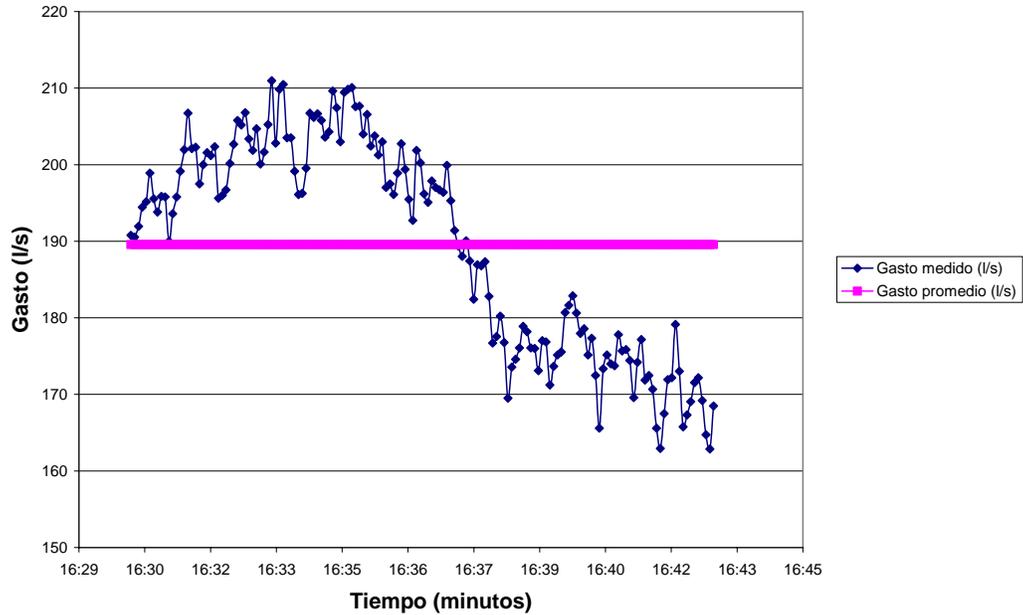


Lámina 6.50. Variación del gasto a la llegada del Tanque 4, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 4)

### Variación del gasto en la Salida del Tanque 4 Bomba 1 (Adentro)

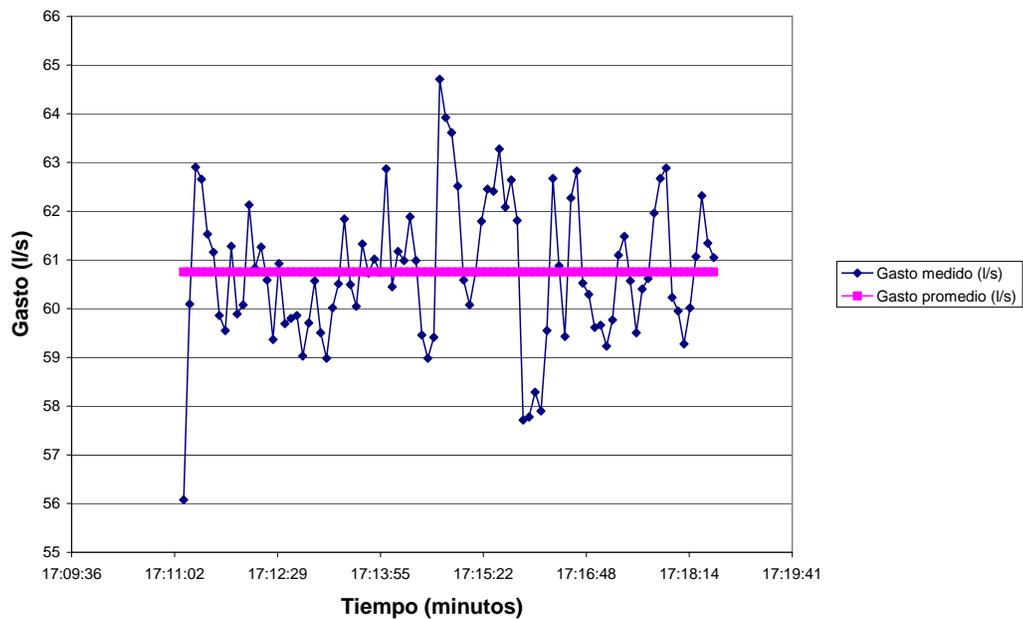


Lámina 6.51. Variación del gasto en la Bomba 1 del rebombero del Tanque 4, adentro de la estación de bombeo, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 5)



### Variación del gasto en la Salida del Tanque 4 Bomba 2 (Adentro)

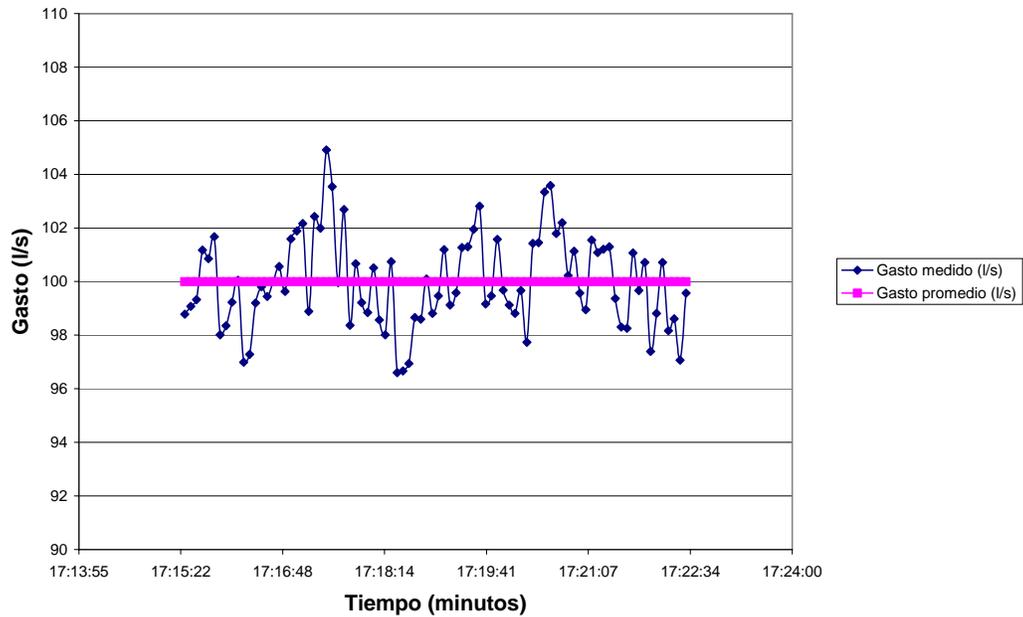


Lámina 6.52. Variación del gasto en la Bomba 2 del rebompeo del Tanque 4, adentro de la estación de bombeo, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 6)

### Variación del Gasto en la Salida del Tanque 4, Bomba 3 (Adentro)

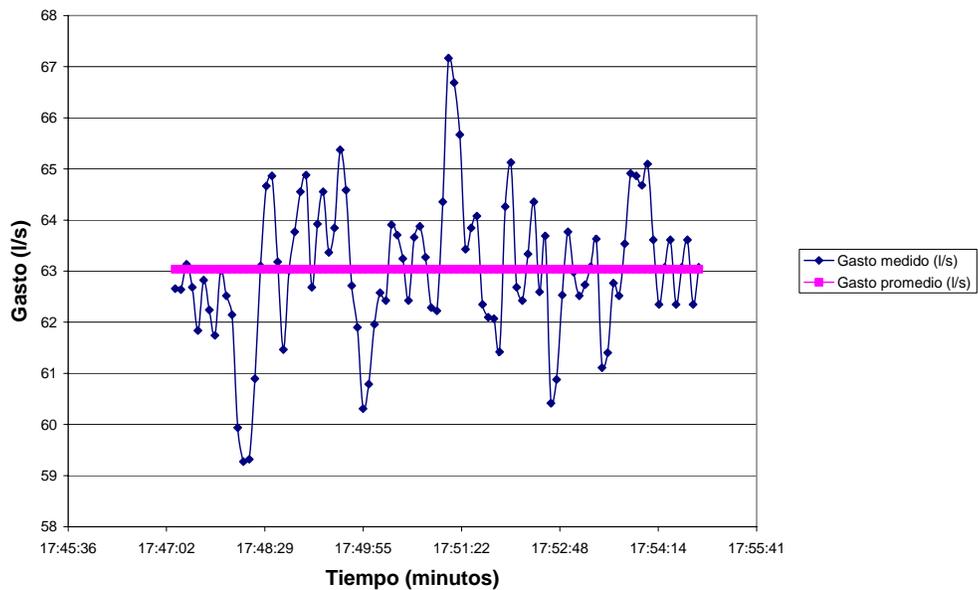


Lámina 6.53. Variación del gasto en la Bomba 3 del rebompeo del Tanque 4, adentro de la estación de bombeo, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 7)



### Variación del gasto en la Salida del Tanque 4, Bomba 4 (Adentro)

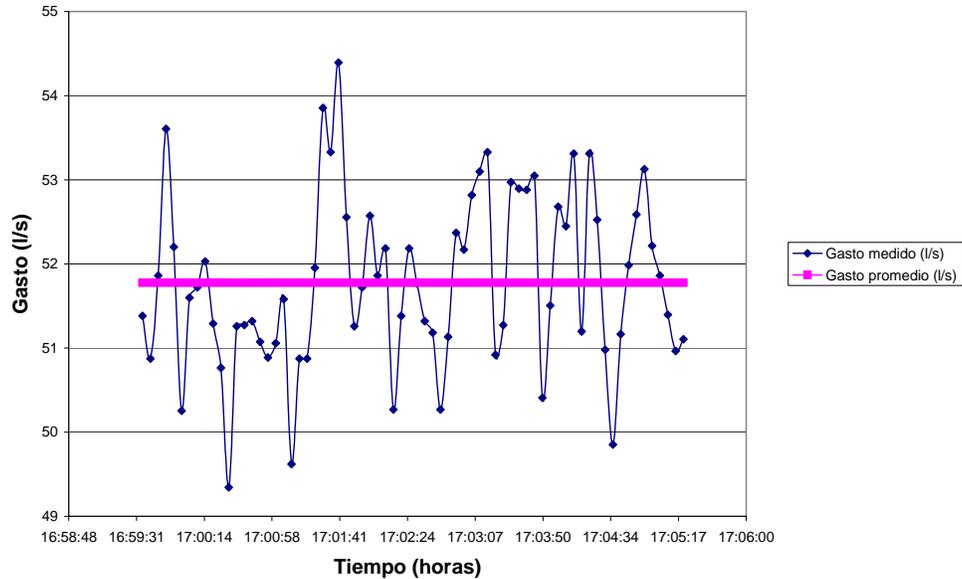


Lámina 6.54. Variación del gasto en la Bomba 4 del rebombero del Tanque 4, adentro de la estación de bombeo, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 8)

### Variación del gasto a la llegada al Tanque Coronel

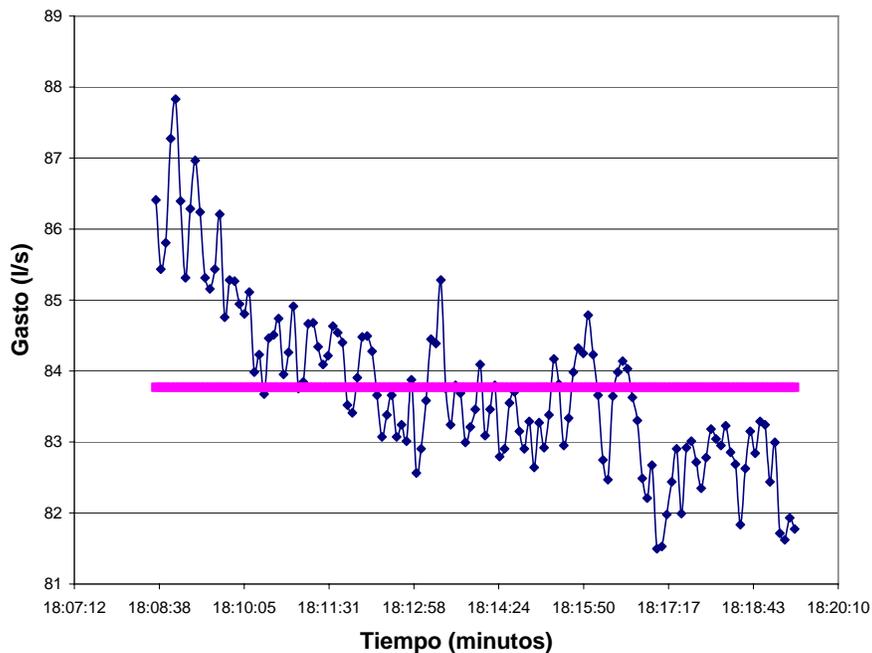


Lámina 6.55. Variación del gasto en la llegada del tanque Coronel, de la conducción Aldama Nombre de Dios (sitio de medición 9)



## 6.2.8 Campaña de medición de caudales en la conducción Panamericana

La medición de esta conducción inicia en los pozos que conforman la batería del mismo nombre y termina en el tanque superficial Panamericana. Para la medición de caudales en la conducción Panamericana se seleccionaron dos puntos, uno en prolongación avenida de la Cantera a una cuadra aguas arriba del Periférico de la Juventud.

En este punto se unen los Pozos Panamericana 5, Panamericana 4 y Panamericana 7. El gasto promedio fue de 151.00 l/s (ver Lámina 6.56). Antes de este punto existe una derivación de 6 pulgadas hacia la colonia Las Misiones que no se pudo medir.

Este gasto resulta ser mayor que el mostrado en la Tabla 4.9 de 127.47 litros por segundo producido por los pozos Panamericana 4 5 y 7 y registrado por la JMAS, por lo que se recomienda verificar los macromedidores de dichos pozos.

A la llegada del tanque superficial Panamericana se registró un gasto promedio de 123.59 l/s (ver Lámina 6.57), es decir desde el punto en donde se realizó la medición de 24 horas, hasta el tanque superficial panamericana se derivan a la red un gasto de 27.41 litros por segundo.

En la Tabla 6.17, se muestran las características de los puntos de medición en la conducción Panamericana.

**Tabla 6.17. Características de los puntos de medición en la conducción Panamericana**

No de sitio	Identificación	
1	AV. CANTERA (unión de pozos Panamericana 4, 5 y 7)	
	Material:	AC
	Diámetro externo, O.D. (mm)	362.870
	Diámetro interno, I.D. (mm)	355.600
	Espesor de pared del tubo	7.270
	Gasto Promedio (l/s)	151.00
2	LLEGADA TANQUE PANAMERICANA	
	Material:	ACERO
	Diámetro externo, O.D. (mm)	331.040
	Diámetro interno, I.D. (mm)	304.080
	Espesor de pared del tubo	26.960
	Gasto Promedio (l/s)	123.59



### Variación del Gasto en la Conducción Panamericana

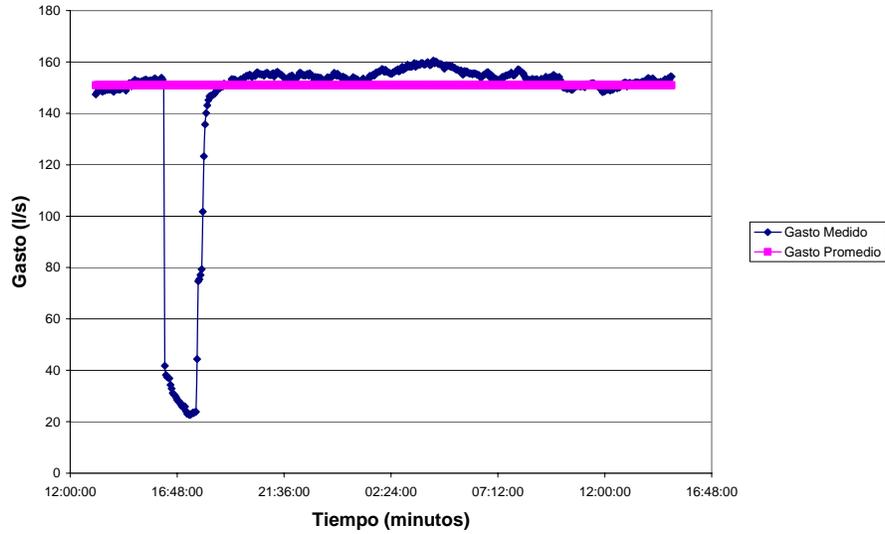


Lámina 6.56. Variación del gasto Av. Cantera en la unión de los pozos panamericana 4, 5 y 7 en la conducción Panamericana (medición de 24 horas, sitio de medición 1)

### Variación del gasto a la llegada al tanque Panamericana

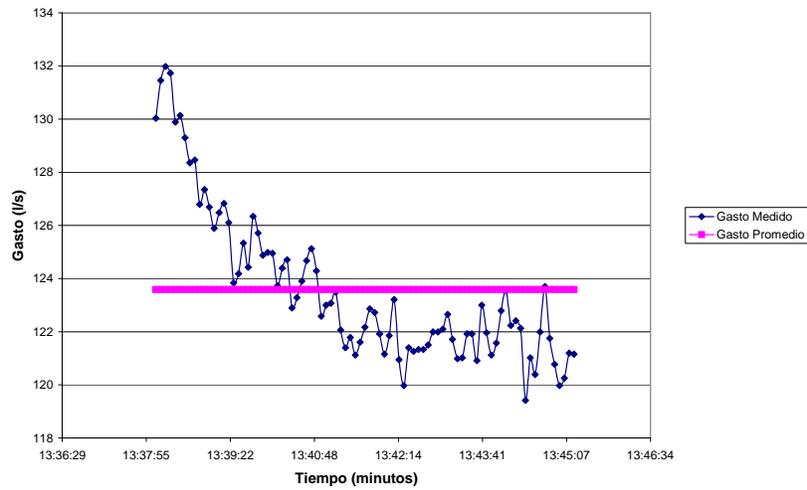


Lámina 6.57. Variación del gasto a la llegada del tanque Panamericana en la conducción Panamericana. Sitio de medición 2).



#### 6.2.9 Campaña de medición de caudales en la conducción Sacramento Norte.

La medición de esta conducción inicia en los pozos que conforman la batería del mismo nombre y termina en el tanque Colina, se seleccionaron 3 puntos de aforo sobre la conducción para determinar la distribución que esta hace.

El primer punto fue una medición de 24 horas localizado en la calle Miguel Sigala y periférico de la Juventud se registro un caudal promedio de 208.64 litros por segundo (ver Lámina 6.58), en la Tabla 4.11 se puede ver que la suma de la medición de los macro medidores de los pozos Sacramento Norte (213.04 l/s) es similar al gasto medido en los dos puntos de Lexmark. En los cuales, se tiene un gasto derivado a la red de 212.89 litros por segundo.

Las mediciones de caudal en los puntos conocidos como Lexmark 1, donde se recibe el caudal de los pozos Sacramento Norte 1 a 4, se registró un gasto de 126.93 l/s (ver Lámina 6.59).

En el punto de Lexmark 2, de la conducción Sacramento Norte, que recibe el agua de los pozos 5 a 7 se registro un caudal de 141.08 l/s (ver Lámina 6.60), difiere un poco del caudal registrado en los macromedidores de los pozos mostrados en la Tabla 4.11. Ya que para los pozos de Sacramento Norte 1 a 4, JMAS tiene un registro de 108.39 l/s, y para los pozos Sacramento Norte de 5 a 7 se tiene un caudal de 104.65 litros por segundo.

En la Tabla 6.18, se muestran las características de los puntos de medición de la conducción de Sacramento Norte.



**Tabla 6.18. Características de los puntos de medición de la conducción Sacramento Norte**

No de Sitio	Identificación	
<b>1</b>	<b>CALLE MIGUEL SIGALA Y PERIFÉRICO DE LA JUVENTUD</b>	
	Material:	AC
	O.D. (mm)	700.280
	I.D. (mm)	609.600
	Espesor:	90.680
	Gasto Inicial Promedio (l/s)	208.64
<b>2</b>	<b>LEXMARK 1</b>	
	Material:	ACERO
	O.D. (mm)	458.360
	I.D. (mm)	406.400
	Espesor:	51.960
	Gasto Inicial Promedio (l/s)	126.93
<b>3</b>	<b>LEXMARK 2</b>	
	Material:	ACERO
	O.D. (mm)	512.400
	I.D. (mm)	457.200
	Espesor:	55.200
	Gasto Inicial Promedio (l/s)	141.08



### Variación del gasto en la conducción de Sacramentos Norte

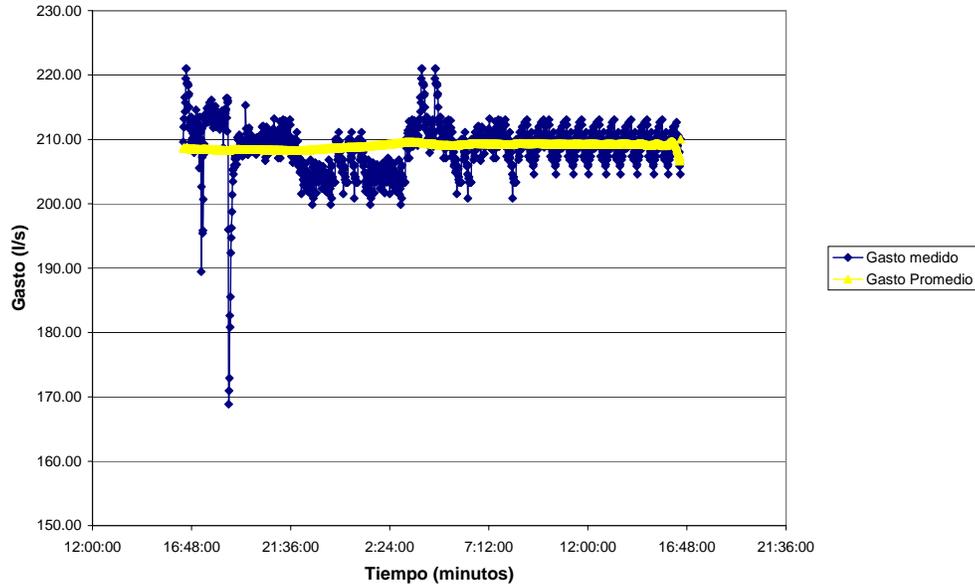


Lámina 6.58. variación del gasto en la Calle Miguel Sigala y Periférico en caudal en la conducción Sacramento Norte (24 horas, sitio de medición 1)

### Variación del gasto en Lexmark

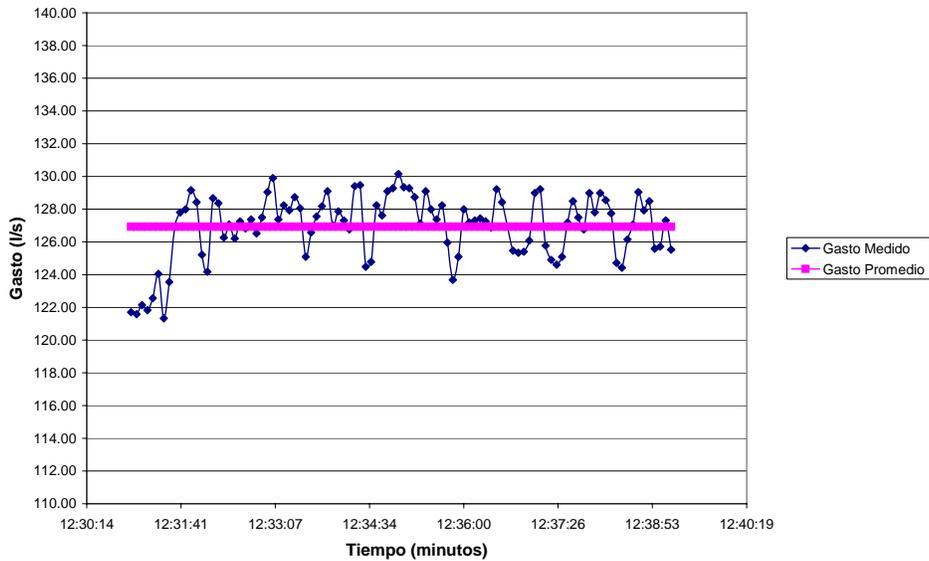


Lámina 6.59. Variación del gasto en Lexmark 1, conducción Sacramento Norte (sitio de medición 2)



Variación del gasto en Lexmark 2

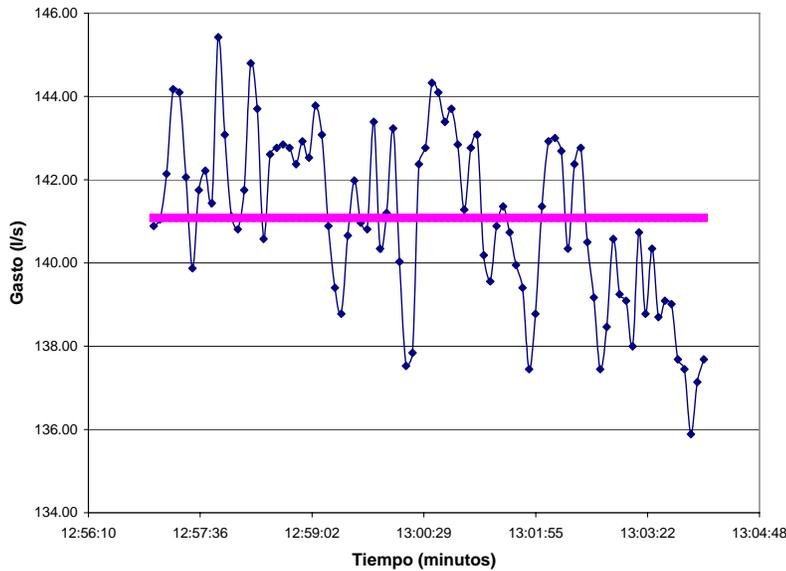


Lámina 6.60. Variación del gasto en Lexmark 2, Conducción Sacramento Norte (sitio de medición 3)

### 6.2.10 Campaña de medición de caudal en la conducción Sacramentos Viejo

La medición de esta conducción inicia en los pozos que conforman la batería del mismo nombre y termina en el tanque Coronel, se seleccionó un punto de aforo sobre la conducción. En la Lámina 6.61, se muestra el punto de medición de caudal de la conducción Sacramentos Viejos, sobre una tubería de 20 pulgadas, localizado a dos cuadras aguas debajo de donde se incorpora el pozo Sacramentos Viejos 1, la duración de ésta fue de 24 horas (ver Tabla 6.19). En la Lámina 6.62, se muestra la variación del gasto, en promedio se registraron 162.35 l/s, muy similar al gasto producido por los pozos Sacramento Viejos 5, 3, 2 y 1 que da un total de 172.27 litros por segundo.

Tabla 6.19. Características del punto de medición en la conducción Sacramentos Viejo

1	CONDUCCION SACRAMENTO VIEJO	
	O.D. (mm)	509.290
	I.D. (mm)	508.010
	Espesor:	1.28
	Gasto Inicial Promedio (l/s)	162.53



Lámina 6.61. Puntos de medición en la conducción Sacramentos Viejos

Variación del gasto en la conducción Sacramentos Viejos

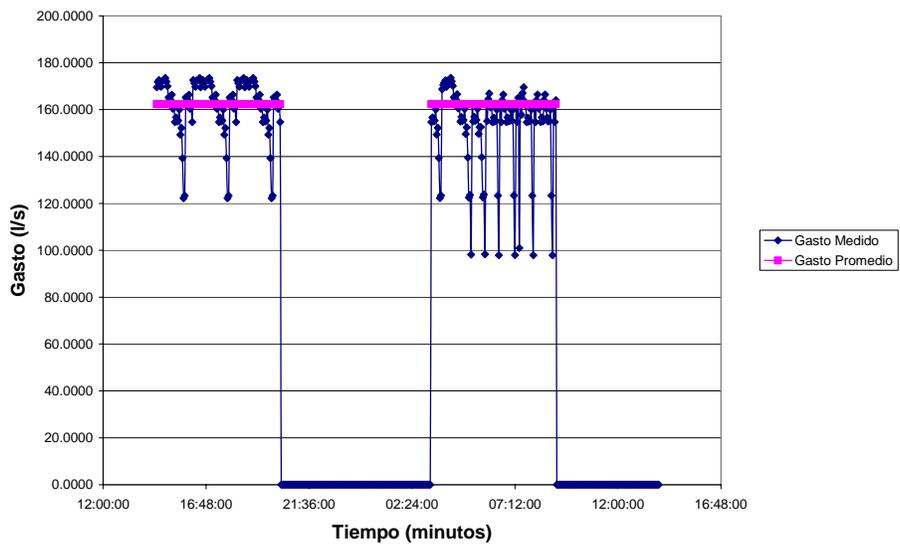


Lámina 6.62. Variación del gasto en la conducción Sacramentos Viejo (sitio de medición 1)



### 6.3 Eficiencia electromecánica de pozos de bombeo

Actualmente la gran cantidad de pozos y plantas de bombeo equipados con motores eléctricos en la red de distribución de Chihuahua, genera un incremento en el consumo de energía lo que origina que este rubro sea uno de las componentes más importantes en los costos de operación, según el reporte 2007 del cuestionario único de información básica de los organismos operadores, en la JMAS este rubro representó aproximadamente el 42 % de los egresos totales del organismo; por lo que el cálculo de la eficiencia electromecánica permite evaluar de manera precisa si se tiene un uso racional de la energía eléctrica.

La evaluación de los equipos electromecánicos instalados en pozos se basa fundamentalmente en los siguientes documentos:

- Guía para la evaluación de la eficiencia en equipos electromecánicos en operación para pozo profundo, editado para el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, MAPAS, publicado por la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, 1994.
- Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-1995
- Norma Oficial Mexicana NOM-016-ENER-1997
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ENER-2000. Eficiencia Energética en Bombas Verticales tipo Turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y métodos de prueba. (esta Norma sustituye a la NOM-006-ENER-1995).
- Eficiencia en Sistemas de Bombeo, Gerencia de Estudios y Proyectos, Coordinación de Electromecánica, Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, 2003.

En la determinación de la eficiencia electromecánica se conjugan dos tipos de variables: a) hidráulicas, b) eléctricas y mecánicas. Las primeras se componen de caudal, presión, nivel dinámico, principalmente; las segundas involucran potencias de entrada del motor y la bomba, y potencia de salida de esta última. En cuanto a las variables mecánicas se tiene la velocidad de rotación del conjunto bomba-motor.

#### 6.3.1 Definición de eficiencias

La eficiencia electromecánica global de los equipos de bombeo instalados en los pozos (conjunto bomba - motor), está definida como la proporción de la potencia de salida de la bomba entre la potencia suministrada a la entrada del motor de la bomba y se expresa en porcentaje (NOM-001-ENER-2000):

$$\eta_T = \frac{\text{potencia de salida de la bomba}}{\text{potencia de entrada del motor}} = \frac{q_v \rho g H}{\sqrt{3} V I \cos \phi} \times 100 \quad (18)$$



Donde:

$q_v$ , Flujo, capacidad o gasto de agua (l/s)  
 $\rho$ , Densidad del agua bombeada, en (kg/m<sup>3</sup>)  
 $g$ , Aceleración de la gravedad, en (m/s<sup>2</sup>)  
 $H$ , Carga total de bombeo, en (m)  
 $V$ , Tensión eléctrica, en (volt)  
 $I$ , Corriente eléctrica, en (amper)  
 $fp$ , Factor de potencia, (adimensional)

En cuanto a la eficiencia de la bomba, la NOM-001-ENER-2000, define este concepto de la forma siguiente:

$$\eta_b = \frac{\text{potencia de salida de la bomba}}{\text{potencia de entrada a la bomba}} = \frac{q_v \rho g H}{\sqrt{3} V I fp \eta_m} \times 100 \quad (19)$$

Donde,

$\eta_m$ , eficiencia de entrada al motor ( $P_e$ );

Para determinar la eficiencia global del conjunto bomba-motor, es necesario calcular la carga total de bombeo y medir el gasto manejado por el equipo de bombeo. De forma posterior se conocerá las variables que intervienen el cálculo de la carga total.

En la obtención del caudal en equipos de bombeo, existen diferentes tipos de métodos y equipos para realizar esta actividad como son: Tubo pitot y medidores ultrasónicos, por citar algunos.

### 6.3.2 Potencia de entrada a la bomba

La **potencia de entrada a la bomba**  $P_{eb}$  es la potencia suministrada a la flecha de la bomba y debe expresarse en watt. La normatividad mexicana establece que dependiendo del método que se utilice se tiene:

- Medición del par:

$$P_{eb} = \frac{2 \pi \tau}{60} t \quad (20)$$



Donde,

$\tau$ , Par en N.m (Newton por metro)

$\pi$ , Constante = 3.141592...

- Mediante la utilización de un motor trifásico de características conocidas:

$$P_e = \sqrt{3}VI fp \eta_m \quad (21)$$

Donde,

$V$ , tensión eléctrica, en volts;

$I$ , corriente eléctrica, en amper;

$fp$ , factor de potencia, adimensional;

$\eta_m$ , eficiencia del motor, adimensional;

### 6.3.3 Potencia de entrada al motor

La **potencia de entrada al motor**,  $P_e$ , se define como la potencia en watt, que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba. Para motores trifásicos se define como:

$$P_e = \sqrt{3}VI fp \quad (22)$$

Donde,

$V$ , tensión eléctrica, en volts;

$I$ , corriente eléctrica, en amper;

$fp$ , factor de potencia, adimensional.

### 6.3.4 Potencia de salida de la bomba

Finalmente la **potencia de salida de la bomba**,  $P_s$ , expresada en watt, es la potencia transferida al agua por la bomba, medida lo más cerca posible del cabezal de descarga, y esta definida de la forma siguiente:

$$P_s = q_v \rho g H \quad (23)$$

Donde,

$q_v$ , Flujo volumétrico o caudal, en  $m^3/s$ ;



$\rho$ , densidad del agua bombeada, en  $\text{kg/m}^3$   
 $g$ , aceleración de la gravedad, en  $\text{m/s}^2$   
 $H$ , carga total de bombeo, en m.

### 6.3.5 Carga total de bombeo

Con base en la norma NOM-001-ENER-2000, **la carga total de bombeo**, está dada por la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga (convertida en metros de columna de agua y corregida con la altura a la línea de centros de la toma de señal de presión), el nivel dinámico, las pérdidas por fricción en la columna y la carga de velocidad. Su expresión matemática es:

$$H = P_{gd} + Z_d + hf_c + h_v \quad (24)$$

Donde:

$H$ , Carga total de bombeo, en (m)

$P_{gd}$  o  $P_m$ , Presión en la descarga, en metros de columna de agua (m.c.a.), se mide directamente en el manómetro colocado inmediatamente después del cabezal de descarga (Lámina 6.63). Normalmente la medición se realiza en ( $\text{kg/cm}^2$ )

$Z_d$  o ND Nivel dinámico en (m)

$hf_c$  Pérdidas por fricción en la columna en m.c.a. Se determina por medio de las tablas publicadas en la norma de CNA. Las pérdidas en el codo de descarga y otros accesorios no se consideran por ser poco significativas

$h_v$  Carga de velocidad, en (m)

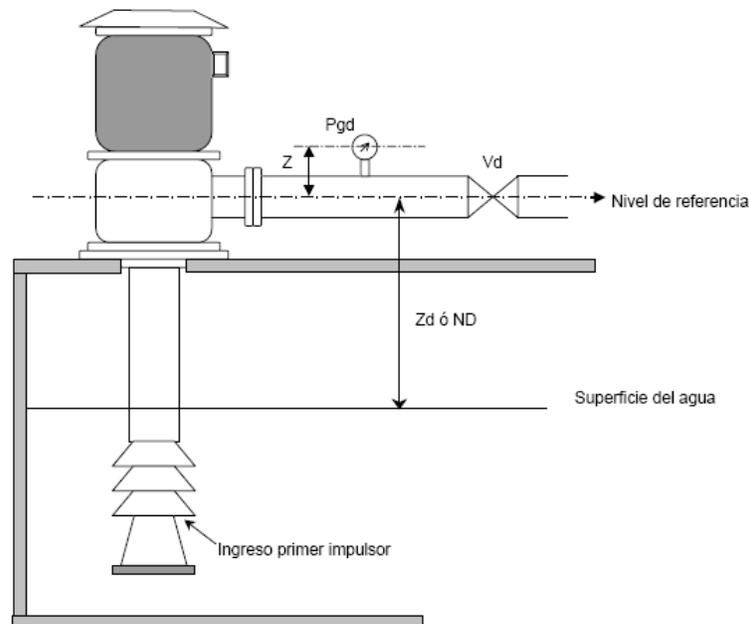


Lámina 6.63. Medición de la carga total de descarga en una bomba vertical tipo turbina, NOM-001-ENER-2000



La carga de velocidad de velocidad incluida en la expresión anterior relacionada al cálculo de la carga total de bombeo se determina de la forma siguiente:

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (25)$$

Donde:

$h_v$ , Carga de velocidad en (m)

$v$ , velocidad del agua dentro de la tubería, en (m/s)

$g$ , aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

Es importante señalar que en la normatividad anterior (NOM-006-ENER-1995), el cálculo de la carga total de bombeo se omite el término de la carga de velocidad, dado que en la mayoría de las ocasiones este valor resulta de un orden de magnitud pequeño comparado con los otros términos que componen la carga total de bombeo.

#### 6.3.6 Evaluación de pérdidas por fricción en la columna

Para determinar las pérdidas por fricción en la columna de bombeo, se hace uso de la información técnica proporcionada por los fabricantes, en donde aparecen tabuladas las pérdidas por fricción para diferentes condiciones de columna y diámetros.

#### 6.3.7 Medición de parámetros

Para el cálculo de las eficiencias electromecánicas, dada la gran cantidad de equipos de bombeo instalados tanto en pozos como rebombes existentes, se hizo una muestra representativa en la cual se seleccionaron los pozos y rebombes de la Tabla 6.20, en total 10 pozos profundos y dos rebombes, los datos registrados en dicha tabla son los obtenidos durante la campaña de medición de eficiencias electromecánicas, por lo cual el nivel dinámico, presión y gasto corresponde a la fecha de realización de la prueba.

Cabe señalar que el departamento de Suministro lleva la estimación y registro de las eficiencias electromecánicas de los equipos de bombeo periódicamente. Así como monitoreo continuo de los parámetros necesarios para su cálculo como son: nivel dinámico, gasto y presión, en cuanto al nivel estático se determina sólo en el caso de paro del equipo por mantenimiento.



**Tabla 6.20. Pozos y rebombes seleccionados para el cálculo de la eficiencia electromecánica**

No	Pozo o Rebombeo	Fecha de la prueba	Nivel Dinámico (m)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Gasto promedio (l/s)	Potencia (HP)	RPM
1	Arroyos 4	6/nov/2007	121.00	3.30	38.80	150.00	1760.00
2	Sacramento 3	6/nov/2007	130.00	1.50	28.25	125.00	1720.00
3	Villa Dorada 1	6/nov/2007	107.80	4.80	30.60	125.00	3450.00
4	Tabalaopa Aldama 9	7/nov/2007	122.50	4.00	20.45	100.00	1760.00
5	Robinson II	7/nov/2007	60.50	3.00	31.01	50.00	3450.00
6	Aeropuerto III	6/nov/2007	154.00	2.50	18.00	100.00	1760.00
7	Suaz 12	4/dic/2007	118.55	2.00	55.43	250.00	1760.00
8	Sáuz 24	4/dic/2007	93.70	3.80	35.79	100.00	1720.00
9	Puerta de Chihuahua 4	5/dic/2007	123.20	4.70	81.56	300.00	1720.00
10	Tabalaopa Nombre de Dios 7	5/dic/2007	71.55	6.50	75.61	450.00	1800.00
11	Rebombeo Coronel	5/dic/2007			66.80		
12	Rebombeo Sáuz	4/dic/2007			331.39		

### 6.3.8 Medición de caudal

La medición de caudal se realizó con el apoyo del equipo marca “Termo Polysonics” actualmente (Termo Electron) modelo DCT7088. Dentro de sus especificaciones técnicas este medidor tiene un rango de flujo entre  $\pm 0$  to 50 ft/s ( $\pm 0$  to 15 m/s) y una precisión  $\pm 0.5\%$  o en función de la velocidad de  $\pm 0.05$  ft/s ( $\pm 0.0152$  m/s); es posible medir con este equipo en tuberías cuyo diámetro está entre 1 y 200 pulgadas (25mm to 5m); el cual presenta una sensibilidad de 0.01ft/s (0.003 m/s). Utiliza la señal digital de procesamiento (DSP) en combinación con el principio de correlación digital.

El medidor de flujo es capaz de registrar más de 40,000 puntos de flujo y está programado para diferentes intervalos. Puede estar en operación de hasta 16 horas y es completamente recargable en menos de 8 horas. Aplicable en: agua potable, líquidos ultrapuros, agua deionizada, productos del petróleo, agua tratada y/o residual.

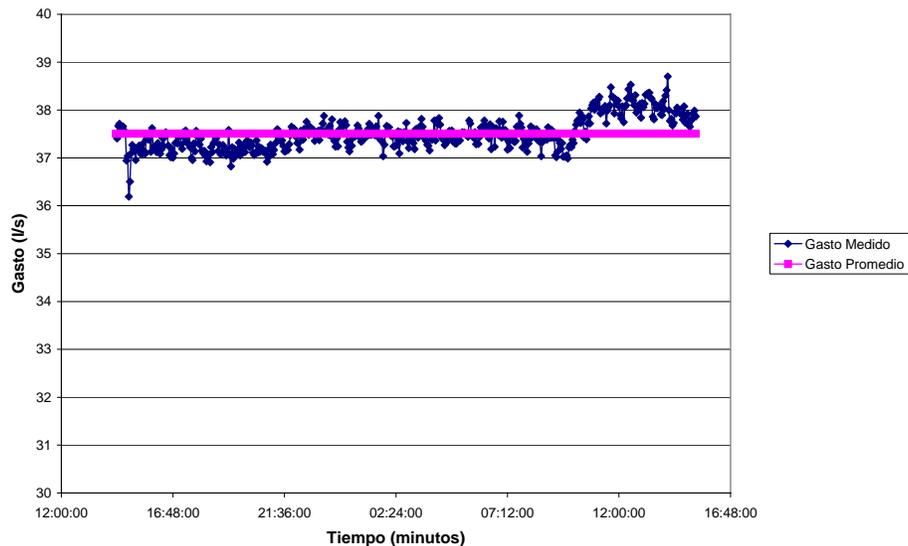
En la Tabla 6.21, se muestran las características físicas de los puntos de medición y el gasto promedio obtenido de las campañas de mediciones. En las Lámina 6.64 a Lámina 6.75, se presenta la variación del gasto en cada uno de los puntos.



**Tabla 6.21. Características de los puntos de medición**

No	Pozo o Rebombeo	Material del tubo	Diámetro exterior Del tubo O.D. (mm)	Diámetro interior del tubo I.D. (mm)	Espesor de pared del tubo (mm)	Gasto Promedio (l/s)
1	Arroyos 4	ACERO	170.70	152.48	18.22	37.50
2	Sacramento 3	ACERO	114.59	101.60	12.99	28.25
3	Villa Dorada 1	ACERO	222.81	203.20	19.61	30.60
4	Tabalaopa Aldama 9	ACERO	222.81	203.20	19.61	20.45
5	Robinson II	ACERO	222.81	203.20	19.61	31.01
6	Aeropuerto III	ACERO	171.880	152.400	19.480	17.89
7	Suaz 12	ACERO	276.920	254.000	22.920	55.43
8	Sáuz 24	ACERO	276.970	254.000	22.970	35.79
9	Puerta de Chihuahua 4	ACERO	280.11	254.00	26.110	81.56
10	Tabalaopa Nombre de Dios 7	ACERO	275.330	254.000	21.330	75.61
11	Rebombeo Coronel	ACERO	222.810	203.200	19.610	66.80
12	Rebombeo Sáuz	ACERO	378.090	355.600	22.490	331.39

**Variación del gasto en el Pozo Arroyos 4**



**Lámina 6.64. Variación del gasto en el pozo Arroyos 4. punto uno del cálculo de eficiencia electromecánica**



### Variación en el gasto del Pozo Sacramentos 3

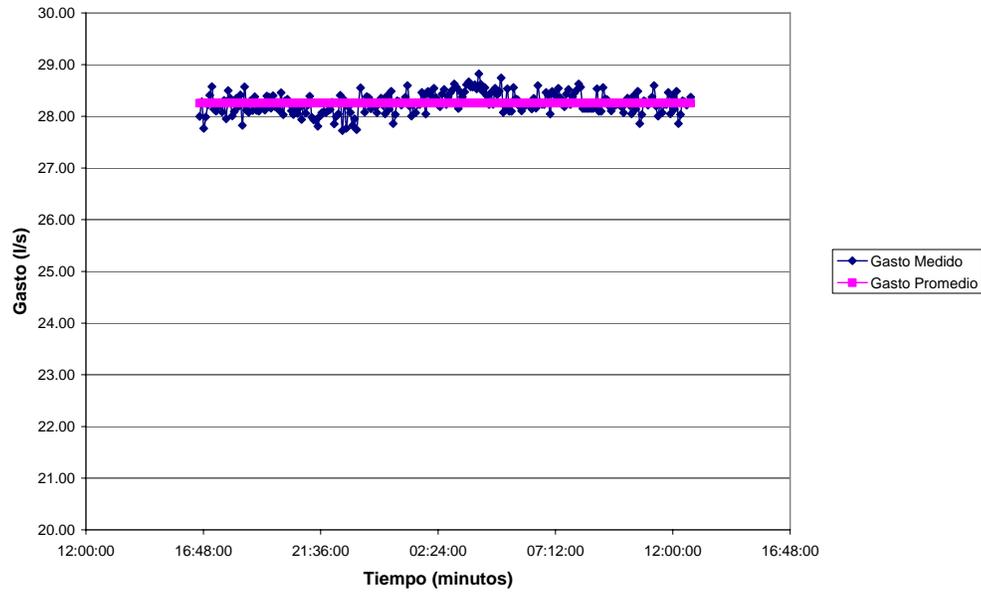


Lámina 6.65. Variación del gasto en el pozo Sacramentos 3, punto 2 del cálculo de eficiencia electromecánica

### Variación del gasto en el Pozo Villa Dorada 1

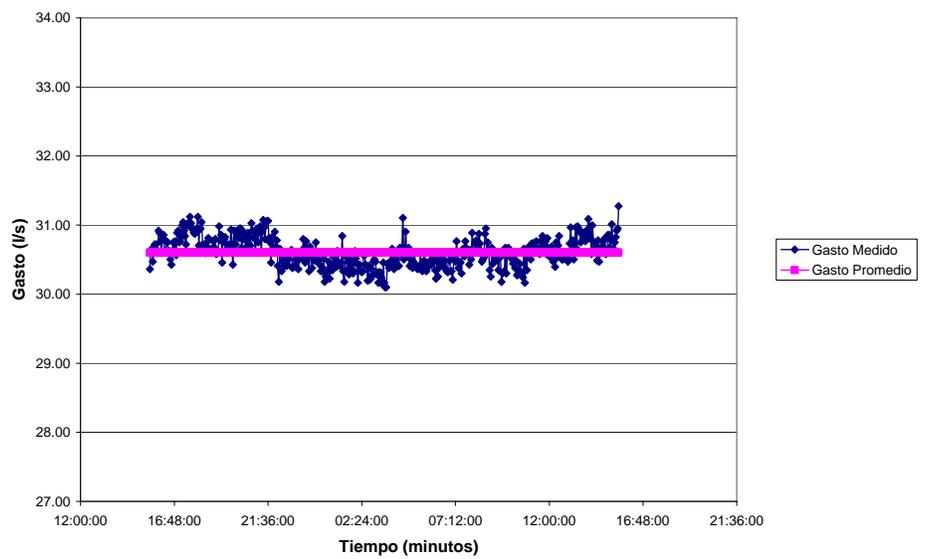


Lámina 6.66. Variación del gasto en el pozo Villa Dorada 1, punto 3 del cálculo de eficiencia electromecánica



Variación del gasto en el pozo Tabalaopa Aldama No. 9

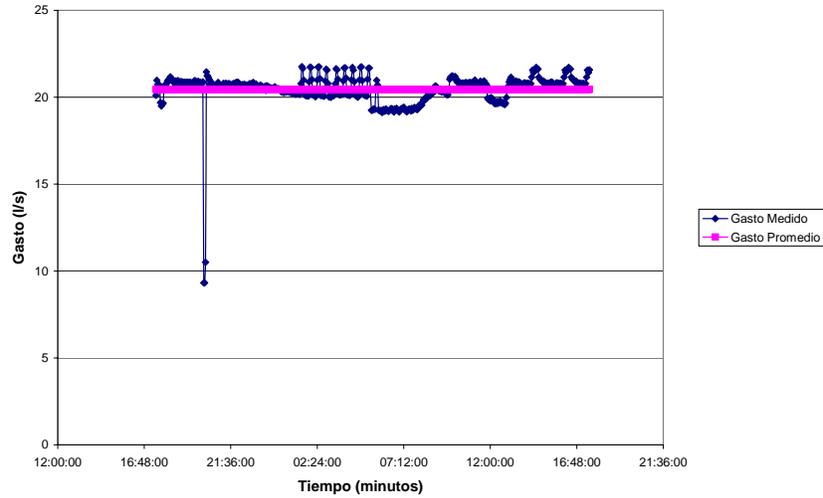


Lámina 6.67. Variación del gasto en el pozo Tabalaopa Aldama 9, punto 4 del cálculo de eficiencia electromecánica

Variación del gasto en el Pozo Robinson II

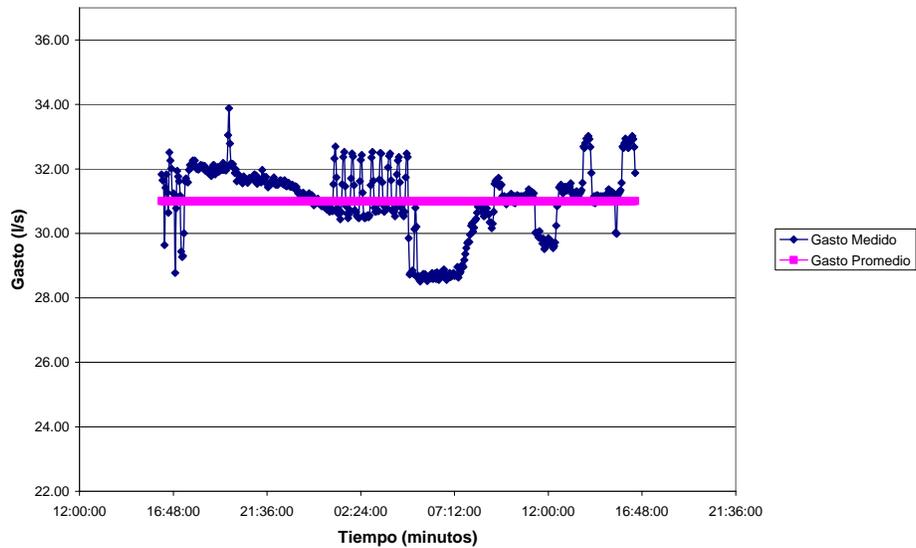


Lámina 6.68. Variación del gasto en el pozo Robinson II, punto 5 del cálculo de eficiencia electromecánica



Variación del gasto en el Pozo Aeropuerto III

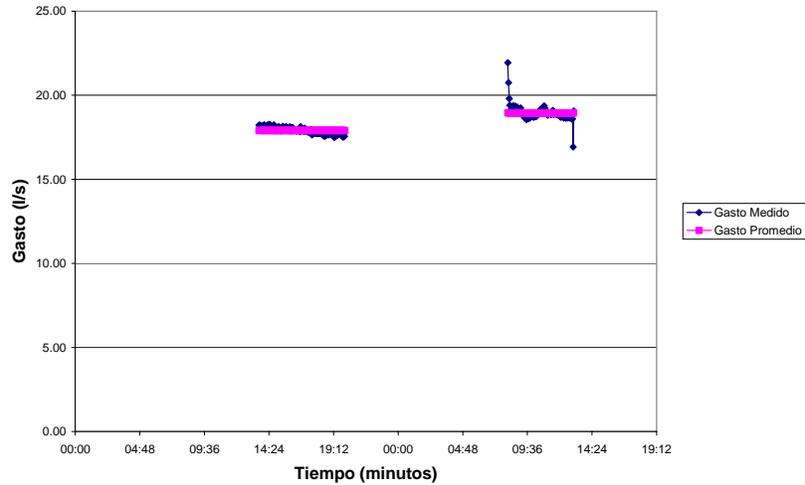


Lámina 6.69. Variación del gasto en el pozo Aeropuerto III, punto 6 del cálculo de eficiencia electromecánica

Variación del gasto en el Pozo Sauz No. 12

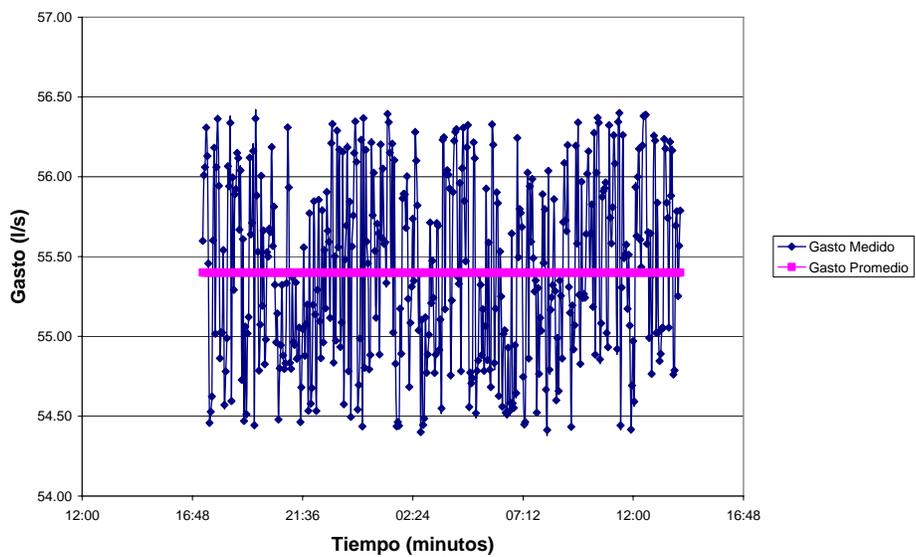


Lámina 6.70. Variación del gasto en el pozo Sáuz no 12, punto 7 del cálculo de eficiencia electromecánica



Variación del gasto en el pozo Sauz 24

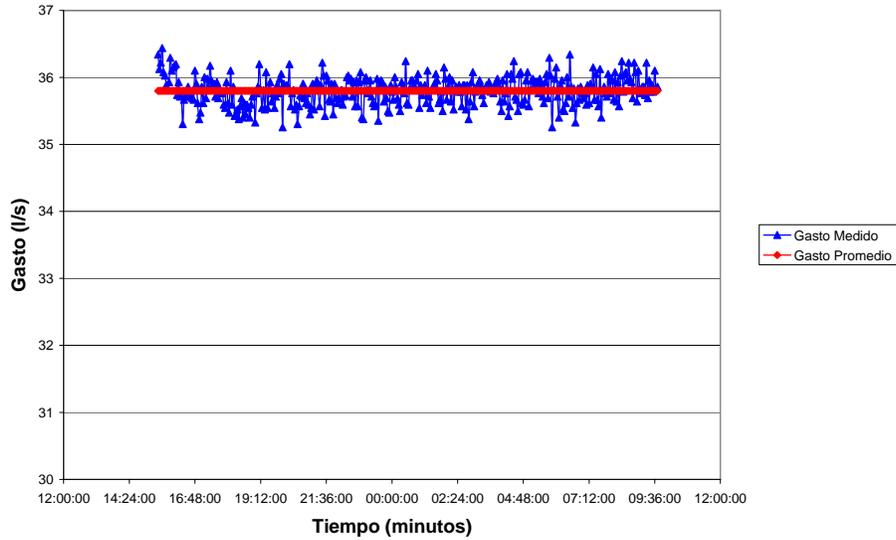


Lámina 6.71. Variación del gasto en el pozo Sáuz no. 24, punto 8 del cálculo de eficiencia electromecánica

Variación del gasto en el Pozo Puerta de Chihuahua 4

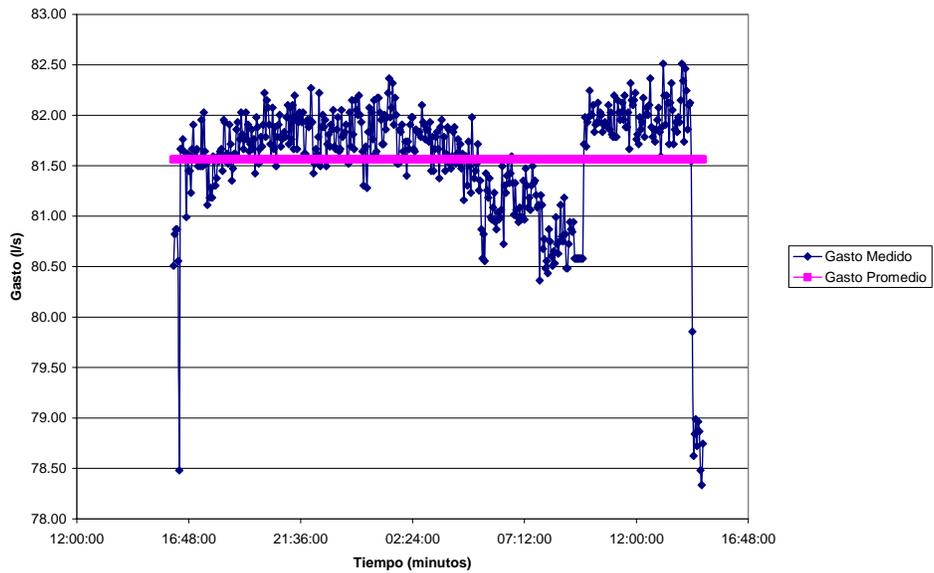


Lámina 6.72. Variación del gasto en el pozo Puerta de Chihuahua 4, punto 9 del cálculo de eficiencia electromecánica



Variación del gasto en el pozo Nombre de Dios No. 7

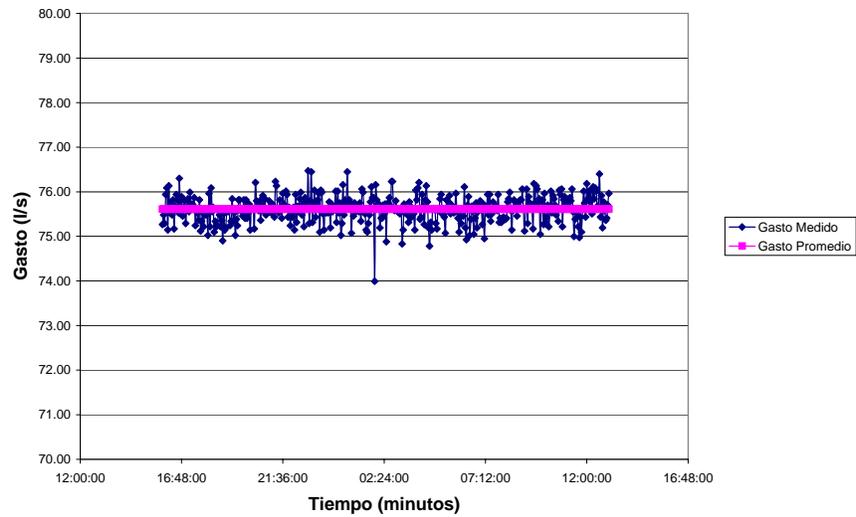


Lámina 6.73. Variación del gasto en el pozo Nombre de Dios no. 7, punto 10 del cálculo de eficiencia electromecánica

Variación del gasto en el Rebomero Coronel

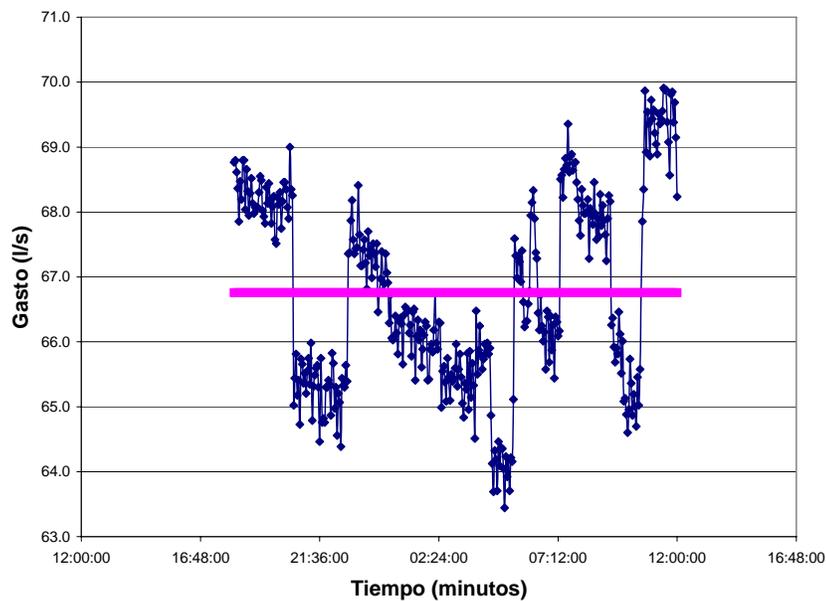


Lámina 6.74. Variación del gasto en el Rebomero Coronel, punto 11 del cálculo de eficiencia electromecánica



Variación del gasto en el Rebomero El Sauz

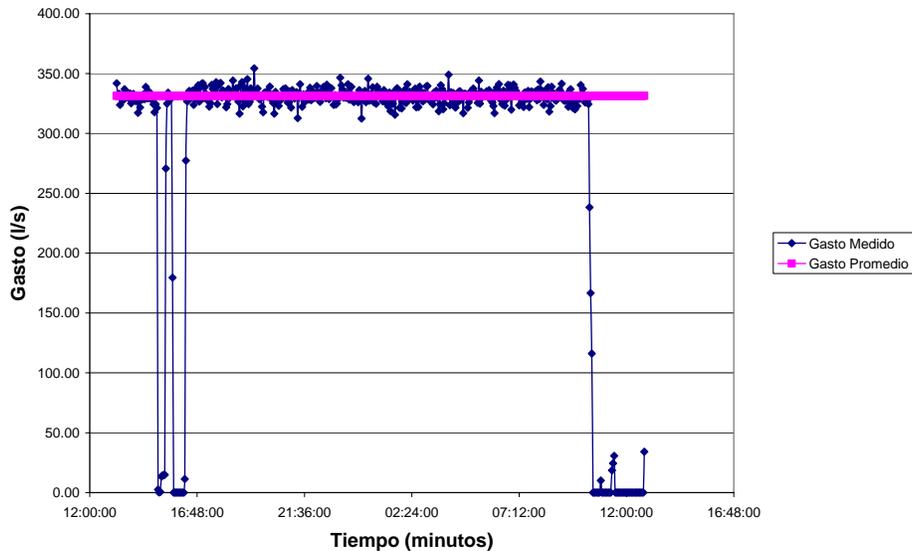


Lámina 6.75. Variación del gasto en el rebomero El Sáuz, punto 12 del cálculo de eficiencia electromecánica

### 6.3.9 Determinación de las eficiencias de los equipos electromecánicos.

Con el parámetro de comparación de la normatividad vigente para la eficiencia energética y electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación, (NOM-001-ENER-2000) donde se establece que una eficiencia del 55% es el límite aceptable; tenemos de la Tabla 6.22 a la Tabla 6.25, se muestran las eficiencias electromecánicas calculadas en cada uno de los puntos seleccionados, destacan el: Pozo Sáuz 12, Rebomero Coronel y Rebomero El Sáuz, con eficiencias totales menores al 50%. Se recomienda rehabilitar o sustituir estos equipos.

Es importante mencionar que en el Rebomero el Sáuz se cuenta con cinco equipos, de los cuales sólo se revisó uno de los equipos instalados y en el Rebomero Coronel se tienen instalados tres equipos, de los cuales sólo se revisó uno de los equipos instalados, por lo que es recomendable revisar en su conjunto todos los equipos instalados en los mismos.

El pozo Aeropuerto III tiene una eficiencia total del 54% menor a la eficiencia mínima aceptable del 55 %, por lo que este equipo también se recomienda su rehabilitación o sustitución.

El pozo de Tabalaopa Aldama 9 tiene una eficiencia total del 57%, arriba de lo recomendado en la Norma de CNA, aunque se recomienda su revisión para incrementar su eficiencia.

El pozo Sacramento 3 presentó una eficiencia del 59%, arriba de la norma. Las mejores eficiencias globales se obtuvieron en los pozos Arroyos 4 con el 82%, Villa Dorada 1 con el 61%, Robinson II con el 63%, El Sáuz 24 con el 66%, Puerta de Chihuahua con el 67% y Tabalaopa - Nombre de Dios con el 60 por ciento.



Es decir del total de 10 pozos y 2 rebombes verificados en campo se encontró que ocho tienen eficiencias globales arriba de lo que marca la norma y los restantes cuatro están por debajo.

**Tabla 6.22. Cálculo de las eficiencias electromecánicas**

No.	Símbolo	Descripción	Arroyos 4	Sacramento 3	Villa Dorada 1	Tabalaopa Aldama 9	Robinson II	Aeropuerto III
1	Zd Hd	NIVEL DINÁMICO (m)	121	130	107.8	122.5	60.5	154
2	Z	DISTANCIA DESDE EL NIVEL DE REFERENCIA A LA LINEA DE CENTROS DEL MANÓMETRO (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	PL	LECTURAS DEL MANÓMETRO A LA DESCARGA (m)	33	15	48	40	30	25
4	Pgd	PRESIÓN A LA DESCARGA = [(2)+(3)] (m)	33.5	15.5	48.5	40.5	30.5	25.5
5	A	AREA DEL TUBO A LA DESCARGA (m <sup>2</sup> ) =[p x Di <sup>2</sup> ]/4] = 0.785Di <sup>2</sup>	0.0186	0.0081	0.0324	0.0324	0.0324	0.0182
6	Qv	FLUJO (m <sup>3</sup> /s)	0.0375	0.0283	0.0306	0.02045	0.03101	0.01789
7	hv	CARGA DE VELOCIDAD (m) =[{(6)/(5)} <sup>2</sup> /19.6133]	0.221	0.621	0.045	0.020	0.047	0.050
8	hfc	PERDIDAS DE FRICCIÓN EN LA COLUMNA (m)	1.5	0.9	0.9	0.9	0.9	1.5
9	Hd	CARGA A LA DESCARGA (m) =[(4) + (7)+(8)]	35.221	17.021	49.445	41.420	31.447	27.050
10	H	CARGA TOTAL = [(1) + (9)] (m)	156.221	147.021	157.245	163.920	91.947	181.050
11*	IA IB IC I	CORRIENTE EN LA LÍNEA A CORRIENTE EN LA LÍNEA B CORRIENTE EN LA LÍNEA C CORRIENTE PROMEDIO (A) =[(IA+IB+IC)/3] (AMPERES)	120.17	109.47	113.6	79.27	56.47	79.8
12*	VAB VBC VAC V	TENSIÓN EN LA FASE AB TENSIÓN EN LA FASE BC TENSIÓN EN LA FASE AC TENSIÓN PROMEDIO (V) =[(VAB+VBC+VAC)/3] (VOLTS)	436.13	454.07	442.5	431.6	463.1	445.93



**Tabla 6.23. Cálculo de las eficiencias electromecánicas (continuación)**

No.	Símbolo	Descripción	Arroyos 4	Sacramento 3	Villa Dorada 1	Tabalaopa Aldama 9	Robinson II	Aeropuerto III
13	FpA FpB FpC Fp	Factor de potencia línea A Factor de potencia línea B Factor de potencia línea C Factor de potencia promedio (%) = $[(fpA+fpB+fpC)/3]$	0.8	0.797	0.888	0.97	0.983	0.96
14	Pe	POTENCIA DE ENTRADA AL MOTOR (kW) = $1.732 \cdot (11) \cdot (12) \cdot (13) \times 10^{-3}$	72.62	68.61	77.32	57.48	44.52	59.15
15	h <sub>m</sub>	EFICIENCIA DEL MOTOR (ADIMENSIONAL)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
16	t	PAR (Dependiendo del método que se utilice) (N.m)						
17	N	Velocidad de rotación (r.p.m.)	1760	1720	3450	1760	3450	1760
18	Peb	POTENCIA DE ENTRADA A LA BOMBA (kW) = $1.732 \cdot (11) \cdot (12) \cdot (13) \cdot (15) \times 10^{-3}$ ó $[2p(17)/60] 16 \times 10^{-3}$	61.72	58.32	65.72	48.86	37.85	50.28
19	Ps	POTENCIA DE SALIDA DE LA BOMBA (kW) = = $[(6) \cdot (10) \cdot 9.80665]$	59.44	40.80	47.19	32.87	27.96	31.96
20	h <sub>b</sub>	EFICIENCIA DE LA BOMBA (%) = $[(19)/(18) \cdot 100]$	96%	70%	72%	67%	74%	64%
21	h <sub>t</sub>	EFICIENCIA TOTAL (%) = $[(((19)/(18)) \cdot (15)) \cdot 100]$	<b>82%</b>	<b>59%</b>	<b>61%</b>	<b>57%</b>	<b>63%</b>	<b>54%</b>
22	h <sub>min</sub>	Eficiencia mínima calculada por la JMAS	57%*	30%	65%	44%	50%	50%
23	h <sub>max</sub>	Eficiencia máxima calculada por la JMAS	94%*	66%	80%	53%	82%	57%

\* NOTA: La variación entre las eficiencias mínimas y máximas de los pozos calculadas por la JMAS se debe a que los registros en el nivel dinámico de algunos pozos es muy variable, por lo que se recomienda realizar los sondeos para la medición del Nivel dinámico de los mismos con más detalle.



**Tabla 6.24. Cálculo de las eficiencias electromecánicas (continuación)**

No.	Símbolo	Descripción	Sáuz 12	Sáuz 24	Puerta de Chihuahua 4	Tabalaopa Nombre de Dios 7	Rebombero El Sáuz	Rebombero Coronel
1	Zd Hd	NIVEL DINÁMICO (m)	118.55	91.5	123.2	71.55	2	2
2	Z	DISTANCIA DESDE EL NIVEL DE REFERENCIA A LA LINEA DE CENTROS DEL MANÓMETRO (m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	PL	LECTURAS DEL MANÓMETRO A LA DESCARGA (m)	22	37	47	65	17	47
4	Pgd	PRESIÓN A LA DESCARGA = [(2)+(3)] (m)	22.5	37.5	47.5	65.5	17.5	47.5
5	A	AREA DEL TUBO A LA DESCARGA (m <sup>2</sup> ) = [p x Di <sup>2</sup> ]/4 = 0.785Di <sup>2</sup>	0.0507	0.0507	0.0507	0.0507	0.0507	0.0324
6	Qv	FLUJO (m <sup>3</sup> /s)	0.05543	0.03379	0.082	0.07561	0.3314	0.0668
7	hv	CARGA DE VELOCIDAD (m) = [((6)/(5)) <sup>2</sup> /19.6133]	0.061	0.023	0.132	0.114	2.181	0.217
8	hfc	PERDIDAS DE FRICCIÓN EN LA COLUMNA (m)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	0.5
9	Hd	CARGA A LA DESCARGA (m) = [(4) + (7)+(8)]	23.461	38.423	48.532	66.514	20.181	48.217
10	H	CARGA TOTAL = [(1) + (9)] (m)	142.011	129.923	171.732	138.064	22.181	50.217
11*	IA IB IC I	CORRIENTE EN LA LÍNEA A CORRIENTE EN LA LÍNEA B CORRIENTE EN LA LÍNEA C CORRIENTE PROMEDIO (A) = [(IA+IB+IC)/3] (AMPERES)	222.03	89.08	271.37	224.8	240.7	135.86
12*	VAB VBC VAC V	TENSIÓN EN LA FASE AB TENSIÓN EN LA FASE BC TENSIÓN EN LA FASE AC TENSIÓN PROMEDIO (V) = [(VAB+VBC+VAC)/3] (VOLTS)	447.78	456.89	444.67	445.44	444.33	440

\* **NOTA:** ver anexo B, se incluyen las tablas con las mediciones de parámetros eléctricos



**Tabla 6.25. Cálculo de las eficiencias electromecánicas (continuación)**

No.	Símbolo	Descripción	Sáuz 12	Sáuz 24	Puerta de Chihuahua 4	Tabalaopa Nombre de Dios 7	Rebomero El Sáuz	Rebomero Coronel
13	FpA FpB FpC Fp	Factor de potencia línea A Factor de potencia línea B Factor de potencia línea C Factor de potencia promedio (%) = $[(fpA+fpB+fpC)/3]$	0.98	0.926	0.987	0.991	0.905	0.901
14	Pe	POTENCIA DE ENTRADA AL MOTOR (kW) $=1.732 \cdot (11) \cdot (12) \cdot (13) \times 10^{-3}$	168.75	65.28	206.28	171.87	167.66	93.29
15	h <sub>m</sub>	EFICIENCIA DEL MOTOR (ADIMENSIONAL)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
16	t	PAR (Dependiendo del método que se utilice) (N.m)						
17	N	Velocidad de rotación (r.p.m.)	1760	1720	1720	1800	1760	1760
18	Peb	POTENCIA DE ENTRADA A LA BOMBA (kW) $= 1.732 \cdot (11) \cdot (12) \cdot (13) \cdot (15) \times 10^{-3}$ $\delta = [2p(17) / 60] 16 \times 10^{-3}$	143.44	55.48	175.34	146.09	142.51	79.29
19	Ps	POTENCIA DE SALIDA DE LA BOMBA (kW) $=[(6) \cdot (10) \cdot 9.80665]$	77.19	43.05	137.36	102.37	72.09	32.90
20	h <sub>b</sub>	EFICIENCIA DE LA BOMBA (%) = $[(19) / (18) \cdot 100]$	54%	78%	78%	70%	51%	41%
21	h <sub>t</sub>	<b>EFICIENCIA TOTAL (%)</b> <b>=<math>[(19)/(18)] \cdot (15) \cdot 100</math></b>	<b>46%</b>	<b>66%</b>	<b>67%</b>	<b>60%</b>	<b>43%</b>	<b>35%</b>
22	h <sub>min</sub>	Eficiencia mínima calculada por la JMAS	50%	60%	62%	75%	No se calculan	No se calculan
23	h <sub>max</sub>	Eficiencia máxima calculada por la JMAS	68%	74%	71%	80%	No se calculan	No se calculan



### 6.3.10 Análisis estadístico de las eficiencias globales de los equipos de bombeo de los pozos profundos calculadas mes a mes por la JMAS

Los datos mostrados en las Tabla 6.26 a Tabla 6.30, son un resumen estadístico realizado con información proporcionada por el Departamento de Suministro de la JMAS de los meses de enero a diciembre del 2007.

En total se cuenta con 131 pozos profundos instalados (con capacidad de operación) para suministrar agua a la ciudad de Chihuahua, de éstos se operan 125 (pozos activos), los seis pozos que se encuentran inactivos agua son: Aeropuerto 3, Cima 2, CTU Quetzal, Impulso 2 y Rinconada los Nogales, ya que están en proceso de equipamiento y/o incorporación a la red.

Del análisis de eficiencia global se desprende que el 45 % (56 pozos) de los pozos presentan eficiencias menores del 55% (ver Tabla 6.26 a Tabla 6.30 estos se pueden identificar en la columna de eficiencia global marcada en negrita los pozos) por lo que se recomienda reparar o sustituir el conjunto bomba motor. Los 69 pozos restantes presentan eficiencias globales mayores a las recomendadas por la Norma Oficial NOM-001-ENER-2000.

En cuanto al Factor de potencia, sólo se encontraron 4 pozos profundos de los 125 pozos activos con factores de potencia menor al 0.90, valor mínimo recomendado por la CNA (ref. Manual de Agua potable, Guía para la evaluación de la eficiencia en equipos electromecánicos en operación para pozo profundo): Paseos la Concordia, Sacramentos Norte 1, CTU Chichontepec, y Villa Dorada. En estos pozos se recomienda instalar un banco de capacitores para incrementar el Factor de Potencia por lo menos a 0.90.

Del análisis estadístico realizado, se encontraron pozos que operan de manera intermitente, esto determinado mediante el cálculo en porcentaje entre el número total de horas al mes y el número de horas que suministran agua a la red. En la Tabla 6.26 a Tabla 6.30 se muestran en la columna “horas de operación promedio” y se remarca en negritas los pozos que suministran agua con un tiempo menor del 85%; en total se identificaron 42 pozos que representa un 34 % de los pozos activos. Los paros de los pozos se deben a que la JMAS realiza un programa de mantenimiento preventivo de los mismos y un programa de ahorro de energía eléctrica, por lo que se paran en horas de bajo consumo de agua.

También se encontró, del análisis estadístico del mes de enero a diciembre, que existen pozos que no operaron, por ejemplo el pozo Sáuz No. 2 estuvo inactivo dos meses del año. En total son 33 pozos que estuvieron parados uno a más meses. Este paro puede deberse a diferentes factores: en ocasiones a problemas de vandalismo que afecta muy a menudo el suministro de agua a la ciudad, ya que se tienen registros en la JMAS de que se roban el cobre de las instalaciones lo que afecta el equipo de bombeo y por ende el suministro de agua a la ciudad. El departamento Jurídico de la JMAS levanta un acta de averiguación por este tipo de acciones ante el Ministerio Público.



**Tabla 6.26. Características de los equipos de bombeo**

No	Pozo	Gasto Prom. (l/s)	Nivel Din. (m)	Nivel Esta. (m)	Carga Dinámica Total (m)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Potencia Eléctrica de CFE (HP)	Eficiencia global (%)	Efic. de la bomba (%)	Horas de operación promedio (% horas/mes)	Meses fuera de operación en el 2007	Factor de Potencia (adim.)
1	Sáuz N° 1	10.66	115.5	96.7	135.5	2.0	34.3	55	61	87%	3	0.95
2	Sáuz N° 2	12.27	118.8	94.4	150.8	3.2	43.8	56	62	29%	2	0.99
3	Sáuz N° 3	24.51	117.4	62.5	145.4	2.8	84.0	56	62	85%	4	0.99
4	Sáuz N° 4	11.01	129.3	92.1	135.4	0.6	45.6	43	48	92%	3	0.98
5	Sáuz N° 5	24.93	126.0	83.1	128.1	0.2	101.6	41	46	100%	0	0.95
6	Sáuz N° 6	12.40	122.9	99.5	128.9	0.6	39.0	54	60	98%	1	1.00
7	Sáuz N° 7	23.57	123.4	86.1	124.4	0.1	80.1	48	54	100%	0	0.99
8	Sáuz N° 8	20.78	118.9	76.8	128.2	0.9	88.7	40	44	99%	0	0.98
9	Sáuz N° 9	38.78	132.4	122.0	142.7	1.0	127.1	57	64	94%	2	0.99
10	Sáuz N° 10	17.03	112.5	82.9	120.7	0.8	55.6	49	54	90%	4	0.99
11	Sáuz N° 11	46.51	121.9	119.0	132.7	1.1	126.8	64	71	87%	0	0.94
12	Sáuz N° 12	55.26	119.9	87.3	141.3	2.1	153.1	67	75	87%	0	0.97
13	Sáuz N° 16	20.69	76.8	60.9	109.6	3.3	50.7	59	65	93%	0	0.96
14	Sáuz N° 17	25.03	69.8	59.6	109.2	3.9	59.2	61	68	86%	0	0.96
15	Sáuz N° 18	32.24	70.2	51.2	114.3	4.4	92.1	53	58	98%	0	0.96
16	Sáuz N° 24	36.00	83.5	54.0	118.8	3.5	85.9	66	73	79%	2	0.96
17	Sáuz N° 25	36.70	64.2	56.4	108.6	4.4	95.5	55	61	94%	0	0.96
18	Sáuz N° 26	34.50	59.4	51.0	108.8	4.9	89.0	55	62	96%	0	0.96
19	Sáuz N° 27	40.79	53.3	45.7	110.5	5.7	108.7	55	61	96%	0	0.96
20	Sáuz N° 28	42.74	55.9	40.4	118.1	6.2	103.0	65	72	97%	0	0.96
21	Sáuz N° 29	33.81	51.5	36.1	117.6	6.6	85.4	61	68	94%	0	0.96
22	Sáuz N° 30	36.00	52.5	30.3	125.0	7.2	100.7	59	65	94%	0	0.96
23	Sáuz N° 31	38.85	40.0	26.4	114.6	7.5	117.3	50	55	96%	0	0.96
24	Estacion Terrazas 1	63.91	99.0	97.2	145.3	4.6	219.0	56	62	77%	4	0.95
25	Estacion Terrazas 2	107.60	103.3	93.1	136.6	3.3	239.8	81	90	96%	0	0.95
26	Puerta de Chihuahua 1	60.01	126.4	98.6	183.4	5.7	197.2	73	82	99%	0	0.99
27	Puerta de Chihuahua 2	64.02	106.4	97.4	155.4	4.9	190.7	69	76	96%	0	0.96
28	Puerta de Chihuahua 3	78.02	131.3	104.2	170.6	3.9	266.7	66	73	97%	0	0.99
29	Puerta de Chihuahua 4	77.23	121.2	100.4	167.6	4.6	258.5	66	73	96%	0	0.98
30	Puerta de Chihuahua 5	71.60	114.0	103.1	169.2	5.5	233.7	68	76	99%	0	0.98
31	Puerta de Chihuahua 6	70.93	113.5	87.4	174.0	6.1	232.3	70	78	99%	0	0.98



**Tabla 6.27. Características de los equipos de bombeo (continuación)**

No	Pozo	Gasto Prom. (l/s)	Nivel Din. (m)	Nivel Esta. (m)	Carga Dinámica Total (m)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Potencia Eléctrica de CFE (HP)	Eficiencia global (%)	Efic. de la bomba (%)	Horas de operación promedio (% horas/mes)	Meses fuera de operación en el 2007	Factor de Potencia (adim.)
32	Aeropuerto N° 1	16.52	94.9	94.5	115.0	2.0	41.7	60	67	<b>52%</b>	<b>3</b>	0.99
33	Aeropuerto N° 2	21.82	127.7	90.2	159.7	3.2	121.5	<b>38</b>	42	<b>28%</b>	<b>7</b>	0.94
34	Aeropuerto N° 3	20.00	135.8	132.4	163.2	2.7	92.3	<b>47</b>	52	<b>42%</b>	<b>0</b>	0.97
35	Tab. Aldama N° 1	37.34	122.6	108.9	170.8	4.8	144.3	58	65	97%	0	0.97
36	Tab. Aldama N° 2	Fuera	Fuera	131.9	Fuera	Fuera	Fuera	Fuera	Fuera	Fuera	<b>12</b>	Fuera
37	Tab. Aldama N° 3	49.58	135.9	130.0	162.6	2.7	205.5	<b>52</b>	57	97%	0	0.98
38	Tab. Aldama N° 4	17.06	137.3	131.0	165.8	2.8	111.2	<b>33</b>	37	<b>79%</b>	<b>0</b>	0.99
39	Tab. Aldama N° 5	17.63	145.5	101.8	194.5	4.9	113.4	<b>40</b>	44	87%	0	0.99
40	Tab. Aldama N° 6	25.33	125.4	102.2	179.7	5.4	112.8	<b>53</b>	59	94%	0	0.98
41	Tab. Aldama N° 7	21.71	124.4	106.6	172.6	4.8	125.2	<b>39</b>	44	91%	<b>2</b>	0.89
42	Tab. Aldama N° 8	17.05	138.9	112.8	183.7	4.5	85.8	<b>48</b>	53	95%	0	0.98
43	Tab. Aldama N° 9	19.23	121.1	120.2	159.7	3.9	85.1	<b>47</b>	53	98%	0	1.00
44	Tab. N. De Dios N° 1	35.71	138.6	37.1	226.8	8.8	169.7	63	70	97%	0	0.92
45	Tab. N. De Dios N° 2	20.80	106.7	80.4	170.6	6.4	107.4	<b>43</b>	48	97%	0	0.99
46	Tab. N. De Dios N° 3	29.43	82.2	66.3	165.6	8.3	162.2	<b>40</b>	44	97%	0	0.97
47	Tab. N. De Dios N° 4	17.52	134.3	99.5	213.0	7.9	121.6	<b>40</b>	45	98%	0	0.95
48	Tab. N. De Dios N° 6	30.83	120.2	96.0	194.4	7.4	136.5	58	64	98%	0	0.89
49	Tab. N. De Dios N° 7	71.09	71.3	55.6	130.1	5.9	135.1	90	95	98%	0	0.98
50	Robinson 1	34.07	60.9	56.7	81.2	2.0	69.8	52	58	<b>82%</b>	0	0.97
51	Robinson 2	29.47	86.4	73.1	106.6	2.0	58.9	70	78	89%	0	0.97
52	Robinson No. 3	16.49	106.6	104.0	158.4	5.2	84.8	<b>41</b>	45	93%	0	0.98
53	Concordia	32.60	74.7	70.0	95.5	2.1	70.8	58	64	<b>71%</b>	0	0.99
54	Leon	26.93	88.2	65.7	113.7	2.5	126.3	<b>32</b>	35	93%	0	0.98
55	Pozo 300	52.39	126.4	87.5	195.5	6.9	192.0	70	78	97%	0	0.98
56	Laguna 1	21.53	144.7	102.3	185.6	4.1	86.3	61	68	94%	0	0.94
57	Paseos de la concordia	34.21	123.1	91.9	174.6	5.2	135.3	58	65	89%	<b>3</b>	<b>0.88</b>
	Paseos de la Concordia 2	41.00	92.1	94.5	158.1	6.6	172.6	<b>49</b>	55	<b>42%</b>	<b>7</b>	0.94
	Siaz	30.88	145.9	145.5	193.2	4.7	124.0	63	70	<b>79%</b>	0	0.92
	León No. 3	69.67	82.6	78.8	131.9	4.9	202.5	60	66	<b>51%</b>	0	



**Tabla 6.28. Características de los equipos de bombeo (continuación)**

No	Pozo	Gasto Prom. (l/s)	Nivel Din. (m)	Nivel Esta. (m)	Carga Dinámica Total (m)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Potencia Eléctrica de CFE de CFE (HP)	Eficiencia global (%)	Efic. de la bomba (%)	Horas de operación promedio (% horas/mes)	Meses fuera de operación en el 2007	Factor de Potencia (adim.)
58	Panamericana N° 2	Fuera	Fuera	96.3	Fuera	Fuera	Fuera	Fuera	Fuera	Fuera	<b>12</b>	Fuera
59	Panamericana N° 4	45.21	119.2	105.7	166.9	4.8	177.3	56	62	97%	0	0.90
60	Panamericana N° 5	26.05	155.3	128.8	195.9	4.1	153.3	<b>44</b>	49	98%	<b>1</b>	0.99
61	Panamericana N° 6	11.16	112.8	106.4	128.6	1.6	49.2	<b>38</b>	43	92%	<b>4</b>	0.93
62	Panamericana N° 7	56.76	140.2	111.7	206.9	6.7	241.0	64	71	96%	0	1.00
	Panamericana N° 8	30.67	127.1	115.7	141.6	1.5	111.6	<b>51</b>	57	<b>60%</b>	<b>6</b>	0.99
63	Sacramento N° 1	44.78	63.2	49.7	74.4	1.1	94.8	<b>46</b>	51	98%	0	1.00
64	Sacramento N° 2	46.86	92.6	65.0	110.4	1.8	167.1	<b>41</b>	45	<b>75%</b>	0	0.98
65	Sacramento N° 3	25.41	114.3	67.0	127.2	1.3	90.1	<b>47</b>	52	98%	0	0.90
66	Sacramento N° 5	34.60	44.2	44.1	63.5	1.9	89.2	<b>32</b>	36	98%	<b>2</b>	0.97
67	Sac. Nte. N° 1	14.80	96.6	57.0	167.8	7.1	56.8	57	64	<b>74%</b>	<b>5</b>	<b>0.89</b>
68	Sac. Nte. N° 2	36.87	113.0	85.8	164.7	5.2	154.7	<b>52</b>	57	94%	0	1.00
69	Sac. Nte. N° 3	37.91	122.3	105.3	156.3	3.4	155.0	<b>50</b>	56	100%	0	1.00
70	Sac. Nte. N° 4	13.37	153.5	113.4	163.5	1.0	48.1	60	66	98%	0	1.00
71	Sac. Nte. N° 5	22.37	124.8	111.2	167.8	4.3	88.7	56	62	98%	0	1.00
72	Sac. Nte. N° 6	56.59	123.1	96.3	171.6	4.9	230.0	56	62	94%	0	0.99
73	Sac. Nte. N° 7	26.35	113.1	77.3	178.1	6.5	150.7	<b>41</b>	46	99%	0	0.93
74	Sac. Norte N° 8	34.31	103.7	86.0	195.2	9.2	125.8	70	78	99%	0	0.94
75	Sac. Norte N° 9	38.72	114.0	82.6	195.1	8.1	174.8	57	63	97%	0	0.99
76	Rancheria Juarez	18.86	141.6	125.8	182.3	4.1	97.8	<b>46</b>	51	86%	<b>2</b>	0.97
77	Cerro De La Cruz	17.71	20.8	19.5	51.2	3.0	44.1	<b>27</b>	30	99%	0	0.98
78	Urueta	26.91	99.0	17.5	168.0	6.9	99.3	60	67	97%	0	0.94
79	Haciendas Del Valle	31.73	168.5	133.4	202.6	3.4	122.1	69	77	99%	0	1.00
80	Haciendas del Valle II	21.56	134.7	106.2	187.3	5.3	141.2	<b>38</b>	42	95%	<b>4</b>	0.96
81	Palacio Del Sol	23.29	55.6	37.9	93.7	3.8	84.7	<b>34</b>	38	88%	0	1.00
82	La Salle	4.37	118.6	112.9	166.6	4.8	36.3	<b>26</b>	29	<b>77%</b>	0	
83	Quintas Del Sol	57.35	81.0	78.4	122.2	4.1	140.1	66	73	<b>65%</b>	0	1.00
84	Virreyes	51.84	113.1	81.6	192.1	7.9	215.4	61	68	<b>69%</b>	0	0.97
85	Mirador N° 2	13.69	120.8	83.0	134.0	1.3	74.2	<b>33</b>	36	92%	0	0.93
86	San Felipe	12.97	108.3	58.5	118.9	1.1	58.9	<b>34</b>	38	98%	0	0.98



**Tabla 6.29. Características de los equipos de bombeo (continuación)**

No	Pozo	Gasto Prom. (l/s)	Nivel Din. (m)	Nivel Esta. (m)	Carga Dinámica Total (m)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Potencia Eléctrica de CFE de CFE (HP)	Eficiencia global (%)	Efic. de la bomba (%)	Horas de operación promedio (% horas/mes)	Meses fuera de operación en el 2007	Factor de Potencia (adim.)
87	CTU Saucito	16.71	156.1	110.5	244.4	8.8	106.3	<b>51</b>	56	94%	0	0.93
88	CTU Chichontepec	33.56	105.0	93.1	150.0	4.5	104.9	63	70	<b>68%</b>	0	<b>0.84</b>
89	La Cima	13.70	79.5	56.1	112.1	3.3	31.5	64	71	95%	0	
90	Cipres N° 2	36.33	68.5	57.4	103.5	3.5	80.6	61	68	89%	0	0.99
91	Ferrocarril	48.96	71.5	65.7	111.6	4.0	117.7	61	68	88%	0	1.00
92	Centro de Convenciones	66.29	102.7	62.8	141.1	3.8	159.8	77	86	<b>63%</b>	0	1.00
93	Zona Centro N° 7	55.51	73.8	70.7	104.2	3.0	134.9	56	63	99%	0	1.00
94	Zona Centro N° 8	51.07	82.6	69.4	118.6	3.6	121.7	65	73	99%	0	1.00
95	Nombre De Dios # 2	23.93	75.2	63.0	105.2	3.0	87.9	<b>38</b>	42	<b>59%</b>	<b>5</b>	0.96
96	Villa	31.77	75.2	48.5	98.2	2.3	86.6	<b>47</b>	53	89%	0	1.00
97	Revolucion	11.81	75.4	71.5	135.6	6.0	53.8	<b>39</b>	43	99%	0	0.98
98	XX Aniversario I	9.13	119.3	94.0	137.1	1.8	33.1	<b>50</b>	55	93%	0	0.96
99	20 Aniversario #2	12.08	100.6	85.1	122.4	2.2	43.2	<b>45</b>	50	<b>70%</b>	<b>6</b>	0.94
100	Villa Dorada	29.88	117.6	98.4	167.4	5.0	103.2	64	71	<b>70%</b>	0	<b>0.85</b>
101	Villa Dorada 2	17.78	143.0	81.8	178.1	3.5	81.1	<b>51</b>	57	95%	0	0.99
102	Campus Universitario	5.62	118.3	80.5	168.0	5.0	22.7	55	61	<b>50%</b>	0	1.00
103	Picacho 1	22.34	151.6	111.8	185.9	3.4	106.5	<b>51</b>	57	90%	0	0.93
104	Picacho 2	19.26	149.0	111.2	187.7	3.9	83.5	57	63	98%	0	1.00
105	Picacho 3	16.36	111.5	105.0	161.6	5.0	59.9	58	65	<b>83%</b>	0	1.00
106	Arroyos	22.54	124.8	101.9	172.4	4.8	108.6	<b>47</b>	52	<b>36%</b>	<b>1</b>	0.99
107	IMPULSO	16.65	119.1	107.0	142.7	2.4	98.2	<b>32</b>	35	<b>50%</b>	<b>4</b>	0.95
108	Villas del Rey	27.01	113.2	75.2	162.6	4.9	124.0	<b>47</b>	52	<b>50%</b>	<b>3</b>	0.95
109	Riveras Sacramento 1	36.17	103.5	74.1	160.1	5.7	124.1	61	68	97%	0	0.93
110	Los Arcos	19.61	95.6	83.8	116.1	2.1	60.4	<b>50</b>	55	<b>74%</b>	0	
111	ARROYOS NO.- 3	31.57	146.0	108.8	151.8	0.6	105.5	60	66	<b>76%</b>	0	0.97
112	Riveras Sacramento 4	24.78	122.2	115.9	159.5	3.7	82.1	63	70	91%	0	0.98
113	Riveras Sacramento 3	25.75	123.3	85.6	131.8	0.9	75.2	59	66	<b>84%</b>	0	0.98
114	Riveras Sacramento 5	28.21	109.5	87.2	147.9	3.8	88.7	62	69	94%	0	0.98
115	Pozo Izalco	27.50	121.2	101.9	141.5	2.0	106.9	<b>48</b>	53	<b>70%</b>	<b>2</b>	0.98



**Tabla 6.30. Características de los equipos de bombeo (continuación)**

No	Pozo	Gasto Prom. (l/s)	Nivel Din. (m)	Nivel Esta. (m)	Carga Dinámica Total (m)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Potencia Eléctrica de CFE (HP)	Eficiencia global (%)	Efic. de la bomba (%)	Horas de operación promedio (% horas/mes)	Meses fuera de operación en el 2007	Factor de Potencia (adim.)
116	Arroyos 4	35.94	137.8	107.4	187.3	4.9	130.3	68	75	69%	1	
117	Riberas de Sacramento 6	31.21	98.1	90.4	133.4	3.5	87.9	62	69	31%	0	0.95
118	Riveras de Sacramento 2	30.88	113.1	88.4	151.4	3.8	111.4	55	61	66%	0	0.98
119	Picacho 5	25.19	165.5	104.3	193.2	2.8	112.5	57	63	80%	0	0.93
120	Arroyos 2	32.18	131.0	109.6	157.6	2.7	120.5	55	62	76%	0	
121	Cima 2	27.43								64%	2	0.92
122	Cima 3	24.67								43%	0	
123	Pozo CTU Quetzal	20.00								18%	2	
124	IMPULSO 2	44.99								44%	2	
125	Rinconadas de los Nogales	16.31								44%	0	
126	Sierra Azul	29.15	124.6	121.8	144.6	2.0	81.9	68	75	98%	0	0.97
127	Chuviscar	21.23	118.8	113.0	156.8	3.8	101.7	43	48	97%	0	1.00
128	Ojos N° 5	93.97	134.2	127.3	164.2	3.0	256.9	79	88	90%	0	1.00
129	Ojos N° 6	72.45	147.0	126.8	178.0	3.1	289.8	59	65	96%	0	1.00

En cuanto a los pozos que se dejan de fuera de operación, en algunos de ellos no se encontró un registro del porqué están fuera de servicio, sería recomendable que la JMAS lleve a cabo estadísticas en formato digital de la toma de decisiones y el motivo por el cual se deja de operar cada uno de los pozos o si éstos ya se encuentran fuera de servicio de manera definitiva.

### 6.3.11 Campaña de sustitución de equipos de bombeo

La JMAS tiene un programa de reposición de equipos de bombeo, en el que se contempla la sustitución del conjunto bomba motor de aquellos equipos que presentan una baja eficiencia global, en la Tabla 6.31, se muestra la lista de los equipos de bombeo y el motivo por el cual se van a sustituir, con base al análisis de eficiencias que la misma JMAS lleva a cabo mes con mes.

En total serán repuestos 28 equipos de bombeo, 21 de ellos se sustituyen debido a que presentan bajas eficiencias globales, en el resto la JMAS no se especificó el motivo para sustituir dichos equipos. De acuerdo a la nueva política implementada por al JMAS todas las reposiciones se realizan instalando equipos de alta eficiencia, que permite el ahorro de energía eléctrica.



**Tabla 6.31. Equipos de bombeo a sustituir en el 2008 por la JMAS**

No.	Nombre del pozo	Gasto (l/s)	Caudal Específico (l/s/m)	Eficiencia global (%)	Motivo del cambio de equipo	Motor Bomba Sumergible	Saca Arena
1	Sáuz N° 3	24.51	0.4	56	No se especifica		
2	Sáuz N° 5	24.93	0.6	41	Baja Eficiencia		
3	Sáuz N° 7	23.57	0.6	48	Baja Eficiencia		
4	Sáuz N° 8	20.78	0.5	40	Baja Eficiencia		
5	Sáuz N° 11	46.51	15.8	64	No se especifica		
6	Sáuz N° 12	55.26	1.7	67	No se especifica		
7	Tab. Aldama N° 3	49.58	8.5	52	Baja Eficiencia		
8	Tab. Aldama N° 4	17.06	2.7	33	Baja Eficiencia	Si	
9	Tab. Aldama N° 7	21.71	1.2	39	Baja Eficiencia		
10	Tab. Aldama N° 8	17.05	0.7	48	Baja Eficiencia		
11	Tab. Aldama N° 9	19.23	20.2	47	Baja Eficiencia		
12	Tab. N. De Dios N° 2	20.80	0.8	43	Baja Eficiencia	Si	Si
13	Tab. N. De Dios N° 4	17.52	0.5	40	Baja Eficiencia		Si
14	Robinson No. 3	16.49	6.4	41	Baja Eficiencia		
15	Leon	26.93	1.2	32	Baja Eficiencia		
16	Panamericana N° 5	26.05	1.0	44	Baja Eficiencia		
17	Sacramento N° 2	46.86	1.7	41	Baja Eficiencia		
18	Sac. Nte. N° 5	22.37	1.7	56	No se especifica		
19	Sac. Nte. N° 7	26.35	0.7	41	Baja Eficiencia		
20	Cerro De La Cruz	17.71	13.5	27	Baja Eficiencia	Si	Si
21	Urueta	26.91	0.3	60	No se especifica	Si	Si
22	Palacio Del Sol	23.29	1.3	34	Baja Eficiencia		
23	Mirador N° 2	13.69	0.4	33	Baja Eficiencia	Si	Si
24	San Felipe	12.97	0.3	34	Baja Eficiencia	Si	Si
25	Cipres N° 2	36.33	3.3	61	No se especifica	Si	Si
26	Revolucion	11.81	3.0	39	Baja Eficiencia		
27	Chuviscar	21.23	3.7	43	Baja Eficiencia		
28	Ojos N° 6	72.45	3.6	59	No se especifica		

## 6.4 Registros de presión

La campaña de medición de presiones se llevó a cabo del 6 de marzo al 23 de abril del 2008, para esto, se seleccionaron 400 puntos distribuidos de manera uniforme a lo largo de la Ciudad. Para la distribución de los puntos de monitoreo se consideraron diferentes factores como: las superficies de las zonas de influencias de tanques, pozos y rebombes, de manera que se abarcara las diferentes zonas de presión en la red y los diferentes horarios de consumo.

La medición en cada punto seleccionado fue de 24 horas y el registro de la misma se llevó a cabo en intervalos de 15 minutos, para esto se utilizó 30 equipos registradores de presión, como el

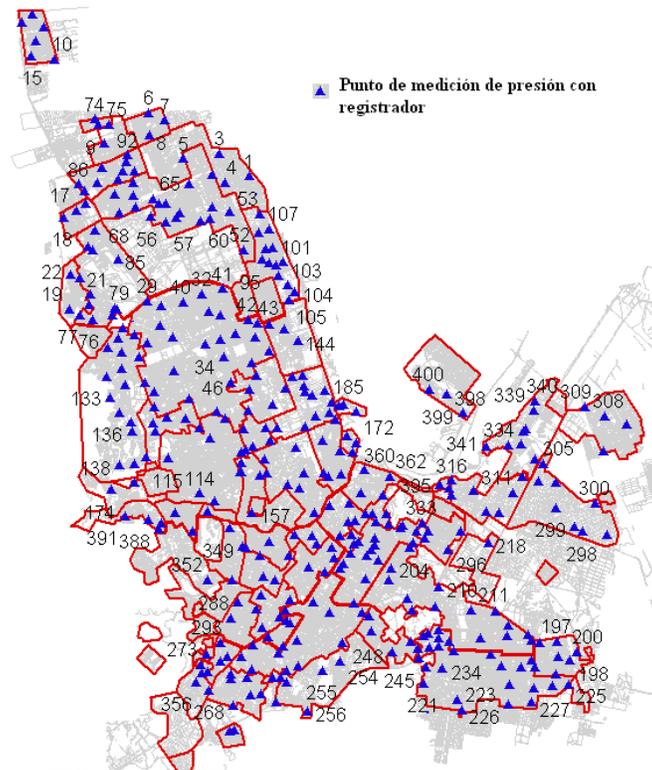


mostrado en la Lámina 6.76. Para agilizar la instalación de los equipos de medición, éstos se instalaban en el registro del medidor domiciliario Lámina 6.77.

Así mismo el planteamiento de logística, fue colocar los equipos en todos los puntos de monitoreo correspondientes a cada zona de influencia, con ello se pretende tener el funcionamiento de cada una de las mismas; realizando el cambio en forma consecutiva a las zonas de influencias aledañas para mostrar un ordenamiento en el muestro, iniciando en el norte de la ciudad. Siendo un total de 45 periodos de medición en forma espacial en zonas de influencia de suministro de agua potable.

Para el análisis e integración del comportamiento de todas las mediciones de las diferentes áreas, se discretizó intervalos temporales de la siguiente manera, asumiendo que conservan la misma distribución temporal en cada una de las áreas durante la campaña total de medición. Por contar con periodos fijos de suministros en las zonas de influencias. Los intervalos de análisis son 5 de la siguiente manera. De 1 a.m. a 5 a.m., de 5 a.m. a 10 a.m., de 10 a.m. a 16 p.m., de 16 p.m. a 20 p.m. y de 20 p.m. a 24 p.m.

Uno de los resultados de estas mediciones es el de detectar las áreas dentro de cada zona de influencia de los tanques que presenten zonas de baja presión. La definición de baja presión es aquella que presenta menos de 10 metros columna de agua (mca) definida por la CNA (ref. Manual de Agua Potable, Datos Básicos).



**Lámina 6.76. Puntos donde se registró la presión**



**Lámina 6.77. Registrador de presión instalado en toma domiciliaria**

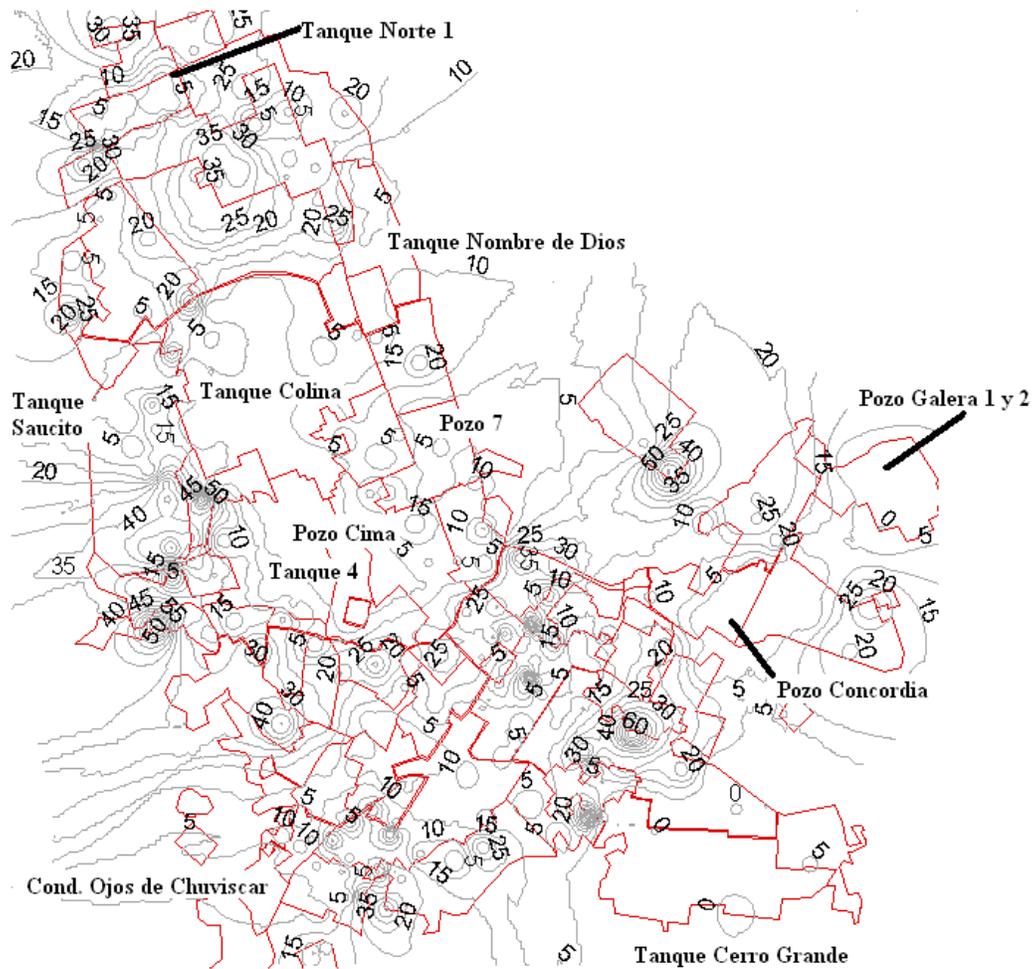
#### 6.4.1 Resultados de las mediciones de presión

Como resultado de la campaña de medición de presiones se obtuvieron las isolíneas de presión, en metros columna de agua para diferentes horarios. La JMAS determina horarios definidos de suministro de agua, así la distribución de presiones encontrada en el periodo de la 1:00 a las 5:00 am es prácticamente el mismo.

En la Lámina 6.78 se muestra la curva de isolíneas de presión para ese horario. Se observa que existen baja presión en zonas pequeñas de algunas áreas de influencia, ejemplo de esto son áreas detectadas en las zonas de influencia de: Tanque Colina, Tanque Cerro Grande, Tanque 1 y 4, Pozo Cima – Ferrocarriles y Convenciones, Pozo 7, Tanque Nombre de Dios, Pozo Concordia, Pozo Galera 1 y 2, Conducción Ojos de Chuviscar y El Sáuz, Pozo Urueta, Tanque Loma Larga, Tanque A y Conducción El Sáuz, Tanque B, Tanque Santa Rita, Tanque Filtros y la parte norte de la zona de influencia del Tanque Saucito.

Las otras zonas de influencia presentan presiones mayores a 10 metros columna de agua. A manera de resumen en total de las 79 de zonas de influencia que existen en la ciudad, sólo 16 presentan bajas presiones en algunas zonas pequeñas.

Las presiones oscilan de 5 a 60 mca en este periodo, las mas bajas se presentan en las 16 zonas antes mencionadas y las mas altas con presiones que van de los 30 a 60 mca en el Tanque Santa Rita, El León, Tanque Chihuahua 2000, la zona sur del Tanque Saucito, Pozos Panamericana, Rebombeco Cumbres y Rebombeco Sacramento, así como en el periodo se tiene mayor variación en la zona de influencia del Tanque Colina, con presiones que van de los 20 a 45 mca.



**Lámina 6.78. Isolíneas de presión en metros columna de agua, de la 1:00 am a las 5:00 am**

El siguiente rango de horario en el horario del suministro a la red es de las 5:00 a las 10:00 am, también como en el rango de horario anterior las presiones en esta horario se mantienen constantes durante dicho periodo.

Las zonas de influencia con baja presión menor a 5 metros columna de agua son: Pozo 7, Rebombio Paso del Norte, Rebombio Cerro Prieto, Pozo Concordia, Tanque A – Conducción El Sáuz y Tanque Esperanza. En este horario se abastece agua desde los tanques y rebombios a la red de distribución, es por esta razón que mejoran bastante las presiones con respecto al horario de la 1:00 am a las 5:00 am, como es el caso del Tanque Colina en el que se tienen presiones de hasta 40 metros columna de agua ( $4 \text{ kg/cm}^2$ ).

Las presiones oscilan de 5 a 50 metros columna de agua; en este periodo las presiones más bajas se presentan en algunas áreas de las zonas de influencia de: Pozo 7, Rebombio Paso del Norte, Tanque A Conducción El Sáuz y Tanque Esperanza.

Las presiones más altas (mayores a 30 metros columna de agua) se presentan en prácticamente todas las zonas de influencia con excepción del Pozo Nombre de Dios de Arriba, que tiene presiones con rangos de entre 20 a 25 mca, Pozos CIMA, FFCC y Convenciones y Tanque 3 y 4, que también tiene presiones de entre los 20 y 25 mca.

Así como en este periodo se tiene mayor variación en la zona de influencia del tanque Colina con presiones que oscilan entre los 20 mca y los 40 mca, y la zona de influencia localizada adelante del Tanque Cerro Grande se localiza una zona de baja presión (menos de 10 mca) aunque también se tiene presiones de 40 mca.

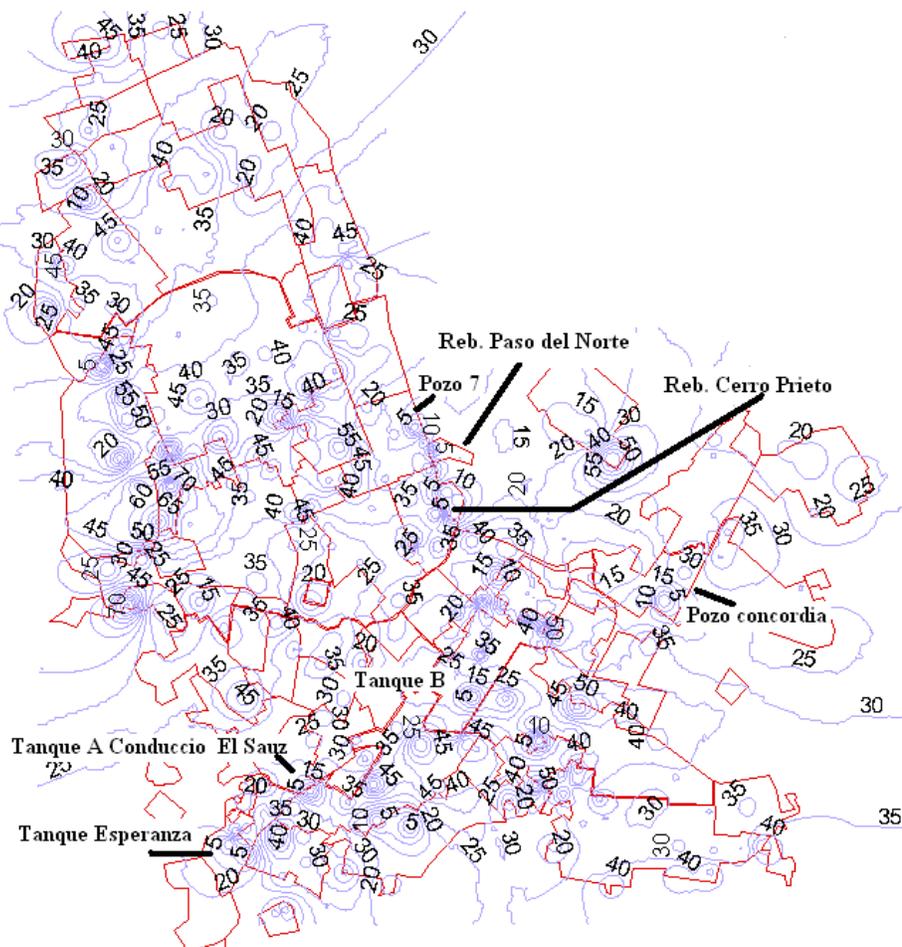


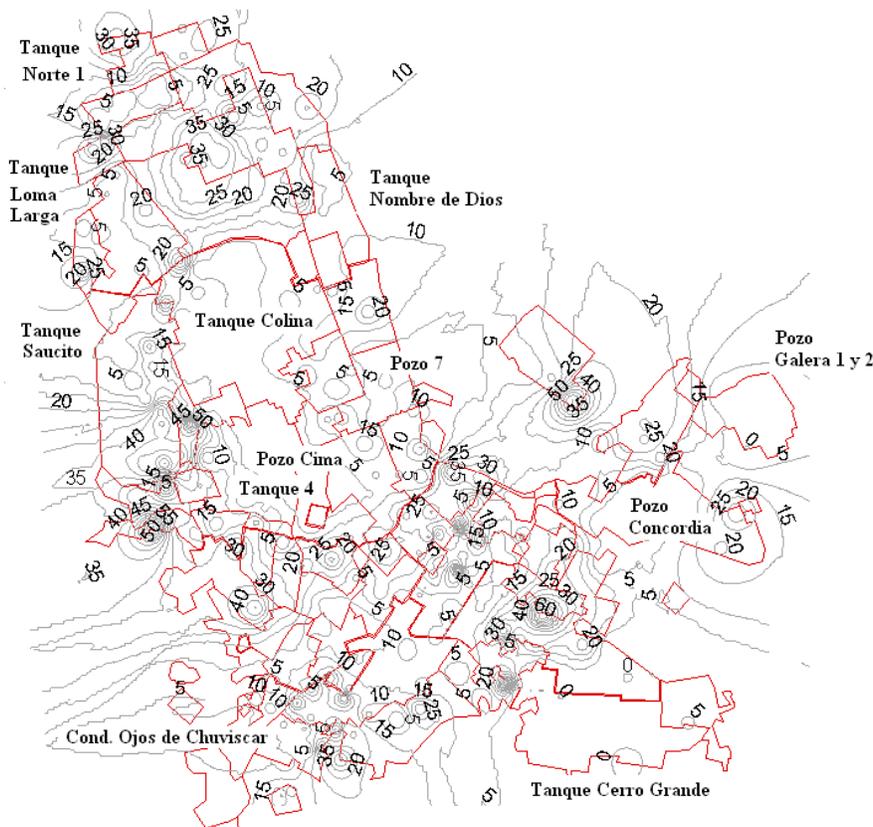
Lámina 6.79. Isolíneas de presión en metros columna de agua, de la 5:00 am a las 10:00 am

De las 10:00 a las 16:00 horas, la JMAS opera otro horario de suministro a la red (ver Lámina 6.80), por lo que las presiones en la misma cambia, en general las presiones mostradas en este horario de suministro es muy parecido a las presiones encontradas en el horario de suministro de las 1:00 a las 5:00 am, ya que se tienen las mismas zonas de baja presión como son: Tanque Colina, Tanque Cerro Grande, Tanque 1 y 4, Pozo Cima – Ferrocarriles y Convenciones, Pozo 7,

Tanque Nombre de Dios, Pozo concordia, Pozo Galera 1 y 2, Conducción Ojos de Chuviscar, Pozo Urueta, Tanque Loma Larga, Tanque A y Conducción El Sáuz, Tanque B, Tanque Filtros y un la parte norte de la zona de influencia del Tanque Saucito.

Las otras zonas de influencia presentan presiones mayores a 10 metros columna de agua. A manera de resumen en total de las 79 de zonas de influencia que existen en la ciudad, sólo 16 presentan bajas presiones en algunas zonas pequeñas.

Las presiones oscilan de 5 a 60 mca en este periodo, las mas bajas se presentan en las 16 zonas antes mencionadas y las mas altas con presiones que van de los 30 a 60 mca en el Tanque Santa Rita, El León, Tanque Chihuahua 2000, la zona sur del Tanque Saucito, Pozos Panamericana, Rebombero Cumbres y Rebombero Sacramento, así como en el periodo se tiene mayor variación en la zona de influencia del Tanque Colina, con presiones que van de los 20 a 45 mca.



**Lámina 6.80. Isolíneas de presión en metros columna de agua, de las 10:00 am a las 16:00 horas**

De las 16:00 a las 20:00 horas; en este periodo se vuelve a suministrar agua a la red desde los tanques y rebombeos, por lo que las condiciones de operación vuelven a cambiar.

Las zonas de influencia con baja presión menor a 5 metros columna de agua son: Pozo 7, Rebombero Paso del Norte, Rebombero Cerro Prieto, Pozo Concordia, Tanque A – Conducción El



Sáuz y Tanque Esperanza. Como se puede observar mejoran bastante las presiones con respecto al horario de la 10:00 am a las 16:00 horas, como es el caso del Tanque Colina en el que se tienen presiones de hasta 40 metros columna de agua ( $4 \text{ kg/cm}^2$ ).

Las presiones oscilan de 5 a 50 metros columna de agua; en este periodo las presiones más bajas se presentan en algunas áreas de las zonas de influencia de: Pozo 7, Rebombeco Paso del Norte, Tanque A Conducción El Sáuz y Tanque Esperanza.

Las presiones más altas (mayores a 30 metros columna de agua) se presentan en prácticamente todas las zonas de influencia con excepción del Pozo Nombre de Dios de Arriba, que tiene presiones con rangos de entre 20 a 25 mca, Pozos CIMA, FFCC y Convenciones y Tanque 3 y 4, que también tiene presiones de entre los 20 y 25 mca.

Así como en este periodo se tiene mayor variación en la zona de influencia del Tanque Colina con presiones que oscilan entre los 20 mca y los 40 mca, y la zona de influencia localizada adelante del Tanque Cerro Grande en el que se tiene presiones que oscilan desde los 5 mca hasta los 40 metros columna de agua.

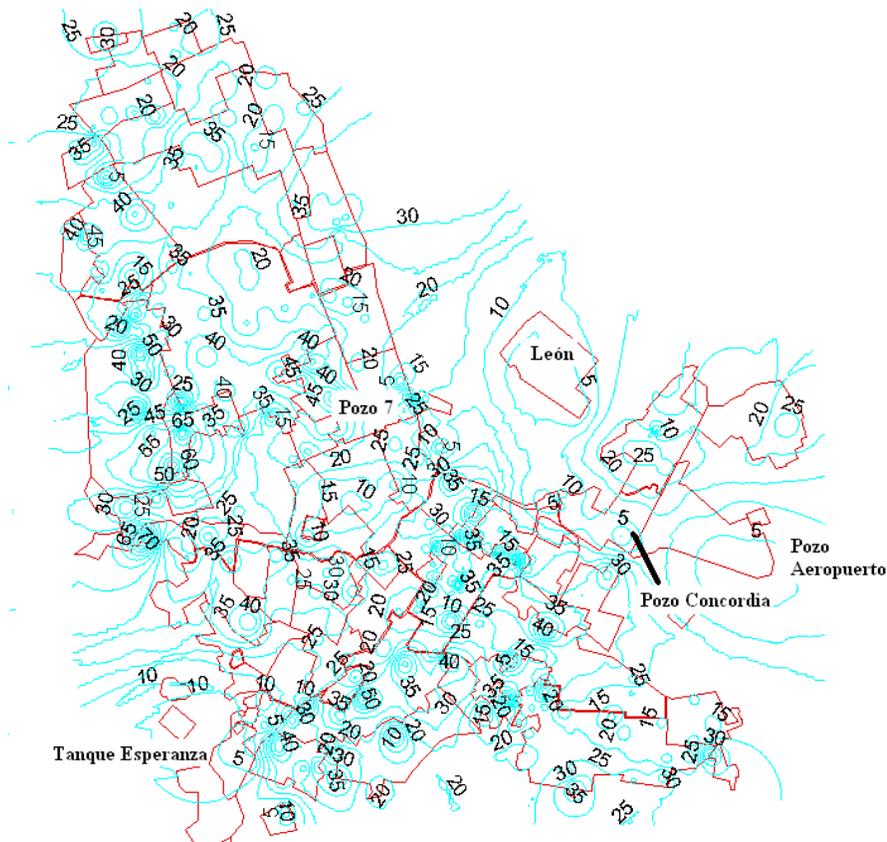


Lámina 6.81. Isolíneas de presión en metros columna de agua, de 16:00 a 20:00 horas

De las 20:00 a las 24:00 horas el suministro de agua desde los tanques se para, por lo que la distribución de presiones en la red cambian nuevamente, generando zonas de baja presión como las mostradas en el horario de suministro de las 10:00 am a las 16:00 horas.



Lámina 6.82. Isolíneas de presión de las 20:00 a las 24:00 horas

Como se puede observar del análisis de presiones en la red, se tiene que por lo general en las horas de suministro las presiones son mayores a 10 metros columna de agua en la mayor parte de la ciudad, sólo en las zonas de influencia del: Pozo 7, Rebombeo Paso del Norte, Rebombeo Cerro Prieto, Pozo Concordia, Tanque A – Conducción El Sáuz y Tanque Esperanza, se tienen presiones iguales o menores a 5 metros columna de agua.

El problema de distribución espacial y temporal de presiones en la ciudad de Chihuahua, se debe a los horarios de tandeo que se tienen en la red de distribución y no a problemas de capacidad en las tuberías de distribución. Por lo que es necesario realizar acciones para mejorar o eliminar los tandeos en la red de agua potable.



#### 6.4.2 Variación de presiones por zona de influencia

En las Tabla 6.32 y Tabla 6.33, se muestran las presiones promedio, mínima y máxima registradas durante la campaña de medición en cada zona de influencia. El programa de medición de presiones sólo incluía 400 puntos en la red, debido a esto sólo se alcanzó a medir en 54 de las 79 zonas de influencia que existen en la ciudad, aunque se logró abarcar la mayor área posible.

Estas mediciones se realizaron del 6 de marzo al 23 de abril del 2008; en cada zona de influencia se instalaron un número determinado de registradores de presión mismos que se presentan en dicha tabla. De acuerdo a la JMAS el suministro de agua a la red tiene diferentes horarios, dependiendo de la zona de influencia de que se trate, en la Lámina 3.29 se muestran los diferentes horarios que se tienen en la ciudad, estos horarios se indican también en las Tablas 5.45 y Tabla 5.46

En las Lámina 6.803 a Lámina 6.809 se muestra la variación de la presión para cada zona de influencia para un periodo de 24 horas, dichas láminas se dividieron de acuerdo al horario de suministro usado por la JMAS. Es importante mencionar que dichas láminas son un promedio de las presiones registradas en cada zona de influencia, de acuerdo al número de puntos medidos en la misma y que se indican en las Tabla 6.32 y Tabla 6.33.

**Tabla 6.32. Presiones promedio, mínima y máxima registradas en las diferentes zonas de influencia de tanques, pozos y rebombes, durante la campaña de medición.**

No.	Zona de influencia	Horario de suministro de acuerdo a la JMAS	Presión promedio (mca)	Presión mínima Promedio (mca)	Presión máxima Promedio (mca)	No de puntos medidos en campo
1	Ribera de Sacramento	24 horas	34.81	26.03	37.02	7.00
2	P. Sacramento Norte 5	24 horas	34.58	17.27	49.47	5.00
3	Pozos Panamericana 4, 5	24 horas	19.52	0.20	21.25	5.00
4	Tanque 2 de Octubre	24 horas	16.71	-0.08	21.18	4.00
5	Conduccion Tabaloapa Ald	24 horas	24.86	19.74	29.69	3.00
6	Pozo Quintas del Sol	24 horas	23.15	9.35	34.33	4.00
7	Campanario 1 y 2	24 horas	23.73	0.00	26.73	3.00
8	Rebombero Sacramento	24 horas	25.10	1.18	31.03	4.00
9	Rebombero Coronel	24 horas	21.66	0.18	28.53	4.00
10	Tanque Coronel	24 horas	23.70	0.10	28.26	5.00
11	Pozo Palacio del Sol	24 horas	23.40	16.03	26.90	4.00
12	Pozo Urueta	24 horas	12.71	5.95	27.20	3.00
13	Pozo Robinson	24 horas	12.58	0.10	17.15	3.00
14	Planta Tratadora Sur	24 horas	21.84	0.10	31.30	4.00
15	Conduccion Tabaloapa Ald	24 horas	23.74	0.07	28.30	7.00



**Tabla 6.33. Presiones promedio, mínima y máxima registradas en las diferentes zonas de influencia de tanques, pozos y rebombes, durante la campaña de medición (continuación).**

No.	Zona de influencia	Horario de suministro de acuerdo a la JMAS	Presión promedio (mca)	Presión mínima Promedio (mca)	Presión máxima Promedio (mca)	No de puntos medidos en campo
16	Pozo Galera 1 y 2	24 horas	19.21	-0.05	28.65	4.00
17	Tanque Filtros	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	15.41	0.03	24.30	4.00
18	Tanque Norte 2	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	24.85	23.20	27.40	8.00
19	T. Chihuahua 2000	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	26.49	23.06	30.82	19.00
20	Pozo Rancherías	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	14.33	2.29	35.06	7.00
21	Tanque Santa Rita	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	19.31	10.22	32.87	15.00
22	Tanque San Jorge	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	20.30	11.92	39.50	5.00
23	Rebombeo Cerro Grande	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	19.81	9.51	27.63	7.00
24	Conduccion Ojos de Chuvi	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	21.41	9.75	32.64	12.00
25	Tanque 2	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	18.91	5.87	31.23	4.00
26	Los Arroyos	5:00 a 20:00	27.75	8.33	37.70	4.00
27	Pozo Concordia	5:00 a 20:00	11.72	0.03	18.11	7.00
28	Pozo Aeropuerto 1, 2 y 3	5:00 a 18:00	16.26	0.03	33.08	8.00
29	Tanque Misiones	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	24.39	4.65	36.68	4.00
30	Tanque Colina	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	16.55	4.68	36.36	25.00
31	T. Loma Larga	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	16.67	4.28	28.43	19.00
32	T. Nombre de Dios	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	17.93	4.00	32.67	13.00
33	T. Panamericana	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	24.11	11.11	43.14	8.00
34	Tanque Saucito	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	31.66	16.81	42.31	16.00
35	P. Nombre de Dios Arriba	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	15.59	12.37	23.90	3.00
36	T. Nombre de Dios 2	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	22.84	6.08	42.28	6.00
37	Conduccion el Sáuz	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	25.57	4.02	50.66	6.00
38	Pozo San Felipe	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	2.80	0.00	11.00	5.00
39	Pozos Cima, Ferroc y Con	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	15.42	4.70	27.34	7.00
40	Pozo 8 Zona Centro	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	19.60	0.07	34.92	6.00
41	Rebombeo Cerro Prieto	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	3.72	-0.63	18.83	5.00
42	Pozo Cipres	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	21.15	5.43	39.12	6.00
43	Pozo 7	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	11.10	1.19	27.60	10.00
44	Rebombeo Paso del Norte	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	5.78	0.00	11.30	3.00
45	Tanque Cerro Grande	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	14.57	0.56	35.11	24.00
46	Pozo Cerro de la Cruz	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	16.69	9.23	26.43	5.00
47	Tanque A	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	16.09	2.06	31.01	16.00
48	Conduccion Ojos y El Sau	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	4.98	0.05	14.70	5.00
49	Tanque B	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	17.22	4.92	31.31	16.00
50	Tanque 1	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	22.69	18.90	25.83	3.00
51	Tanque Esperanza	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	4.74	0.60	8.45	5.00
52	Tanque 7	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	14.31	4.05	31.38	5.00
53	Rebombeo Cumbres	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	33.06	27.10	37.93	5.00
54	Tanque 3 y 4	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	8.45	-0.10	25.83	5.00



Variaciones de presión en las zonas de influencia con suministro las 24 horas

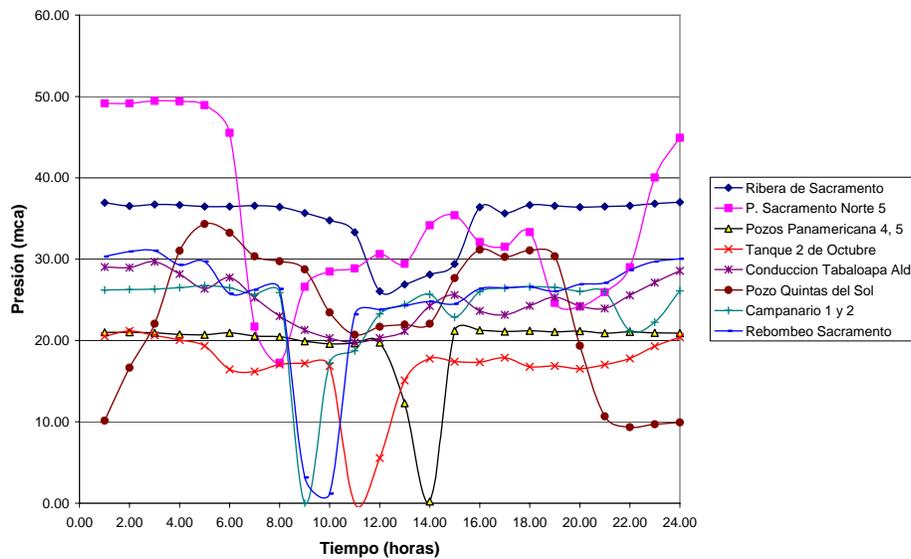


Lámina 6.83. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro las 24 horas

Variaciones de presión en las zonas de influencia con suministro las 24 horas

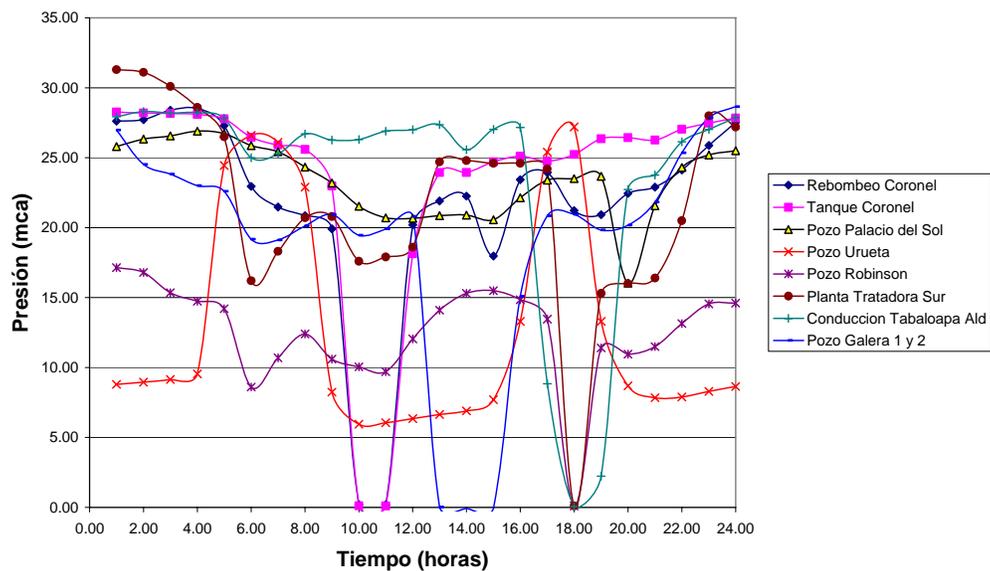
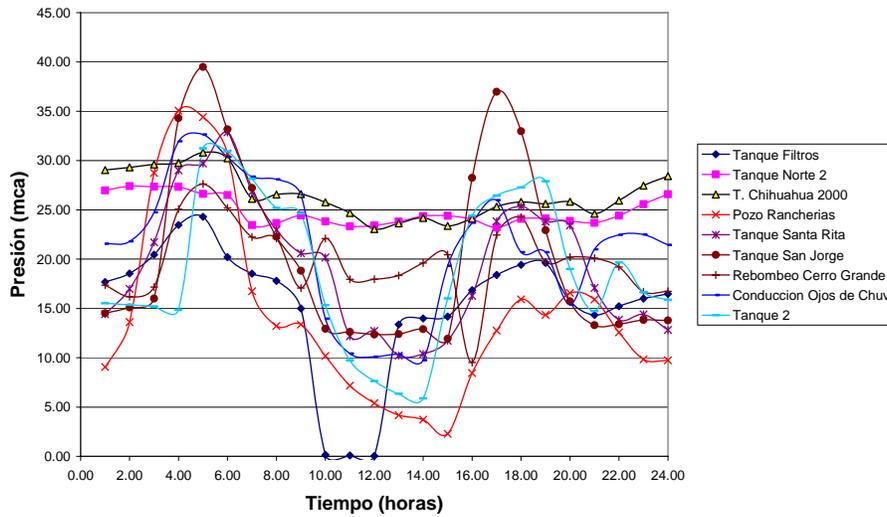


Lámina 6.84. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro las 24 horas

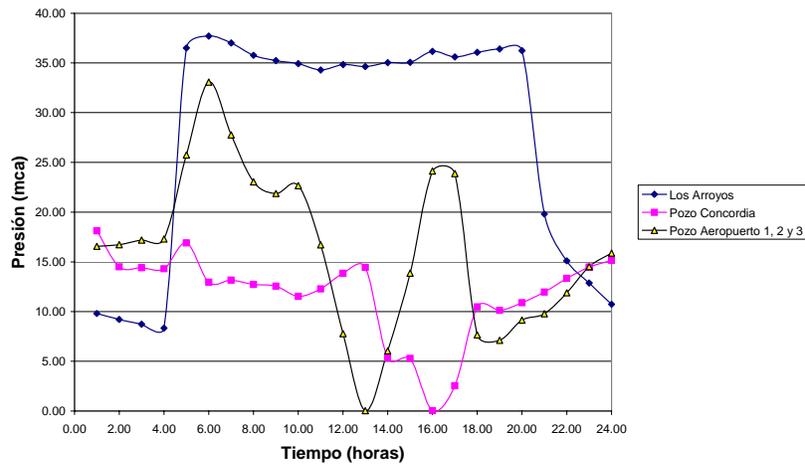


**Variación de la presión en las zonas de influencia con suministro las 24 horas**



**Lámina 6.85. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro las 24 horas**

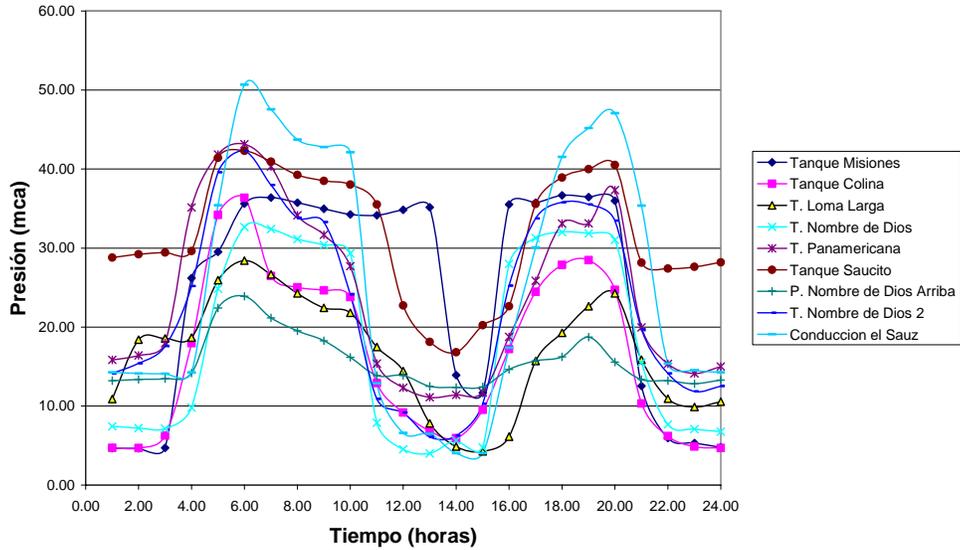
**Variación de la presión en las zonas de influencia con suministro con horario de 5:00 a 20:00 horas**



**Lámina 6.86. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro con horario de 5:00 a 20:00 horas**

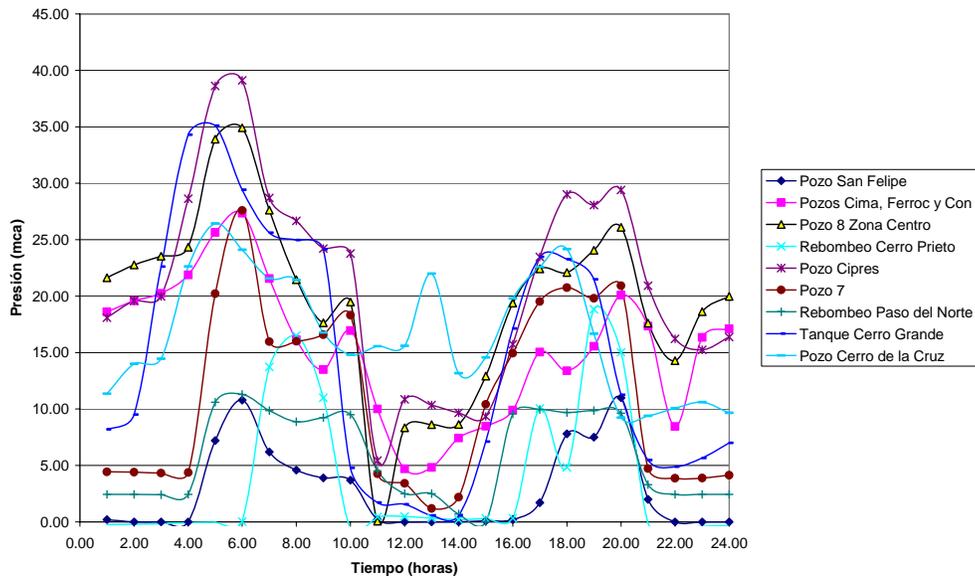


**Variación de la presión en las zonas con suministro con horario de 5:00 a 10:00 y de 16:00 a 20:00 horas**



**Lámina 6.87. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro con horario de 5:00 a 10:00 horas y de 16:00 a 20:00 horas**

**Variación de la presión en las zonas de influencia con suministro con horario de las 5:00 a las 10:00 y de las 16:00 a las 20:00 horas**



**Lámina 6.88. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro con horario de 5:00 a 10:00 horas y de 16:00 a 20:00 horas**

Variación de la presión en las zonas de influencia con suministro con horario de las 5:00 a las 10:00 y de las 16:00 a las 20:00 horas

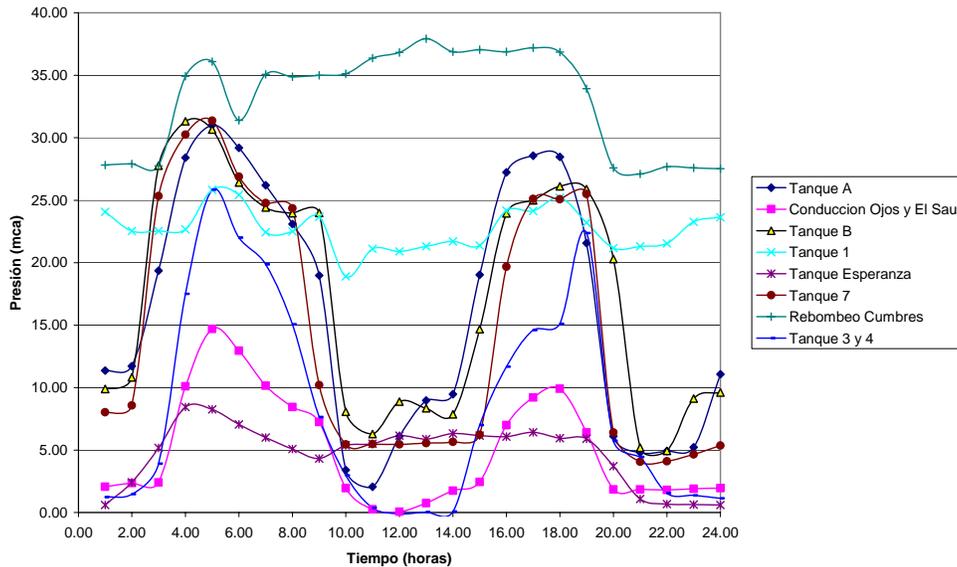


Lámina 6.89. Variación de presión promedio en zonas de influencia con suministro con horario de 5:00 a 10:00 horas y de 16:00 a 20:00 horas

En las Lámina 6.90 la Lámina 6.90, se muestran las variaciones de presión para diferentes zonas de influencia con diferente horario de suministro.

En cuanto a las zonas de influencia que se tiene un suministro las 24 horas (ver Lámina 6.90 la Lámina 6.90) del día destaca la zona de influencia del Pozo sacramento Norte 5, con una presión máxima de 50 mca, aunque la presión cae hasta 17.50 mca a las 8:00 de la mañana, que es el horario de mayor consumo; La zona de influencia de Riberas de Sacramento, en el que se tiene una presión que oscila entre los 37.02 mca a los 26.03 mca.

Existen zonas de influencia como: Campanario 1 y 2, Rebomero Sacramento, Tanque 2 de Octubre y Pozos Panamericana 4 y 5, Rebomero Coronel, Pozos Galera 1 y 2, Conducción Tabalaopa Aldama, Planta Tratadora, Filtros y Pozo Robinson, que en un momento del día registraron presiones de cero mca, es decir por un lapso menor a una hora se suspendió el suministro de agua a dicha zona o se tuvieron problemas con el aparato registrador de presión, ya que en algunos casos los usuarios desconectaban el equipo sin dar aviso al personal de campo que los instaló.

En general en estas zonas de influencia se encontraron buenas presiones que oscilan entre los 20 mca a los 40 mca aproximadamente; sólo en la zona de influencia del pozo Urueta y el Pozo



Robinson se detectaron zonas de baja presión (menor a los 10 mca), en algunas horas del día solamente.

En cuanto a las zonas de influencia en donde el suministro se realiza de las 5:00 a las 20:00 horas (ver Lámina 6.90), se observa que Los Arroyos, sigue el comportamiento del horario de servicio pero en esta ocasión el servicio de agua inicia a las 4:00 am en el que se incrementa la presión hasta los 37.70 mca, y a las 20:00 horas la presión disminuye hasta los 10 mca. En cuanto al pozo Concordia no siguen el patrón en el horario de suministro, de las 13:00 a las 18:00 presenta presiones menores a los 10 mca. El Pozo Aeropuerto 1, 2 y 3, tiene un horario de servicio de las 5:00 a las 18:00 horas, aunque de las 12:00 a las 14:00 horas tiene presiones menores a los 10 mca.

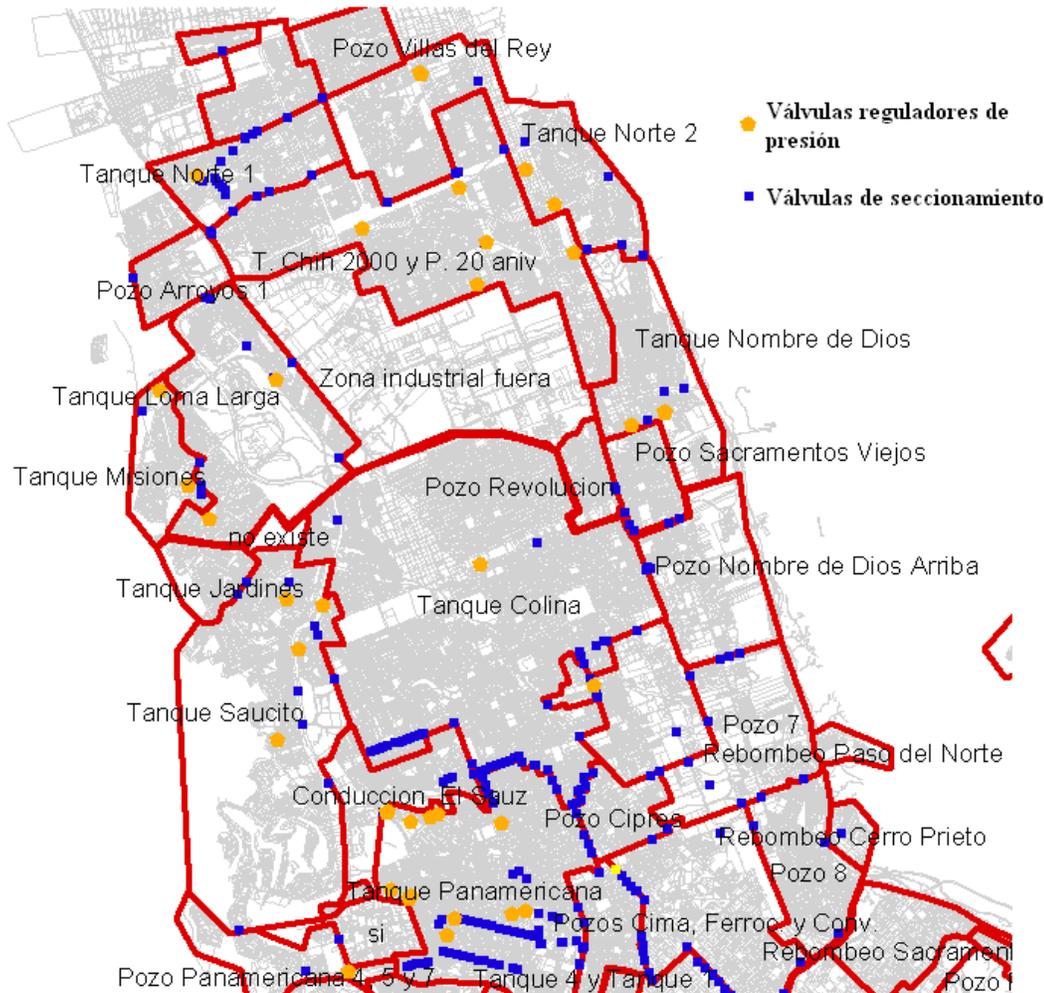
En las Lámina 6.907, Lámina 6.90 y Lámina 6.90, se tiene la variación de presión de las zonas de influencia con suministro de las 5:00 a las 10:00 y de las 16:00 a las 20:00 horas. Se detectaron zonas de baja presión en: Paso del Norte, Pozo San Felipe, Tanque Esperanza, y Conducción Ojos de Chuviscar y El Sáuz, Rebombeo Cerro Prieto.

También se observa que el Pozo Cerro de la Cruz, Tanque 1 y Rebombeo Cumbres, tienen servicio de agua las 24 horas del día, con presiones que oscilan de los 14.0 a los 26.43 mca para el Pozo Cerro de la Cruz, 18.90 a 25.43 mca para el Tanque 1 y de los 27.16 a los 37.93 mca para el Rebombeo Cumbres.

Las demás zonas de influencia presentan buenas presiones que oscilan entre los 13.39 mca (presión mínima registrada en el Pozo CIMA, FFCC y Convenciones) y los 50.66 mca (registrada en la zona de influencia de la Conducción El Sáuz).

## **6.5 Estatus de válvulas de seccionamiento**

Con la finalidad de validar el aislamiento de las zonas de influencia de los tanques, rebombeos o pozos, se recabó información, con el personal del Departamento de Red Hidráulica de la JMAS, sobre la situación de las válvulas de seccionamiento y reguladoras de presión instaladas en la red, en la Lámina 6.90, se muestra la localización de éstas.

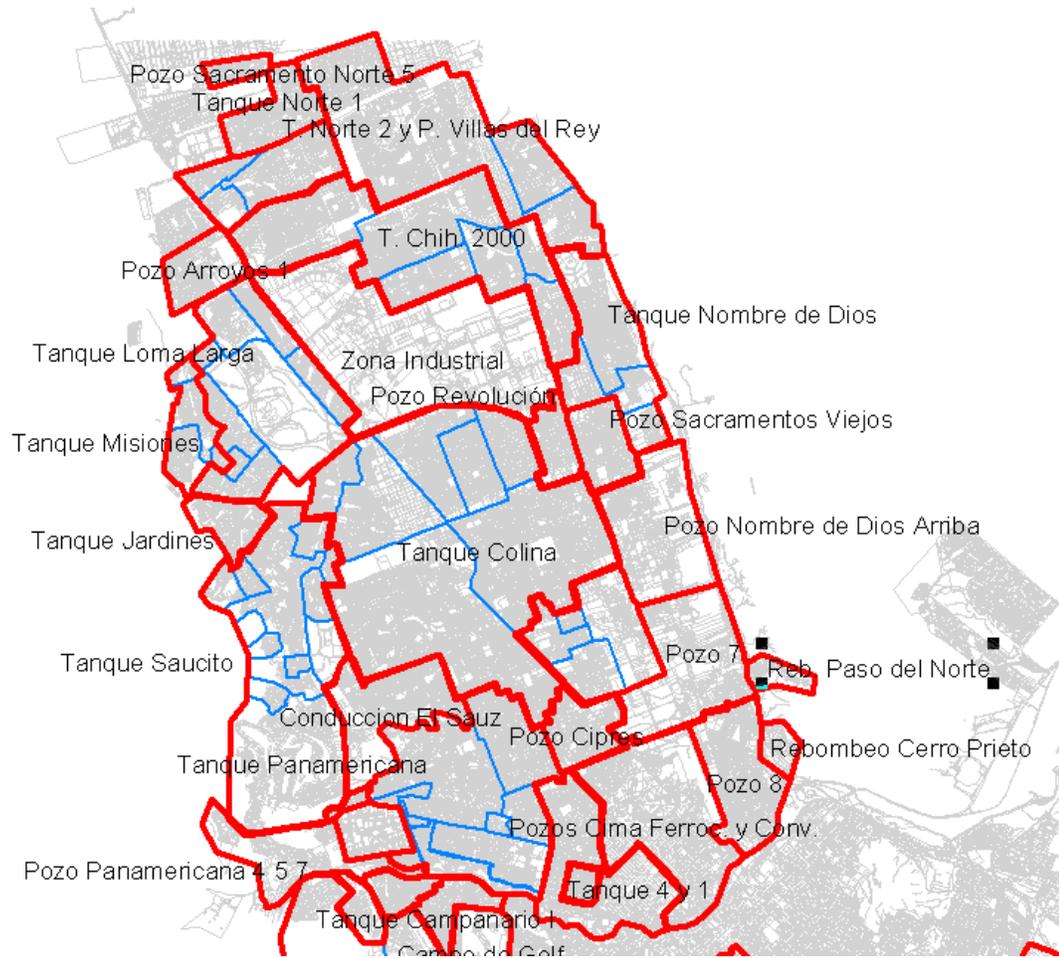


**Lámina 6.90. Localización de las válvulas reductoras de presión y válvulas de seccionamiento**

De esta actividad se actualizaron las áreas de cada zona de influencia y se identificaron dentro de cada zona de influencia las subzonas que pueden implementarse con Distrito Hidrométrico con sólo instalar un macromedidor a la entrada de éstos. Esto permite una sectorización de la red a un costo mínimo, en la Lámina 6.91, se muestran la actualización de las zonas de influencia y las subzonas identificadas, por ejemplo, el Tanque Norte 2 cambió su zona de influencia y se unió al Pozo Villas de Rey y dentro de ésta zona se identificaron 3 subzonas que pueden implementarse como distrito hidrométrico.

En los Tanques Loma Larga, su zona de influencia permaneció igual, aunque se identificaron 10 subzonas en que se puede dividir dicha área de influencia. En el Tanque Chihuahua 2000, se identificaron 6 subzonas, en el Tanque Colina, se tiene 7 subzonas, además de que se actualizó su área de influencia. En el tanque Nombre de Dios, se identificaron 3 subzonas, en el Tanque Saucito se tienen 12 subzonas, y en el Tanque Panamericana se encontraron 7 subzonas en que es posible implementar un distrito hidrométrico.

La recomendación definitiva de zonas y subzonas como distrito hidrométrico será obtenida con la calibración y simulación en el modelo hidráulico.



**Lámina 6.91. Subzonas de influencia que se pueden implementar como Distritos Hidrométricos**

Con esta actividad se llevó a cabo de manera paralela la actualización del catastro de la red de cada sector, en conjunto con personal de red hidráulica se revisaron, en gabinete, los diámetros de las tuberías, el estatus de las válvulas, la condición de operación de las válvulas reguladoras (presión de entrada y salida), los puntos de entrega de agua de las conducciones a la red.

Con esta información se validó el modelo de simulación y se actualizó del catastro, para esto se imprimieron planos de cada una de las zonas de influencia de los tanques con el estatus de las válvulas, que el personal de red hidráulica revisó para detectar algún error u omisión en el mismo.



## 6.6 Recomendaciones y conclusiones

De la campaña de verificación de exactitud de medidores domiciliarios, se encontraron diferentes marcas: Arad, Azteca, Cicasa, Invensys, Kent, Schulemberger y Sensus. En total se verificaron una muestra de 416 medidores de la cual se desprende lo siguiente:

- Los medidores Azteca (51 medidores de los 416 verificados), sólo el 35.29 % de ellos midió dentro del rango de  $\pm 2.0$  % de error, el 49.02 % submidió el volumen con un error promedio de -12.73% y el 15.69% sobremidió el volumen con un error promedio de 2.48 por ciento. Esto se debe a que la mayoría de los medidores Azteca verificados en campo (56.9%) tienen más de 10 años de haberse instalados.
- En cambio los medidores Arad (se verificaron 123 de los 416 medidores), 62.60 % de la muestra cayó dentro del rango de medición correcto de  $\pm 2.0$  %, esto se debe a que la mayoría de los medidores (88.62%) se instaló después del año 2003.
- En cuanto a los medidores Invensys (se seleccionaron 23 de los 416 medidores), el 60.87 % de la muestra midió dentro del rango de  $\pm 2.0$  % de error, éstos medidores también se instalaron después del año 2002.
- De los medidores de marca Schulemberger (se verificaron 28 de los 416 micromedidores), el 57.14 % de los medidores está dentro del rango de error de medición, éstos a pesar de haberse instalado en los años de 1997 y 1998, se encuentran midiendo de manera correcta.
- En cuanto a los medidores Sensus (se seleccionaron 188 de los 416 medidores), el 56.97% de los medidores esta en el rango de error con el  $\pm 2.0$  %. Los micromedidores de esta marca se empezaron a instalar en el año del 2000 en adelante.
- De la marca Cicasa y Kent, la muestra de medidores verificados en campo es muy pequeña por lo que no es posible concluir su estado de funcionamiento.
- También hay que mencionar que la selección del punto de medición de micromedición, en varias ocasiones tuvo que ser reemplazado por el micromedidor aledaño, ya que el micromedidor o punto seleccionado no presentaba condiciones para su medición, algunos de los factores eran: que se encontraban aterrados o no funcionaban, o no había medidor. Por lo que se recomienda. una actualización de catastro de medidores, con la finalidad de identificar aquellos que se encuentran dañados y sustituirlos.

De la verificación en el error de medición se desprende que la edad de instalación en los mismos influye en su exactitud, por lo que se recomienda establecer una campaña de rehabilitación o sustitución de los medidores domiciliarios con más de 10 años de edad.

Es importante mencionar que durante la campaña de medición de caudales en las conducciones, no se detectaron fugas de agua visibles en ninguna de las tuberías o cajas de válvulas.

En cuanto a la medición de caudales en las conducciones. En Puerta de Chihuahua, el caudal registrado con el equipo ultrasónico fue de 416.39 l/s y el gasto registrado en los macromedidores de cada uno de los seis pozos que suministran agua esta conducción fue de 413.38 l/s, por lo que se observa que los macromedidores instalados tienen un buen funcionamiento.



En la conducción Ojos de Chuviscar, el gasto medido con el equipo ultrasónico fue de 209.54 l/s y el registrado en los macromedidores fue de 203.9 l/s, una diferencia de 5.64 l/s que representa un error del 2.76 por ciento, un error pequeño por lo que se considera que los macromedidores instalados tienen un buen funcionamiento.

En la conducción EL Sáuz, no fue posible verificar los macromedidores en las baterías de pozos, ya que no se realizó una medición de caudal en el punto donde confluyen los gastos de los pozos. Aunque se tiene una medición de caudales de los puntos de entrega a la red y llegada a tanques.

En las conducciones Tabalaopa Aldama, Aldama Nombre de Dios, dado la selección de muestra de macromedidores instalados en pozos, no se verificó la exactitud de los macromedidores instalados en los pozos.

Para la medición de caudales en la conducción Panamericana, el gasto promedio fue de 151.00 l/s registrado en el equipo ultrasónico. Este gasto resulta ser mayor que el registrado en los macromedidores de los pozos Panamericana 4 5 y 7, que son los suministran agua a esta conducción, el caudal de los macromedidores es de 127.47 litros por segundo por lo que se recomienda verificar estos macromedidores.

Para la conducción Sacramentos Norte, se encontraron diferencias entre el caudal registrado en los macromedidores de los pozos Sacramento Norte 1 a 4 igual a 108.39 l/s y el caudal registrado con el ultrasónico de 129.93 l/s. El caudal registrado en los macromedidores de los pozos Sacramento Norte 5 a 7 fue de 104.65 l/s y el registrado con el ultrasónico fue de 141.08 l/s, por lo que es recomendable verificar estos macromedidores.

Si bien la JMAS realiza un monitoreo de caudales en las ocho conducciones de la ciudad, no se tiene un registro de los mismos, además tampoco se tiene una medición del gasto que se entrega en las derivaciones de agua hacia la red de distribución, por lo que se recomienda programar una campaña de medición de caudales en estos puntos por lo menos en las épocas de verano e invierno para conocer la distribución de caudales dentro en las conducciones, con lo que se podrán hacer balances de agua más confiables.

En cuanto a las eficiencias electromecánicas en pozos y rebombes se tiene que las eficiencias electromecánicas calculadas en los Pozos: Aeropuerto III, Sáuz 12, Rebombero Coronel y Rebombero El Sáuz, son menores a 55%, por lo que se recomienda su rehabilitación o sustitución. Esto resulta del análisis de la muestra seleccionada para la verificación de macromedidores y cálculo de eficiencia (12 puntos), por lo que se recomienda evaluar los demás macromedidores y equipos de los pozos con la misma metodología.

Del análisis estadístico de las eficiencias globales que lleva a cabo mes con mes el Departamento de Suministro de la JMAS se desprende que: el 45 % (56 pozos) de los pozos presentan eficiencias menores del 55% por lo que se recomienda reparar o sustituir el conjunto bomba motor. De hecho la JMAS ya cuenta con un programa de sustitución de 28 equipos de bombeo mismos que se llevarán a cabo en el año 2008.



Los 69 pozos restantes presentan eficiencias globales mayores a las recomendadas por la Norma de la Secretaría de la Energía NOM-001-ENER-2000.

En cuanto al Factor de potencia, sólo se encontraron 4 pozos profundos de los 125 pozos activos con factores de potencia menor al 0.90, estos son: Paseos la Concordia, Sacramentos Norte 1, CTU Chichontepec, y Villa Dorada. Se recomienda instalar un banco de capacitores para corregir el Factor de Potencia por lo menos a 0.90.

También se encontró, del análisis estadístico del mes de enero a diciembre, que existen pozos que no operaron, por ejemplo el pozo Sáuz No. 2 no operó dos de los doce meses analizados. En total son 33 pozos que estuvieron parados uno a más meses. Este paro se debe en ocasiones a problemas de vandalismo para robarse el cobre, esto afecta muy a menudo el suministro de agua a la ciudad. Se recomienda implementar un programa de supervisión y protección de la infraestructura hidráulica de la ciudad. O en su defecto hacer un formato de observaciones en cuanto a los paros para evaluar correctamente el funcionamiento de los pozos, si es por ahorro de energía u otro factor.

De la medición de presiones en 400 puntos de la red de distribución, se distinguen dos horarios de tandeo de agua: el primero de las 0:00 a las 5:00 de la mañana y el segundo de las 10:00 a las 16:00 horas (El departamento de Red Hidráulica tiene identificadas en un plano las zonas con los horarios de servicio antes descrito), el segundo de 5:00 a 20:00 horas y el tercero se suministra las 24 horas.

Se distinguieron 16 zonas de influencia que tienen este horario de suministro agua como: Tanque Colina, Tanque Cerro Grande, Tanque 1 y 4, Pozo Cima – Ferrocarriles y Convenciones, Pozo 7, Tanque Nombre de Dios, Pozo concordia, Pozo Galera 1 y 2, Conducción Ojos de Chuiscar, Pozo Urueta, Tanque Loma Larga, Tanque A y Conducción El Sáuz, Tanque B, Tanque Santa Rita, Tanque Filtros y la parte norte de la zona de influencia del Tanque Saucito.

En las otras zonas de influencia restantes se tienen otros horarios de suministro (de las 5:00 a las 20:00 horas); en general se observa que en estas zonas de influencia de la ciudad no se tiene problemas por bajas presiones, sólo en las partes altas de las zonas de influencia del Pozo 7, Rebombéo Paso del Norte, Rebombéo Cerro Prieto, Pozo Concordia, Tanque A-Conducción El Sáuz y Tanque Esperanza, registran presiones menores a 5 metros columna de agua.

Del análisis del estatus de válvulas de seccionamiento, esta actividad permitió actualizar, por un lado el catastro de las válvulas de seccionamiento, reductoras de presión, On-Off y por otro actualizar y reconfigurar las zonas de influencia de los Tanques y Pozos, además de identificar los Distritos hidrométricos que se pueden implementar de manera directa y a un costo mínimo por parte de la JMÁS.

Así por ejemplo del Tanque Panamericana se identificaron 7 subzonas que pueden ser implementadas como distritos hidrométricos, En el Tanque Colina se tiene 7 Subzonas que se



pueden implementar también a un costo mínimo (sólo se debe instalar un macromedidor en la entrada de estas subzonas) como distrito hidrométrico, además en esta zona se actualizó su área de influencia.

La zona de influencia del Tanque Norte 2 también se actualizó de acuerdo a la operación de válvulas de seccionamiento y reguladoras de presión se identificaron 3 subzonas a ser implementadas como distritos hidrométricos a un costo mínimo.

En cuanto a la actualización del catastro de la red, se revisaron, en gabinete, todas las zonas de influencia de tanques, pozos y rebombeos, en el que se indicó, el estatus de las válvulas, los límites de los sectores, la condición de operación de las válvulas reguladoras y los diámetros de las tuberías. La revisión en gabinete del catastro fue el 100% de la red de distribución.

Aunque la gente de Red Hidráulica de la JMAS, reconoce que existen zonas de la ciudad, como: el Tanque A, el Tanque B, Tanque Filtros, Rebombeo y Tanque Coronel y Tanque 2 de Octubre, en donde se tiene incertidumbre de la información contenida en los planos, estas zonas representa el 8.3% de la longitud total de la red, por lo que se recomienda, realizar una actualización del catastro en dichas zonas complementadas con actividades de campo para corroborar o actualizar la información contenida en los planos.



## 7. BALANCE VOLUMÉTRICO

El balance volumétrico de agua (Auditoría del agua) es un procedimiento establecido para demostrar el grado de eficiencia de operación en la distribución del agua en la red, es decir, se hace la comparación entre el volumen suministrado a la misma, contra los volúmenes cuantificados de: consumo de los usuarios tanto de servicio medido como de cuota fija, cuánto se pierde por errores de medición y cuánto es el volumen de agua debido a las pérdidas potenciales.

El balance volumétrico se realiza con base en una serie de tareas que a continuación se mencionan (Ref. Recuperación Integral de Pérdidas de Agua Potable, Editado por la CNA).

Antes de comenzar con las tareas de la auditoría. Se definirá el periodo en que se realizará dicha balance y las unidades en que se trabajará.

**El periodo de estimación del balance volumétrico será de un año que abarque de enero a diciembre del 2007 y la unidad de trabajo será en metros cúbicos.**

Nota aclaratoria: Para la realización del balance de agua se consideran volumen promedio mensual producido mostrado en la Tabla 7.1 que es el mismo al mostrado en la Tabla 4.1. Este volumen es diferente al mostrado en la Tabla 4.2, dado que el gasto en esta tabla es la capacidad máxima de operación en pozos, este caudal se registró para el mes de julio. Y en las Tabla 7.1 y Tabla 4.1 son el caudal promedio mensual real registrado en los macro medidores de los pozos.

El caudal máximo extraído y registrado en la Tabla 4.2 varía mes con mes debido a diferentes factores como: reparación de equipos de bombeo que sufren algún acto de vandalismos, paro de equipos para mantenimiento de la infraestructura, disminución del consumo en los meses de invierno, esto provoca que en algunos meses de paren algunos pozos. Debido a esto en el balance de agua se toman los valores promedios mensuales mismos que se detallan en las Tabla 7.1 y Tabla 4.1.

### 7.1 Tarea 1. Suministro de agua potable

Todas las fuentes de suministro a la ciudad cuentan con macromedición, el Departamento de Suministro de la JMAS realiza la medición continua del volumen de agua suministrado a la ciudad, además de dar mantenimiento y verificación continua de los medidores instalados.

En la Tabla 7.1, se muestra el volumen producido en cada uno de los acuíferos de los que se extrae el agua por medio de 125 pozos profundos (pozos en activo) además del volumen extraído de la fuente superficial.



En total durante el año 2007 la JMAS produjo 109,883,274 metros cúbicos, este volumen se obtiene de los registros en los macromedidores.

Una de las tareas del estudio fue determinar los errores de macromedición, para esto se verificaron los macromedidores instalados en la batería de pozos Puerta de Chihuahua y Ojos de Chuviscar. En la primera los macromedidores registraron un caudal de 413.38 l/s y el equipo ultrasónico portátil registro 416.39 l/s una diferencia del 0.73 %, y en la segunda, los macromedidores registraron un caudal de 203.9 l/s y el equipo ultrasónico portátil registró 209.54 l/s lo que da una diferencia del 2.77 por ciento, con lo que se corrobora el buen funcionamiento de los macromedidores instalados en las fuentes de suministro.

Como recomendación se deberían verificar los macromedidores instalados en las diferentes baterías de pozos como: El Sáuz Etapa I y II, Tabaloapa Aldama, Aldama Nombre de Dios, Sacramentos Viejos y Sacramentos Norte, Así como los pozos ubicados en diferentes puntos de la ciudad.

**Tabla 7.1. Volumen de agua producido en Chihuahua**

Mes	Acuífero Sáuz Encinillas (m <sup>3</sup> )	Acuífero Tabaloapa Aldama (m <sup>3</sup> )	Acuífero Chihuahua Sacramento (m <sup>3</sup> )	Acuífero Ojos de Chuviscar (m <sup>3</sup> )	Fuentes Superficiales Planta Potabilizadora (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )
Enero	2,166,555	2,752,741	3,505,363	533,915	0	8,958,574
Febrero	1,922,297	2,424,106	3,140,265	498,534	0	7,985,202
Marzo	2,044,395	2,825,581	3,598,531	526,724	0	8,995,231
Abril	2,052,512	2,799,269	3,601,099	525,615	0	8,978,495
Mayo	2,095,730	2,828,018	3,654,559	525,303	78,700	9,182,309
Junio	1,947,595	2,678,921	3,811,392	575,298	151,200	9,164,405
Julio	2,003,084	2,932,677	4,746,658	570,715	144,200	10,397,334
Agosto	1,759,988	2,871,745	4,066,857	534,578	0	9,233,169
Septiembre	1,731,402	2,781,847	4,214,944	512,205	0	9,240,398
Octubre	1,706,379	2,854,759	4,380,609	537,216	0	9,478,962
Noviembre	1,727,088	2,658,189	4,115,196	530,418	0	9,030,891
Diciembre	1,724,876	2,743,295	4,212,174	557,960	0	9,238,305
Total	22,881,900	33,151,147	47,047,646	6,428,481	374,100	109,883,274

En cuanto al cambio en reservas en los tanques de almacenamiento, en la ciudad de Chihuahua se cuenta con una capacidad de regulación del volumen de 141,190 m<sup>3</sup>, producto de los tanques elevados y superficiales localizados en diversos puntos de la ciudad (ver Tabla 4.13). Para fines del balance volumétrico se considera que se tiene un cambio promedio anual en el volumen de reservas del 50%, lo que representa un volumen almacenado de 70,595 metros cúbicos, mismos que serán tomados en cuenta en el balance de agua.



## 7.2 Tarea 2. Estimación de consumos medidos autorizados

### 7.2.1 Usuarios con servicio medido

El periodo de enero a diciembre del 2007, el volumen consumido total (ver Tabla 7.2) en fue de 48,068,535 metros cúbicos.

**Tabla 7.2. Volumen consumido por los usuarios que cuenta con servicio medido (m<sup>3</sup>)**

Tipo de usuario	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
Comercial	295,204	307,829	282,530	309,489	348,352	371,246	394,584	382,720	363,094	368,658	352,479	320,927
Domestico	3,060,701	2,866,129	2,885,159	2,993,410	3,277,950	3,538,265	3,467,741	3,471,550	3,505,512	3,311,477	3,254,796	3,127,224
Público	124,946	139,722	154,139	151,682	188,496	177,397	184,532	223,830	174,178	178,081	166,971	163,198
Industrial	196,254	248,188	230,767	246,829	267,327	292,125	283,475	322,772	291,049	280,558	250,577	274,416
Sub total	3,677,105	3,561,868	3,552,595	3,701,410	4,082,125	4,379,033	4,330,332	4,400,872	4,333,833	4,138,774	4,024,823	3,885,765

### 7.2.2 Correcciones por errores en al medición

Durante la campaña de verificación de medidores, se encontraron las marcas de medidores, Arad, Azteca, Cicasa, Invensys, Kent, Schulemberger y Sensus (ver capítulo 5), en la campaña de verificación de medidores domiciliarios se encontraron los errores de sobre medición y sub medición mostrados en la Tabla 6.2. Con base en estos valores se calcularon los errores de sobre y sub medición de los micromedidores domiciliarios utilizando las ecuaciones siguientes:

$$Vol_{.sobre} = \% Medidores * V_{medido} * \% Medidores_{sobremidem} * \% Error_{sobremedicion} \quad (26)$$

$$Vol_{.sub} = \% Medidores * V_{medido} * \% Medidores_{sub} * \% Error_{submedicion} \quad (27)$$

En la Tabla 7.3 se muestra el cálculo del volumen de agua debido a los errores de sobremedición en promedio se tiene un volumen sobremedido de 543,553 m<sup>3</sup> debido a los errores en los medidores domiciliarios. En la Tabla 7.4 se muestran los errores de sub medición que arrojan un volumen de 688,728 metros cúbicos.

### 7.2.3 Consumo medido corregido por los errores de medición

Si se suman los volúmenes de sobremedición menos los volúmenes de submedición se tiene el error total en la medición, que es igual a 145,175 m<sup>3</sup>/mes, el volumen de agua que se sub mide es mayor que el volumen de agua que se sobre mide por lo tanto este valor se debe de sumar al volumen medido para corregirlo.



Por lo tanto el volumen medido anualmente corregido por los errores de medición es de 48,213,713 metros cúbicos.

**Tabla 7.3. Errores de sobre medición en los medidores domiciliarios**

Marca de Medidor	% de medidores encontrados en campo	Volumen Medido (m3/mes)	% de medidores que sobre mide el volumen	Error de Sobre medición (%)	Volumen sobre medidor (m3/mes)
Arad	0.30	48,068,535	0.31	0.04	195,887
Azteca	0.12	48,068,535	0.20	0.04	43,777
Cicasa	0.00	48,068,535	1.00	0.02	5,399
Invensys	0.06	48,068,535	0.13	0.04	15,067
Kent	0.00	48,068,535	1.00	0.04	4,130
Shulemberger	0.07	48,068,535	0.18	0.04	20,615
Sensus	0.45	48,068,535	0.26	0.05	258,678
Total		48,068,535			543,553

**Tabla 7.4. Errores de sub medición en los medidores domiciliarios**

Marca de Medidor	% de medidores encontrados en campo	Volumen Medido (m3/mes)	% de medidores que Submiden el volumen	Error de sub medición (%)	Volumen Sub medido (m3/mes)
Arad	0.2957	48,068,535	0.0813	0.0313	36,170
Azteca	0.1226	48,068,535	0.5294	0.0992	309,490
Cicasa	0.0048	48,068,535			0
Invensys	0.0553	48,068,535	0.087	0.0267	6,175
Kent	0.0024	48,068,535			0
Shulemberger	0.0673	48,068,535	0.3929	0.0631	80,202
Sensus	0.4519	48,068,535	0.234	0.0505	256,691
Total		48,068,535			688,728

### 7.3 Tarea 3. Estimación de usos no medidos autorizados

#### 7.3.1 Usos del agua no medida autorizada

Durante la medición de caudal en las conducciones, se detectaron derivaciones de agua hacia Ejidos o pequeños poblados. En la conducción de los Ojos de Chuviscar entre la batería de pozos y el puente colgante se tiene una diferencia de caudal; de los 209.54 l/s medidos con el equipo ultrasónico a la salida de la batería de pozos.



Antes del puente colgante, se encuentra la comunidad Ejidal de los Ojos de Chuviscar, en donde se registró un caudal de 190.36 l/s, es decir, desde la batería de pozos hasta el puente colgante se tiene una diferencia de 19.18 l/s o un volumen de agua de 596,575 (m<sup>3</sup>), este volumen de agua se entrega a la comunidad ejidal como un pago por el derecho de explotación de agua en su ejido.

En los pozos de Estación Terrazas antes de llegar a la caja de cambio de régimen se entrega un gasto al poblado del mismo nombre, este caudal no se ha estimado aún pero para fines de la auditoría del agua se consideró el 10% del volumen de agua producido, lo que da un valor de 455,543 metros cúbicos.

En la conducción El Sáuz, de los pozos El Sáuz 31 a El Sáuz 24, se tienen extracciones para suministrar agua a bebederos para ganado vacuno, en total se detectaron 17 tomas de una pulgada de diámetros, localizadas en las válvulas expulsoras de aire. En total el volumen consumido por estas 17 tomas se estimó en 211,507 metros cúbicos

En total de los usos de agua no medida autorizada se tiene un volumen de 1,263,616 metros cúbicos.

### 7.3.2 Usuarios de cuota fija

En la ciudad de Chihuahua para el mes de abril del 2007 existían un total de 11,497 usuarios de cuota fija, en la Tabla 7.5, se muestra el volumen de agua consumido por éstos, que es un total de 16,223,613 metros cúbicos.

**Tabla 7.5. Volumen de agua consumido por los usuarios de cuota fija (m<sup>3</sup>)**

Tipo de usuario	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
Comercial	139,149	139,120	140,241	133,335	124,384	117,204	111,961	112,983	121,493	118,001	113,176	121,778
Domestico	1,185,195	1,181,540	1,248,841	1,125,360	1,102,919	1,098,559	1,092,770	1,137,389	1,159,631	1,140,911	1,171,851	1,142,832
Público	61,097	57,859	56,253	59,046	49,733	51,782	54,706	46,909	43,629	65,123	67,049	64,824
Industrial	45,868	44,463	21,767	16,016	14,942	14,181	19,278	14,622	14,763	15,469	34,905	18,706
Sub total	1,431,309	1,422,982	1,467,102	1,333,757	1,291,978	1,281,726	1,278,715	1,311,903	1,339,516	1,339,504	1,386,981	1,348,140

### 7.3.3 Uso de agua no medida autorizada

La JMÁS por medio de un fideicomiso entrega agua a la Colonia Ávalos, misma que no se factura ni se cobre a los usuarios, como una medida de control se les instaló un macromedidor en la entrada de la colonia. De los meses de de noviembre del 2007 a febrero del 2008 se registro un consumo de 38,184 m<sup>3</sup>, para calcular el consumo de un año este valor se ponderó a 12 meses lo que da un consumo anual de 152,736 metros cúbicos.

### 7.3.4 Entrega de agua en pipas



En la Tabla 7.6, se muestra el volumen mensual entregado en pipas, en total en el año 2007 se suministró un volumen de 205,193 metros cúbicos.

**Tabla 7.6. Volumen de agua suministrado en pipas (m<sup>3</sup>)**

Meses	Volumen suministrado (m3)
Enero	12,662
Febrero	13,922
Marzo	15,626
Abril	18,590
Mayo	17,920
Junio	18,420
Julio	18,370
Agosto	18,370
Septiembre	16,970
Octubre	19,560
Noviembre	17,175
Diciembre	17,608
Total	205,193

#### 7.3.5 Consumo total considerando servicio medido y usos no medidos autorizados

El consumo total considerando el servicio medido más el consumo de usos no medidos autorizados es igual a 64,805,252 (m<sup>3</sup>), lo que representa el **59.71 %** del volumen total suministrado a la red de agua potable.

#### 7.4 Tarea 4. Estimación de pérdidas totales en el sistema.

Las pérdidas totales en el sistema se calculan restando del volumen total suministrado a la red el consumo total, lo que es igual a:

$$Pérdidas_{Totales} = Volumen_{su\ min\ istrado} - Consumo_{total}$$

$$Pérdidas_{Totales} = 108'534,945 - 64'805,252 = 43'729,693\ m^3$$

Las pérdidas totales en el sistema de agua potable ascienden a **43'729,693 m3/año** lo que representa un **40.29%** del volumen suministrado.



## 7.5 Tarea 5. Estimación de pérdidas identificadas y eliminadas

En la Tabla 7.7, se hace una estimación del volumen de pérdidas de agua recuperada, producto de reparar las fugas reportadas al departamento CIS de la JMAS.

Entre los meses de enero a diciembre se tienen registradas en el CIS 4,013 fugas en la red de distribución (clave A1); si se considera un gasto promedio de fuga de 170 ml/s (Bourguett et al, Recuperación Integral de Pérdidas de Agua), el volumen fugado es de 589,429 metros cúbicos.

En tomas domiciliarias se reportaron de enero a diciembre un total de 4,905 fugas, si se considera un gasto de fuga de 35 ml/s, se tiene un volumen de fuga de 296,654 metros cúbicos.

En total el volumen recuperado es de 927,810 m<sup>3</sup>/año, del total de fugas reportadas y reparadas por la JMAS

**Tabla 7.7. Volumen de pérdida por fugas recuperada por el organismo operador**

Tipo de Falla	Clave	Total de fugas	Gasto de fuga (ml/s)	Gasto de fuga (l/s)	Volumen de fuga (m3/hora)	Tiempo de Permanencia de la fuga (horas)	Volumen de la fuga (m3/mes)
Fuga en la red	A1	4,013	170	682.21	2,455.96	240	589,429
Fuga en Medidor	A2	885	4	3.54	12.74	360	4,588
Fuga en la toma	A3	4,905	35	171.68	618.03	480	296,654
Fuga en caja de válvulas	A4	199	72	14.33	51.58	720	37,138
Fuga en casa sola	A5	115					
Detectar Fuga y/o línea gral.	A6	802					
Falta agua sector	B1	272					
Falta agua domicilio	B2	1,385					
Baja presión	B3	39					
Aire en línea	B5	18					
Total		12,633					927,810

### 7.5.1 Conexiones no autorizadas regularizadas

En el año 2007, se regularizaron 2,619, éstos contaban con servicio de agua potable (ver Tabla 7.8), pero no se tenían datos de alta en el sistema comercial de la JMAS, el volumen recuperado por año en este tipo de usuario fue de 628,560 metros cúbicos.

En cuanto a usuarios clandestinos, la JMAS detectó 117, con un consumo anual de 352,320 metros cúbicos



En total, por consumo de conexiones no autorizadas regularizadas, se logró recuperar un volumen de 980,880 metros cúbicos.

**Tabla 7.8. Conexiones no autorizadas regularizadas**

Tipo de usuario	Número de usuarios	Consumo (m3/mes)	consumo (m3/año)
No de usuarios regularizados	2,619	52,380	628,560
No de Usuarios Clandestinos	117	29,360	352,320
Total	2,736		980,880

## 7.6 Tarea 6. Estimación de pérdidas potenciales en el sistema

Las pérdidas potenciales del sistema de agua potable se calculan en 41,821,003 m<sup>3</sup>/año, lo que representa el 38.53 % del volumen suministrado al sistema de agua potable.

## 7.7 Tarea 7. Pérdidas potenciales en tomas domiciliarias.

Para estimar el volumen fugas potenciales en las tomas domiciliarias, se tomó como referencia las estadísticas de fuga registradas en el CIS de la JMAS. En la Tabla 7.9, se tiene que el 42.5 % de las fugas registradas en el CIS se presenta en la red de distribución pero con el 68% del gasto de fuga y el 57.5 % en las tomas domiciliarias con un 32 % del gasto de fuga.

Para interpolar estos datos a todo el sistema de agua potable, se considera en el balance de agua que del total de las fugas potenciales, el 55% de las fugas se presenta tanto en la red de distribución como en las tomas domiciliarias.

Entonces para calcular las fugas potenciales en las tomas domiciliarias se consideró el  $0.55 \cdot 41,821,003 \cdot 0.32 = 7,468,167$  metros cúbicos, lo que representa con respecto al volumen total suministrado el 6.88 por ciento.

**Tabla 7.9. Estadísticas de fugas en la red de distribución y en las tomas domiciliarias**

Concepto	Red	Tomas
Numero de fugas	356	482
Gasto de fuga (m3/mes)	52965	24949
Gasto de fuga total (m3/mes)	77914	
Ocurrencia fuga (%)	42.5	57.5
Gasto de fuga (%)	68.0	32.0

## 7.8 Tarea 8. Pérdidas potenciales en la red de distribución.



Para el volumen de pérdida potencial en la red de distribuciones consideró el  $0.55 \cdot 41,821,003 \cdot 0.68 = 15,533,385$  metros cúbicos, lo que representa con respecto al volumen total suministrado el 14.31 por ciento.

### 7.9 Tarea 9. Pérdidas potenciales por consumos no autorizados y subsidios.

Los consumos no autorizados se calculan (ver ecuación siguiente) restando las pérdidas potenciales en tomas domiciliarias y en red de distribución de las pérdidas potenciales totales, con lo que se tiene unas pérdidas potenciales por consumos no autorizados del orden de 18,819,451 (m<sup>3</sup>), lo que representa con respecto al volumen total suministrado un 17.34 por ciento:

$$\text{Consumo}_{\text{noautorizado}} = \text{Pérdidas}_{\text{totales}} - \text{Pérdidas}_{\text{tomas}} - \text{Pérdidas}_{\text{red}} \quad (28)$$

Los consumo no autorizados generalmente se presentan como usuarios clandestinos o fraudulentos que se conectan a la red de distribución de manera ilegal, para tener una idea de cuantos usuarios clandestinos representan el volumen de consumos no autorizados se realizó el siguiente cálculo mostrado en la Tabla 7.10.

Si se considera una dotación de 309 l/h/d, con una densidad de 4.0 habitantes/casa, entonces en la ciudad de Chihuahua existirían un total de 42,292 usuarios clandestinos que representan aproximadamente el 15.9% de los usuarios totales de la ciudad.

**Tabla 7.10. Usuarios clandestinos probables en la ciudad de Chihuahua**

Número de tomas clandestinas	Dotación l/h/d	Volumen (m <sup>3</sup> )
42292	309	18,819,583

### 7.10 Resumen y conclusiones del Balance Volumétrico de Agua en Chihuahua

En cuanto al balance de agua o auditoría del agua se encontró que el sistema presenta un 38.53% entre lo que son las pérdidas físicas (identificadas en: fugas en tomas domiciliarias, en la red de distribución y en cajas de válvulas) y el agua no contabilizada (por usuarios clandestinos, mala medición, etcétera).

En la Tabla 7.11 y Tabla 7.12 se muestra de manera resumida como se distribuyen las pérdidas de agua en el sistema: Del volumen total suministrado, 59.71 % se consume por usuarios de servicio medido y de cuota fija. Del 40.29% de pérdidas se recupera el 1.76 % con la reparación de fugas en tomas y red de distribución.



El restante 38.53% de pérdidas potenciales se estima que el 6.88 % se pierde por fugas en tomas domiciliarias, el 14.31 % se pierde por fugas en la red de agua potable primaria, secundaria y cajas de válvulas y el 17.34 % se pierde por consumos no autorizados como pueden ser usuarios clandestinos, usuarios fraudulentos y subsidios.

En la Tabla 7.13, se muestra de manera concreta los resultados del balance de agua.

**Tabla 7.11. Balance Volumétrico del sistema de agua potable de la ciudad de Chihuahua**

No.	Concepto	Cantidad (m <sup>3</sup> )	Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volumen (%)
<b>TAREA 1 Cuantificación del suministro de agua</b>				
1	Suministro total de agua al sistema de distribución sin corregir		<b>109883274</b>	100.00%
2	Ajustes al suministro total del agua	0		
2A	Error en exactitud de medidores de las fuente (+ó-)	0		
2B	Cambio en reservas y tanques de almacenamiento (+ ó -)	-84714		
2C	Otras contribuciones o pérdidas (+ ó -)	-1263616		
3	Total de ajustes en suministro total de agua (sumar líneas 2A, 2B y 2C)	-1348330		
4	Suministro total ajustado de agua al sistema de distribución (sumar líneas 1 y 3)		<b>108534945</b>	98.77%
<b>TAREA 2 Estimación de consumos medidos autorizados</b>				
5	Consumo medido total de agua registrado sin corregir	48068535		
6	Ajuste ante retrasos en la lectura del medidor (+ ó -)			
7	Consumo total registrado ajustado por retrasos de lectura (sumar líneas 5 y 6)			
8	Correcciones por exactitud de medidores	145175		
8A	Error en medidores residenciales 10% (revisar)			
8B	Error en medidores comerciales, industriales y especiales			
9	Error total en exactitud de medidores (sumar líneas 8A y 8B)			
10	Consumos totales de agua medidos y corregidos (sumar líneas 7 más 9)		<b>48213710</b>	44.42%
11	Agua total no registrada (restar línea 10 de la 4)		<b>60321235</b>	55.58%



**Tabla 7.12. Balance Volumétrico del sistema de agua potable de la ciudad de Chihuahua (continuación)**

No.	Concepto	Cantidad (m3)	Acumulado (m3)	Volumen (%)
	<b>TAREA 3. Estimación de consumos no medidos autorizados</b>			
12	Uso del agua no medida autorizada	152736		
12A	Usuarios domésticos con cuota fija	16233613		
12B	Reparación de tuberías			
12C	Procesos de plantas de tratamiento			
12D	Escuelas			
12E	Parques públicos			
12F	Agua para incendio			
12G	Otros servicios (entrega de agua en pipas)	205193		
<b>13</b>	<b>Consumo total no medido autorizado (sumar líneas 12A hasta la 12G)</b>		<b>16591542</b>	15.29%
	<b>TAREA 4. Estimación de pérdidas totales del sistema de agua potable.</b>			
<b>14</b>	<b>Pérdidas totales de agua (restar línea 13 de la 11)</b>		<b>43729693</b>	40.29%
	<b>TAREA 5. Estimación de pérdidas identificadas y eliminadas</b>			
15	Identificación de pérdidas de agua			
15A	Fugas reparadas	927810		
15B	Conexiones no autorizadas localizadas	980880		
15C	Derrames en tanques y cárcamos de bombeo			
15D	Evaporación en depósitos abiertos			
15E	Errores descubiertos en el proceso contable			
15F	Otras pérdidas			
<b>16</b>	<b>Pérdidas totales de agua identificadas y eliminadas (sumar líneas 15A hasta 15F)</b>	<b>1908690</b>		
	<b>TAREA 6. estimación de pérdidas potenciales en el sistema</b>			
<b>17</b>	<b>Pérdidas potenciales de agua en el sistema (restar línea 16 de la 14)</b>		<b>41821003</b>	38.53%
	<b>TAREA 7. Evaluación de fugas potenciales en conexiones domiciliarias</b>			
18	Volumen de fugas en tomas domiciliarias	-7468167	-7468167	-6.88%
	<b>TAREA 8. Estimación de fugas potenciales en líneas principales y secundarias</b>			
19	Volumen de fugas en líneas principales y secundarias	-15533385	-15533385	-14.31%
	<b>TAREA 9. Estimación de pérdidas potenciales por consumos no autorizados y subsidios</b>			
20	Volumen de pérdidas por consumos no autorizados.	-18819451	-18819451	-17.34%



**Tabla 7.13. Balance de agua en la ciudad de Chihuahua**

ID	Concepto	Volumen (m3/año)	Volumen (%)	Eficiencia Física (%)
	Producción total	109,883,274.00	100.00%	
+	Suministro de Agua al sistema	108,534,944.89	98.77%	
++	Consumo Total Medido	48,213,710.10	44.42%	
++	Consumos No Medidos Autorizados	16,591,542.00	15.29%	
++	Consumo Total	64,805,252.10	59.71%	
++	Perdidas Totales de Agua	43,729,692.79	40.29%	
+++	Perdidas Identificadas y eliminadas	1,908,689.86	1.76%	<b>61.47%</b>
+++	Perdidas Potenciales en el sistema	41,821,002.94	<b>38.53%</b>	
++++	*Fugas en tomas domiciliarias	7,468,166.98	6.88%	
++++	*Fugas en red	15,533,384.63	14.31%	
++++	*Agua no Autorizada y Subsidio	18,819,451.32	17.34%	



## 8. INDICADORES DE GESTIÓN

La información para el cálculo de las eficiencias fue proporcionada por el Departamento de Comercial de la JMÁS, en su reporte mensual “Análisis financiero y operativo”.

### 8.1 Definición de las eficiencias en un sistema de agua potable

Si definimos:

- Suministro  $Q_S$ , gasto de agua que se introduce a la red de distribución o gasto de producción.
- Consumo  $Q_C$ , gasto que reciben los usuarios en sus tomas domiciliarias y que pueden ser registrados o no registrados, medidos o no.
- Fugas  $Q_F$ , gasto de fugas en la red y que se puede definir igual al suministro menos al consumo,  $Q_F = Q_S - Q_C$ .
- Volumen facturado  $Q_{fac}$ , suma de los volúmenes que se utilizan para realizar la facturación de cada usuario.
- Volumen cobrado  $Q_{cob}$ , suma de los volúmenes de las facturas cobradas.
- Monto facturado  $M_{fac}$ , suma del monto (\$) facturado exclusivamente por el servicio de agua, drenaje y tratamiento (no incluye cobros tales como derechos de conexión, etc.).
- Monto cobrado  $M_{cob}$ , suma del monto (\$) cobrado exclusivamente por el servicio de agua, drenaje y tratamiento.
- La eficiencia física (%) se calcula como:  $E_{fis} = \frac{Q_C}{Q_S}$  es la relación entre el consumo y el suministro.
- La eficiencia de facturación (%) es:  $E_{fac} = \frac{Q_{fac}}{Q_C}$  es la relación entre el volumen facturado y el volumen consumido.
- La eficiencia de cobro (%) es:  $E_{cob} = \frac{Q_{cob}}{Q_{fac}}$  es la relación entre el volumen cobrado entre el volumen facturado.
- La eficiencia comercial es:  $E_{com} = E_{cob} * E_{fac} = \frac{Q_{cob}}{Q_{fac}} * \frac{Q_{fac}}{Q_C} = \frac{Q_{cob}}{Q_C}$ , igual a la eficiencia de cobro por la eficiencia de facturación, lo que al final nos queda como la relación entre el volumen cobrado entre el consumo.



- La eficiencia global o total es:  $E_{total} = E_{fis} * E_{com} = \frac{Q_C}{Q_S} * \frac{Q_{cob}}{Q_C} = \frac{Q_{cob}}{Q_S}$ , igual a la eficiencia física por la eficiencia comercial, lo que al final nos resta como la relación entre el volumen cobrado entre el suministro.
- La eficiencia de cobranza es:  $E_{cob} = \frac{M_{cob}}{M_{fac}}$ , relación entre el monto cobrado entre el monto facturado.

## 8.2 Eficiencia física del sistema

La eficiencia física se calculó en el capítulo anterior, con la elaboración del balance de agua, la eficiencia física es de 61.47 por ciento.

## 8.3 Eficiencia de facturación

En la Tabla 8.1, se tienen los volúmenes de agua facturada y consumida por mes, con esto se calcula la eficiencia de facturación que oscila entre el 99.5% al 97.7%, en promedio anual la eficiencia de facturación es del 98.9 por ciento.

**Tabla 8.1. Eficiencia de facturación**

Volumen	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Agua Facturada (m3)	5,076,221	4,953,104	4,937,638	5,004,920	5,343,524	5,531,864	5,580,088	5,601,979	5,544,210	5,447,121	5,350,360	5,206,964
Agua Consumida (m3)	5,108,414	4,984,850	5,019,697	5,035,167	5,374,103	5,660,759	5,609,047	5,712,775	5,673,349	5,478,278	5,411,804	5,233,905
Eficiencia de Facturación (%)	99.4%	99.4%	98.4%	99.4%	99.4%	97.7%	99.5%	98.1%	97.7%	99.4%	98.9%	99.5%
Promedio anual (%)	98.9%											

## 8.4 Eficiencia de cobro

En la Tabla 8.2, se muestra el cálculo de la eficiencia de cobro, se tienen máximos del 87% en los meses de enero y diciembre y mínimo de 76.7 en el mes de septiembre. En promedio la eficiencia de cobro es del 83.6 por ciento.



**Tabla 8.2. Eficiencia de cobro**

Volumen	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Agua Facturada (m3)	5,076,221	4,953,104	4,937,638	5,004,920	5,343,524	5,531,864	5,580,088	5,601,979	5,544,210	5,447,121	5,350,360	5,206,964
Agua Cobrada (m3)	4,416,301	3,982,886	4,336,216	4,107,075	4,526,758	4,254,472	4,662,934	4,668,293	4,250,032	4,788,847	4,594,733	4,529,179
Eficiencia de cobro (%)	87.0%	80.4%	87.8%	82.1%	84.7%	76.9%	83.6%	83.3%	76.7%	87.9%	85.9%	87.0%
Promedio (%)	83.6%											

## 8.5 Eficiencia Comercial

En la Tabla 8.3, se presenta la eficiencia comercial; la máxima se tiene en los meses de enero y diciembre con un 86.5 %, la eficiencia comercial mínima se presenta en el mes de septiembre con un 74.9%; el promedio anual es del 82.7 por ciento.

**Tabla 8.3. Eficiencia comercial**

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Eficiencia comercial (%)	86.5%	79.9%	86.4%	81.6%	84.2%	75.2%	83.1%	81.7%	74.9%	87.4%	84.9%	86.5%
Promedio	82.7%											

## 8.6 Eficiencia global del sistema

Para el cálculo de la eficiencia global, se considera la eficiencia física del 61.47% y la eficiencia comercial promedio anual de 82.7%, por lo que resulta de **50.83 por ciento**.

## 8.7 Eficiencia de cobranza

La eficiencia de cobranza se muestra en la Tabla 8.4; la máxima se obtiene para el mes de octubre con un 87.9 %, la mínima para el mes de septiembre con un 76.7%; en promedio anual la eficiencia de cobranza es del 83.6 por ciento.

**Tabla 8.4. Eficiencia de cobranza**

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Agua Facturada (\$)	25,185,416	25,065,122	24,287,889	24,929,203	26,745,494	28,405,236	28,623,056	28,130,119	27,974,246	27,506,634	26,852,665	25,770,331
Agua cobrada (\$)	21,911,258	20,155,344	21,329,535	20,457,090	22,657,405	21,846,032	23,918,513	23,441,654	21,444,252	24,182,509	23,060,283	22,415,833
Eficiencia de cobro (%)	87.0%	80.4%	87.8%	82.1%	84.7%	76.9%	83.6%	83.3%	76.7%	87.9%	85.9%	87.0%
Promedio (%)	83.6%											



## 8.8 Porcentaje de tomas que pagan su servicio de agua a tiempo

En la Tabla 8.5, se muestra el porcentaje de tomas que paga su servicio de agua a tiempo (menos de dos meses), en promedio se tiene un 52.4 % de usuarios que acuden puntualmente a pagar su servicio, el resto son usuarios morosos.

**Tabla 8.5. Tomas que pagan su servicio de agua**

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Total de tomas de Agua</b>	256,128	256,548	257,049	257,793	259,455	260,509	261,623	262,361	263,076	264,149	264,739	265,413
<b>Tomas que pagan</b>	136,864	131,569	133,489	132,671	137,328	134,499	137,067	136,488	132,843	134,886	146,210	146,084
<b>Eficiencia tomas</b>	53.4%	51.3%	51.9%	51.5%	52.9%	51.6%	52.4%	52.0%	50.5%	51.1%	55.2%	55.0%
<b>Promedio</b>	52.4%											

## 8.9 Dotación de agua potable para la ciudad de Chihuahua

La dotación para la ciudad de Chihuahua se calculó de manera general, ya que no se cuenta con el suministro de agua a cada zona de influencia, sólo el suministro total de agua se mide ya que se tiene instalado macromedidores en todas las fuentes.

Para el cálculo de la dotación se toma como referencia el mes de máxima demanda de agua (julio del 2007), en donde se tuvo un suministro de 10,397,334 m<sup>3</sup>/mes, o lo que es lo mismo a un caudal de 4011 l/s, que representa el caudal máximo diario. Considerando un coeficiente de variación diario de 1.4 (del manual de Datos Básicos de la CONAGUA), con esto calculamos el Gasto medio diario igual a 2865 l/s, o lo que es lo mismo a 247,555,571 l/d. Por otro lado considerando el número de usuarios domésticos registrados en el sistema para el mes de julio del 2007 se tenían 245,485 tomas domésticas, con una densidad de población de 3.6 hab/casas (obtenida de un promedio pesado de la Tabla 3.13 fuente INEGI), da una población igual a 883746 habitantes para el mes de julio del 2007.

Si se divide el gasto medio diario (247555571 l/d) entre la población del mes de julio (883746 habitantes) se obtiene **la dotación para la ciudad de Chihuahua de 280 l/h/d.**

Si se considera un porcentaje de fugas del 38.53 % (obtenido de la auditoría del agua, del capítulo 7), **el consumo de agua para la ciudad de Chihuahua es de 175 l/h/d.**

Del manual de datos básicos de la CNA, se dan los consumos por clase socioeconómica dependiendo del clima de la ciudad (ver Tabla 8.6), para calcular el clima se propone la Tabla 8.7, que está en función de la temperatura media de la ciudad, para la ciudad de Chihuahua la temperatura media es de 18.1 °C, por lo que se cataloga como un clima semicálido.



**Tabla 8.6. Consumo por clase socioeconómica (ref. Manual de Datos básicos de la CNA, 2004)**

Clima	Consumo Residencial (l/h/d)	Consumo Clase socioeconómica media (l/h/d)	Consumo Clase socioeconómica Popular (l/h/d)
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100

**Tabla 8.7. Clima según la temperatura media (Ref. manual de Datos Básicos de la CNA, 2004)**

Clima	Temperatura promedio (°C)
Cálido	Mayor de 22 °C
Semicálido	Entre 18 y 22 °C
Templado	De 12 a 17.9 °C

De acuerdo al clima de la ciudad de Chihuahua le corresponderían los consumos por clase socioeconómica de 300 l/h/d en clase residencial, 205 l/h/d para la clase media y 130 l/h/d para la clase popular.

El porcentaje de población de clase residencial, media y popular se obtiene de acuerdo al número de salarios mínimos, del Anuario Estadístico para la ciudad de Chihuahua, Tomo II, 2006 editado por el INEGI, se tiene que el 57.85 % de la población que cuenta con trabajo recibe de 1 a 3 salarios mínimos, este porcentaje se considera que es clase popular; un 26.29% de la población con trabajo recibe de 3 a 5 salarios mínimos, misma que se considera de clase socioeconómica media y el restante 15.84% recibe más de 5 salarios mínimos, que es considerada como clase Residencial.

Con los consumos y el porcentaje de población por clase socioeconómica se calcula un consumo ponderado para la ciudad de Chihuahua igual a:

$$\text{Consumo}_{\text{ponderado}} = (300 * .1584 + 205 * .2629 + 130 * .5785) = 177 \text{ l/h/d}$$

Si se compara el consumo ponderado de 177 l/h/d contra el consumo calculado de 175 l/h/d, son muy similares por lo que se considera que el suministro de agua a la ciudad de Chihuahua es el adecuado.

## 8.10 Índice de continuidad en el servicio

El índice de continuidad evalúa el porcentaje de horas al día con servicio de agua potable que tiene cada zona de influencia de la ciudad, para esto se debería medir el caudal de salida de cada tanque, pozo o rebombeo que abastecen de manera directa a la red de distribución.

Para el suministro a la ciudad, la JMÁS ya tiene definido un horario promedio, éste se usa de forma general para el control de las brigadas de campo que operan las cajas de válvula, pero el suministro a la zona de influencia varía día con día, en algunas ocasiones se abastece algunas horas más a la zona de influencia con respecto al horario indicado en las Tabla 8.8 y Tabla 8.9.



Durante la campaña de medición de presiones mostrada en el capítulo 5, se midió por un periodo de 24 horas a intervalos de 15 minutos la presión en 400 puntos de la red, con esta información se calculó el índice de continuidad mostrado en las Tabla 8.8 y Tabla 8.9.

En las tablas mencionadas se calcula el horario real de suministro medido en campo, si la presión caía debajo de 10 metros columna de agua, se considera que el suministro no es bueno y por lo tanto no se contabilizó para el cálculo del índice de continuidad, es decir se podía tener servicio de agua potable pero que no cumple con la presión mínima de servicio. El índice de continuidad será igual a las horas de servicio con agua potable entre 24 horas del día.

**Tabla 8.8. Índice de continuidad en las diferentes zonas de influencia de la ciudad.**

No	Zona de influencia	Horario de suministro según la JMAS	Horas suministro según el horario	Horario real de suministro medido en campo	Índice de continuidad	No de Usuarios servidos (año 2007)
1	Ribera de Sacramento	24 horas	24	24.00	100%	4848
2	P. Sacramento Norte 5	24 horas	24	24.00	100%	910
3	Pozos Panamericana 4, 5	24 horas	24	22.63	94%	789
4	Tanque 2 de Octubre	24 horas	24	20.50	85%	2756
5	Conduccion Tabaloapa Ald	24 horas	24	23.93	100%	3742
6	Pozo Quintas del Sol	24 horas	24	19.31	80%	1839
7	Campanario 1 y 2	24 horas	24	22.00	92%	2609
8	Rebombeo Sacramento	24 horas	24	16.88	70%	2525
9	Rebombeo Coronel	24 horas	24	17.08	71%	970
10	Tanque Coronel	24 horas	24	21.50	90%	2605
11	Pozo Palacio del Sol	24 horas	24	23.92	100%	983
12	Pozo Urueta	24 horas	24	15.25	64%	868
13	Pozo Robinson	24 horas	24	20.00	83%	787
14	Planta Tratadora Sur	24 horas	24	22.50	94%	520
15	Conduccion Tabaloapa Ald	24 horas	24	13.17	55%	1399
16	Pozo Galera 1 y 2	24 horas	24	20.44	85%	3610
17	Tanque Filtros	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	18.63	78%	3181
18	Tanque Norte 2	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	24.00	100%	12585
19	T. Chihuahua 2000	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	22.21	93%	14189
20	Pozo Rancherías	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	15.18	63%	2454
21	Tanque Santa Rita	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	15.52	65%	11841
22	Tanque San Jorge	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	12.05	50%	4323
23	Rebombeo Cerro Grande	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	17.32	72%	4627
24	Conduccion Ojos de Chuvi	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	16.19	67%	6378
25	Tanque 2	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	19.42	81%	1396
26	Los Arroyos	5:00 a 20:00	15	21.50	90%	1704
27	Pozo Concordia	5:00 a 20:00	15	14.21	59%	1418



**Tabla 8.9. Índice de continuidad en las diferentes zonas de influencia de la ciudad (continuación).**

No	Zona de influencia	Horario de suministro según la JMÁS	Horas suministro según el horario	Horario real de suministro medido en campo	Índice de continuidad	No de Usuarios servidos (año 2007)
28	Pozo Aeropuerto 1, 2 y 3	5:00 a 18:00	13	15.72	65%	1208
29	Tanque Misiones	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	17.63	73%	1767
30	Tanque Colina	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	13.56	57%	32071
31	T. Loma Larga	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	14.64	61%	12382
32	T. Nombre de Dios	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	14.63	61%	5249
33	T. Panamericana	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	15.88	66%	12878
34	Tanque Saucito	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	17.42	73%	9218
35	P. Nombre de Dios Arriba	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	17.92	75%	1596
36	T. Nombre de Dios 2	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	19.90	83%	2232
37	Conduccion el Sáuz	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	15.85	66%	5014
38	Pozo San Felipe	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	1.25	5%	358
39	Pozos Cima, Ferroc y Con	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	16.57	69%	3657
40	Pozo 8 Zona Centro	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	17.04	71%	3909
41	Rebombeo Cerro Prieto	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	4.25	18%	227
42	Pozo Cipres	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	19.42	81%	1686
43	Pozo 7	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	10.90	45%	2253
44	Rebombeo Paso del Norte	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	7.17	30%	217
45	Tanque Cerro Grande	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	13.28	55%	13823
46	Pozo Cerro de la Cruz	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	14.25	59%	1483
47	Tanque A	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	12.45	52%	14323
48	Conduccion Ojos y El Sau	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	5.13	21%	1563
49	Tanque B	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	12.89	54%	7065
50	Tanque 1	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	18.83	78%	2643
51	Tanque Esperanza	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	14.00	58%	2346
52	Tanque 7	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	13.63	57%	2223
53	Rebombeo Cumbres	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	22.00	92%	521
54	Tanque 3 y 4	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	9.42	39%	2925
55	Pozo Revolucion	5:00 a 20:00	15	no se midió	no se midió	902
56	Pozo Villas del Rey	24 horas	24	no se midió	no se midió	3927
57	Pozo Galera 1	5:00 a 20:00	15	no se midió	no se midió	678
58	Pozos Sacramentos Viejos	5:00 a 20:00	15	no se midió	no se midió	1763
59	Rebombeo Las Animas	5:00 a 20:00	15	no se midió	no se midió	166
60	Rebombeo X1	5:00 a 20:00	15	no se midió	no se midió	542
61	Tanque Haciendas	5:00 a 20:00	15	no se midió	no se midió	1439
62	Tanque Jardines	5:00 a 20:00	15	no se midió	no se midió	1516
63	Tanque Lomas Rejon	5:00 a 20:00	15	no se midió	no se midió	2638
64	Tanque Norte 1	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	no se midió	no se midió	3637
65	Zona Impulso Supuesto	5:00 a 10:00 y 16:00 a 20:00	9	no se midió	no se midió	376
	<b>Promedio</b>		<b>13.91</b>	<b>16.65</b>	<b>69%</b>	<b>Total = 258277</b>



Si se compara el horario de servicio definido por la JMAS con respecto al suministro real medido, en cada zona de influencia con horario de 24 horas hay una variación ya que se tienen zonas de influencia que no abastecieron de agua las 24 horas: Pozos Panamericana 4 y 5, Tanque 2 de Octubre, Pozo Quintas de Sol, Campanario 1 y 2, Rebombeo Sacramento, Rebombeo Coronel, Tanque Coronel, Pozo Urueta, Pozo Robinson, Conducción Tabalaopa Aldama y Pozo Galera 1 y 2. En general de las 16 zonas de influencia con servicio las 24 horas sólo 4 de ellas abastecieron de forma continua.

Las zonas con horario de servicio menor a 24 horas se puede observar que en general reciben agua más tiempo del que se programa por la JMAS, solamente las zonas de influencia de Pozo San Felipe, Rebombeo Cerro Prieto, Rebombeo Paso del Norte y Conducción Ojos El Sáuz recibieron el servicio de agua con menos horas que el indicado por la JMAS. En cambio las zonas de influencia restantes se le suministra agua con más horas que el horario establecido por la JMAS.

En general el índice de continuidad calculado de acuerdo a las mediciones de presión para la ciudad de Chihuahua es de 16.65 horas al día o de 69 %, mayor al horario de servicio establecido de antemano por la JMAS que es de 13.91 horas o de 57.95 por ciento.

### **8.11 Costo de energía eléctrica unitario por bombeo para extracción de agua**

A continuación se muestra el Costo unitario de energía eléctrica, calculado como la relación entre el costo promedio mensual de energía eléctrica entre el volumen promedio mensual de agua extraído de cada pozo. Este indicador mide lo que le cuesta a la JMAS en energía eléctrica cada metro cúbico que se extraen de los pozos profundos, en general se considera que debe estar entre 0.5 \$/m<sup>3</sup> y 1.19 \$/m<sup>3</sup> (Ref. Martínez A. P. (2006), *Indicadores de Gestión y mejoras prácticas*, Fortalecimiento de Organismos Operadores de agua potable y saneamiento, Editado por la Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana de la CNA, 2006),

Para el cálculo de este indicador se utilizaron los datos estadísticos generados por el Departamento de Suministro de la JMAS, esta información se recaba mes con mes para cada uno de los pozos profundos y se incluyen en un archivo digital en formato excel.

De las Tabla 8.10 a Tabla 8.13 se muestra el valor del índice de costo de energía eléctrico unitario por extracción de agua de pozos profundos. De todos los pozos en operación, sólo 8 de ellos presentan un índice mayor o igual a 1.19 \$/m<sup>3</sup> que son: Tabalaopa Aldama 4, Tabalaopa Aldama 5, Tabaslaopa Aldama 7, Panamericana 5, Mirador 2, Cima 2 e Impulso 2.

Los demás pozos profundos presentan un índice menor a 1.19 \$/m<sup>3</sup>, cabe destacar que en promedio para todos los pozos profundos, el índice de costo de energía eléctrica unitario por bombeo es de 0.82 \$/m<sup>3</sup>, por debajo de lo recomendado por la CONAGUA. Si se considera el costo de energía eléctrica de los rebombes el costo unitario se incrementa hasta 1.33 \$/m<sup>3</sup>.



**Tabla 8.10. Costo de energía eléctrica unitario (promedio del año 2007, fuente JMAS).**

No	Pozo	Costo unitario Promedio por Kwh (\$/Kwh)	Importe promedio mensual de CFE (\$/mes)	Índice de Costo de energía eléctrica unitario por extracción de agua de los pozos profundos (\$/m3)
1	Sáuz N° 1	1.046	12385	0.66
2	Sáuz N° 2	1.972	4285	1.11
3	Sáuz N° 3	1.357	27341	0.72
4	Sáuz N° 4	1.082	15907	0.85
5	Sáuz N° 5	0.972	38423	0.79
6	Sáuz N° 6	1.035	16262	0.68
7	Sáuz N° 7	1.019	32547	0.71
8	Sáuz N° 8	1.020	36421	0.90
9	Sáuz N° 9	0.972	49531	0.69
10	Sáuz N° 10	1.069	19002	0.76
11	Sáuz N° 11	1.017	53895	0.71
12	Sáuz N° 12	1.010	55982	0.61
13	Sáuz N° 16	0.963	29009	0.77
14	Sáuz N° 17	0.963	38512	0.97
15	Sáuz N° 18	0.963	38901	0.63
16	Sáuz N° 24	0.963	35788	0.68
17	Sáuz N° 25	0.963	33399	0.49
18	Sáuz N° 26	0.963	33399	0.52
19	Sáuz N° 27	0.963	32399	0.42
20	Sáuz N° 28	0.963	36511	0.45
21	Sáuz N° 29	0.963	36789	0.59
22	Sáuz N° 30	0.963	37206	0.56
23	Sáuz N° 31	0.963	36244	0.51
24	Estación Terrazas 1	0.964		No se tiene
25	Estación Terrazas 2	0.964		No se tiene
26	Puerta de Chihuahua 1	0.960	82226	0.71
27	Puerta de Chihuahua 2	0.974	82968	0.69
28	Puerta de Chihuahua 3	0.966	102429	0.69
29	Puerta de Chihuahua 4	0.953	98695	0.68
30	Puerta de Chihuahua 5	0.959	90293	0.65
31	Puerta de Chihuahua 6	0.966	90143	0.65



**Tabla 8.11. Costo de energía eléctrica unitario (promedio del año 2007, fuente JMAS) continuación.**

No	Pozo	Costo unitario Promedio por Kwh (\$/Kwh)	Importe promedio mensual de CFE (\$/mes)	Índice de Costo de energía eléctrica unitario por extracción de agua de los pozos profundos (\$/m3)
32	Aeropuerto N° 1	1.067	5676	0.53
33	Aeropuerto N° 2	2.863	2919	0.50
34	Aeropuerto N° 3	1.095	14578	1.15
35	Tab. Aldama N° 1	0.972	56769	0.80
36	Tab. Aldama N° 2	Fuera	Fuera	Fuera de servicio
37	Tab. Aldama N° 3	0.975	80279	0.86
38	Tab. Aldama N° 4	1.008	38693	1.46
39	Tab. Aldama N° 5	0.973	42941	1.45
40	Tab. Aldama N° 6	0.971	43217	0.92
41	Tab. Aldama N° 7	1.018	47085	1.21
42	Tab. Aldama N° 8	0.971	33235	1.05
43	Tab. Aldama N° 9	1.019	30922	0.94
44	Tab. N. De Dios N° 1	0.983	67193	0.99
45	Tab. N. De Dios N° 2	0.964	40569	1.06
46	Tab. N. De Dios N° 3	0.971	62088	1.11
47	Tab. N. De Dios N° 4	0.975	46973	1.40
48	Tab. N. De Dios N° 6	0.995	57434	0.97
49	Tab. N. De Dios N° 7	0.966	87698	0.64
50	Robinson 1	1.062	28415	0.46
51	Robinson 2	1.055	23370	0.46
52	Robinson 3	1.049	35005	1.18
53	Concordia	1.106	22297	0.50
54	León	1.023	44020	0.92
55	Pozo 300	0.975	74164	0.75
56	Laguna 1	1.042	42890	1.09
57	Paseos de la concordia	0.996	39201	0.84
	Paseos de la Concordia 2	3.716	5681	1.08
	Siaz	1.008	15892	0.99
	León No. 3		0	No se tiene
58	Panamericana N° 2	Fuera	Fuera	Fuera de servicio
59	Panamericana N° 4	0.963	67877	0.79
60	Panamericana N° 5	0.976	59844	1.19
61	Panamericana N° 6	1.278	15951	0.98
62	Panamericana N°7	0.959	91719	0.86
	Panamericana N°8	1.134	9555	No se tiene



**Tabla 8.12. Costo de energía eléctrica unitario (promedio del año 2007, fuente JMAS) continuación.**

No	Pozo	Costo unitario Promedio por Kwh (\$/Kwh)	Importe promedio mensual de CFE (\$/mes)	Índice de Costo de energía eléctrica unitario por extracción de agua de los pozos profundos (\$/m3)
62	Sacramento N° 1	0.958	42140	0.49
63	Sacramento N° 2	1.014	51822	0.74
64	Sacramento N° 3	1.049	36947	0.78
65	Sacramento N° 5	0.998	26184	0.55
65	Sac. Nte. N° 1	1.474	2242	0.65
66	Sac. Nte. N° 2	0.960	47365	0.72
67	Sac. Nte. N° 3	0.962	61662	0.83
68	Sac. Nte. N° 4	1.197	20948	0.73
69	Sac. Nte. N° 5	0.969	34121	0.80
70	Sac. Nte. N° 6	0.972	85796	0.82
71	Sac. Nte. N° 7	0.979	59797	1.17
72	Sac. Norte N° 8	0.985	49498	0.74
73	Sac. Norte N° 9	0.972	67057	0.91
73	Ranchería Juárez	0.985	31084	0.95
74	Cerro De La Cruz	1.020	17549	0.51
75	Urueta	1.027	42469	0.83
76	Haciendas Del Valle	0.964	55360	0.90
77	Haciendas del Valle II	0.965	35167	1.13
78	Palacio Del Sol	0.846	24999	0.62
79	La Salle		0	Fuera de Servicio
80	Quintas Del Sol	1.060	45225	0.62
81	Virreyes	1.021	61648	0.88
82	Mirador N° 2	1.062	29162	1.21
83	San Felipe	1.012	21010	0.95
84	CTU Saucito	1.136	27650	0.99
85	CTU Chichontepec	1.110	32170	0.74
86	La Cima	1.161	13306	0.59
87	Cipres N° 2	0.973	28739	0.46
88	Ferrocarril	0.980	43647	0.53
89	Centro de Convenciones	1.052	43580	0.57
90	Zona Centro N° 7	0.962	54949	0.51
91	Zona Centro N° 8	0.965	53559	0.54
92	Nombre De Dios # 2	2.222	10138	0.97



**Tabla 8.13. Costo de energía eléctrica unitario (promedio del año 2007, fuente JMAS) continuación.**

No	Pozo	Costo unitario Promedio por Kwh (\$/Kwh)	Importe promedio mensual de CFE (\$/mes)	Índice de Costo de energía eléctrica unitario por extracción de agua de los pozos profundos (\$/m3)
93	Villa	1.050	32625	0.59
94	Revolución	1.054	22295	0.98
95	XX Aniversario I	0.984	12604	0.78
96	20 Aniversario #2	1.078	15948	1.07
97	Villa Dorada	1.441	30617	0.70
98	Villa Dorada 2	1.032	32038	0.98
99	Campus Universitario	1.020	9595	0.83
100	Picacho 1	1.003	40184	1.02
101	Picacho 2	0.963	32368	0.87
102	Picacho 3	1.046	24559	0.94
103	Arroyos	1.128	40505	0.97
104	IMPULSO	1.176	13611	0.86
105	Villas del Rey	4.607	30072	0.89
106	Riveras Sacramento 1	1.006	47583	0.69
107	Los Arcos	1.129	21745	0.78
108	ARROYOS NO.- 3	0.974	49848	0.95
109	Riveras Sacramento 4	1.027	34243	0.79
110	Riveras Sacramento 3	1.041	29592	0.63
111	Riveras Sacramento 5	1.031	33983	0.66
112	Pozo Izalco	1.394	31816	0.92
113	Arroyos 4		0	No se tiene
114	Riberas de Sacramento 6	1.223	23867	No se tiene
115	Riberas de sacramento 2	1.022	24591	1.07
116	Picacho 5	1.230	26429	0.86
117	Arroyos 2	1.293	0	No se tiene
118	Cima 2	0.998	24743	1.52
119	Cima 3		0	No se tiene
120	Pozo CTU Quetzal		0	No se tiene
121	IMPULSO 2	1.020	31497	1.34
122	Rinconadas de los Nogales		0	Fuera de Servicio
126	Sierra Azul	0.982	50355	No se tiene
127	Chuviscar	0.949	61649	0.80
128	Ojos N° 5	0.949	148684	No se tiene
129	Ojos N° 6	0.949	174069	0.74
<b>Promedio</b>				<b>0.82</b>



## 8.12 Comparación con otros sistemas de agua potable

De acuerdo a los resultados de las eficiencias, es conveniente compararlas con la situación que se tienen en otras ciudades del país, esto ayuda a determinar el grado de desarrollo del sistema de agua potable de Chihuahua. Las ciudades con las que se compara la JMAS son de diferentes tamaños y de diferentes regiones del país; los indicadores se obtuvieron del “Estudio Relacionado con los Datos estadísticos e Indicadores de Servicio de la Comisión Nacional de Agua en México”, y del los resultados del proyecto interno “Seguimiento del desempeño de la calidad del servicio de Organismos Operadores de agua potable en el país”, ambos realizados por el IMTA.

Como se muestra en la Tabla 8.14, se tiene información de 24 ciudades; de acuerdo al número de tomas, sólo Guadalajara, Monterrey y León, son más grandes que la ciudad de Chihuahua. En cuanto a la eficiencia física, nueve ciudades se encuentran por arriba de la eficiencia física que se obtuvo para Chihuahua aunque la ciudad se encuentra por arriba de la media que resultó de 58.71 por ciento.

Por lo que respecta a la eficiencia comercial, sólo cinco ciudades están por arriba de la eficiencia comercial de la ciudad de Chihuahua del 88.90%, la media calculada para la 24 ciudades resultó de 78.42%, por lo que la JMAS se encuentra también por arriba de la media en este rubro.

En la eficiencia de cobro 8 ciudades tienen un porcentaje mayor que al calculado en la ciudad de Chihuahua del 83.60%; el sistema se encontró también por arriba de la media de 78.02 por ciento.

La eficiencia global de la ciudad de Chihuahua sólo es rebasada por cinco de las ciudades mostradas en la Tabla 8.14, la mayor eficiencia global la obtuvo Mexicali con el 84.28 % muy superior a los 54.65 % calculado para la ciudad de Chihuahua, pero aún así el sistema de agua de la ciudad se coloca por arriba de la media que es del 49.61 por ciento.

## 8.13 Recomendaciones y conclusiones

Si bien es importante mencionar que en todas las eficiencias con las que se comparó la ciudad de Chihuahua se encuentran por arriba de la media Nacional, lo que indica del buen funcionamiento del sistema de agua potable, sería conveniente realizar esfuerzos para incrementar tanto la eficiencia física hasta lograr un 80% y la eficiencia comercial llevarla hasta un 93%, estos porcentajes se encuentran cercanos a las indicadores máximos mostrados en la Tabla 8.14.

Debido a la cantidad de equipos de bombeo, es necesario realizar un estudio específico para calcular las eficiencias de los equipos instalados y de los que se encuentran en operación, ya que se encontraron inconsistencias para determinar una eficiencia electromecánica promedio de la totalidad de los equipos. Así como el índice de costo energético, que no se tiene para alguno de los pozos profundos.



En cuanto a los índices de continuidad y de administración de demanda será posible determinarla de manera general al final de la simulación del sistema de distribución (mediante el modelo de simulación y que se describe en la Parte 2 del informe).

**Tabla 8.14. Indicadores de gestión de diversas ciudades del país**

Ciudad	No de Tomas	Eficiencia Física (%)	Eficiencia Comercial (%)	Eficiencia de Cobro (%)	Eficiencia Global (%)
Acuña	35222	37.00	83.14	85.29	30.76
Aguascalientes	208732	66.45	93.12	93.12	61.88
<b>Chihuahua</b>	<b>265413</b>	<b>61.47</b>	<b>88.90</b>	<b>83.60</b>	<b>54.65</b>
Ciudad Valles		76.01	89.40		67.95
Córdoba		60.00		87.61	
Felipe Carrillo Puerto		21.00		70.00	
Gómez Palacio	70721	41.00	85.13	91.49	34.90
Guadalajara	1582107	68.00			
Hermosillo	195335	70.70	80.00	72.00	56.56
Puebla de Zaragoza		70.13	59.06	72.82	41.42
Iguala de la Independencia	23925	50.00	67.00	41.55	33.50
Jiutepec		48.00	76.00	78.00	36.48
La Paz	67415				
León de los Aldama	275847	64.57		94.85	
Manzanillo	38876	40.00	80.94	83.01	32.38
Mazatlán	112895	75.92	63.81	69.14	48.44
Mérida	239924				
Mexicali	237131	86.00	98.00	64.77	84.28
Monterrey	898168	73.82	99.00	94.31	73.08
San Juan del Río	49752	60.00	77.25	83.54	46.35
Tapachula		58.00		47.00	
Tepic	87385		70.20	70.20	
Villahermosa	72968		32.00	88.00	
Zacatecas	73048	46.09	90.16	90.16	41.55
<b>Promedio</b>	<b>251937</b>	<b>58.71</b>	<b>78.42</b>	<b>78.02</b>	<b>49.61</b>
<b>Mínimo</b>	<b>23925</b>	<b>21.00</b>	<b>32.00</b>	<b>41.55</b>	<b>30.76</b>
<b>Máximo</b>	<b>1582107</b>	<b>86.00</b>	<b>99.00</b>	<b>94.85</b>	<b>84.28</b>



## 9. CONCLUSIONES DEL PROYECTO POR CAPÍTULO

### 9.1 Capítulo 2, Recopilación y análisis de la Información general

Se encontró que no existe compatibilidad en las coordenadas de referencia entre los planos digitales en AutoCad que utiliza la JMAS en sus actividades cotidianas (catastro de redes, estudios de factibilidad, políticas de operación) con los planos digitales de otras dependencias como son: Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI) o el Instituto Municipal de Planeación de Chihuahua (IMPLAN), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), entre otras; esto dificulta complementar información generada por dichas dependencias, lo que permitiría mejorar, comparar o actualizar planos con nueva planimetría, topografía a mayor detalle, nuevos fraccionamientos a incorporarse a la ciudad, etcétera. Se recomienda a la JMAS cambiar de coordenadas arbitrarias a coordenadas UTM en todos sus planos lo anterior, con la finalidad de alcanzar una mayor compatibilidad de información proveniente de otras dependencias, así como del sistema de coordenadas implementado en los equipos digitales de medición existentes en el mercado.

### 9.2 Capítulo 3, Información Básica

La población en la ciudad de Chihuahua presenta una tasa de crecimiento acelerado, en promedio del 3.14%, esto va de la mano con la tasa de crecimiento promedio de la superficie que ocupa la mancha urbana de la ciudad que es del 3.78%. Considerando esta información y de acuerdo a la población actual estimada a partir del número de usuarios domésticos registrados en la JMAS en diciembre del año en curso, se concluyó que la proyección realizada por la CONAPO subestima el crecimiento poblacional por lo que se seleccionó el método de ajuste por mínimos cuadrados, y a partir de éstos realizar la proyección de la demanda de agua potable para el año 2030.

Por lo anterior y con base en las proyecciones de la demanda (Tabla 3.16) y tomando como referencia la oferta actual y concesionada que presenta la JMAS (4766 l/s), la demanda en invierno es posible cubrirla hasta el año 2020, sin embargo debido al incremento del consumo por parte de los usuarios la demanda en verano sólo será posible satisfacerla hasta el año 2013. Siempre que se puede ejercer la totalidad del caudal concesionado Por tal motivo, a partir de ese año será necesaria la alternativa de nuevas fuentes de abastecimiento.

Aunque es importante mencionar que actualmente la JMAS tiene capacidad para extraer un caudal máximo de 4027 litros por segundo, caudal muy similar al gasto máximo diario demandado en el año 2008 de 4050 l/s, (demanda de verano) por lo que es necesario incrementar el gasto de suministro a la ciudad para evitar los problemas de suministro. Esto sumado a las acciones adicionales para la sectorización con el fin de distribuir equitativamente el servicio



Si se toma en cuenta sólo el volumen de agua producido de 4,027 l/s, la demanda de verano no es posible satisfacerla en la actualidad, esto se refleja en los horarios de servicio tandeado que tiene la JMAS en algunos sectores de la ciudad.

La limitante de igualar el gasto ofertado al concesionario consiste en la dificultad de explotación/exploración de las fuentes subterráneas de los acuíferos de los que actualmente se abastece la ciudad, ya que aunque aún se tiene la posibilidad de incrementar el caudal de extracción éstos presentan problemas tanto de calidad como capacidad para encontrar los caudales óptimos de explotación. Por lo que es necesario estudios integrales en este rubro.

Si se considera el volumen de agua concesionado, la oferta disponible de agua en la ciudad de Chihuahua cubriría la demanda requerida, considerando que la JMAS tiene un caudal concesionado de 4766 l/s, por lo tanto, sería posible un servicio de 24 horas continuo sin necesidad de realizar tandeos en ambas estaciones. Esto sumado a las acciones adicionales para la sectorización con el fin de distribuir equitativamente el servicio.

La demanda de la ciudad presenta dos escenarios: invierno (de octubre a abril) y verano de (de mayo a septiembre). Esta situación conlleva a tener dos tipos de caudal por satisfacer: en invierno se tiene el gasto medio diario de 2878 l/s y en verano el gasto máximo diario de 4029 litros por segundo. El primero satisface la demanda durante la época invernal y el segundo cubre la demanda en el periodo de verano.

De la proyección de demanda y población, se establece que para el año 2015, la JMAS deberá contar con nuevas fuentes de suministro, ejerciendo el total del caudal concesionado, es decir, es necesario incrementar la capacidad de extracción e igualar a los derechos concesionados y si se desea satisfacer la demanda de agua para el año 2030, la Junta Municipal de Agua y Saneamiento deberá contar con un caudal de suministro de 7652 litros por segundo. Por lo que es necesario incrementar los derechos a partir del 2015 y la extracción física desde el presente año hasta igualar al volumen concesionado.

De la misma proyección de la demanda se realizó el cálculo para la capacidad de regulación, esto con el fin de satisfacer las variaciones horarias en la demanda de agua de la población. Para el año 2008 es necesario una capacidad de regulación de 47,222 m<sup>3</sup> y para el año 2030 se requerirá una capacidad de 84,168 m<sup>3</sup>, en el capítulo 3 se muestra la capacidad de almacenamiento de los tanques superficiales y elevados; en la actualidad se cuenta con una capacidad de regulación de 146,085 m<sup>3</sup>, lo que da 3.30 veces más que la requerida para regular los usos horarios de la demanda del año actual y 1.73 veces la capacidad de regulación requerida para el año 2030, es decir que en el rubro del almacenamiento de agua en la ciudad se esta sobre dimensionada la capacidad de regulación.

Es importante mencionar que si bien, la capacidad regulación es mayor que la requerida, lo que indicaría que no es necesario ejecutar obras adicionales, será necesario por medio del análisis hidráulico revisar si la ubicación para la construcción de algún nuevo tanque permitirá homogenizar presiones y amortiguar las variaciones horarias de alguna zona de la ciudad, con lo



que se validará su instalación e implementación en campo. Debe entonces empatarse el análisis cualitativo (mediante el análisis hidráulico de funcionamiento) al cuantitativo para definir reubicación de estructuras de almacenamiento o construcción de nuevos tanques de regulación.

En cuanto a los usos autorizados no medidos que representan el 4.07 %, se recomienda llevar a cabo un registro de los volúmenes consumidos en este tipo de usuario, esto con fines de realizar un balance de agua más confiable, además de que esto permite llevar un control detallado de la cantidad de agua entregada a los mismos.

### 9.3 Capítulo 4, Descripción del sistema

La fuente de abasto de agua superficial es irregular o no permanente y por lo tanto no es segura para el sustento del suministro de agua potable; además todos los embalses existentes fueron construidos a principios de los años 1900 (incluida la presa Chihuahua), no contando con mantenimiento están prácticamente inoperables.

La presa Chihuahua es la única que suministra volúmenes al abasto de agua potable de la Ciudad, aportando un volumen de los meses de mayo a julio de 374,100 m<sup>3</sup> que representa un 0.46% del volumen suministrado a la ciudad desde los meses de enero a diciembre del 2007; Es importante señalar que la JMAS cuenta con derechos de extracción de agua superficial que no puede ejercer por que la presa no alcanza a almacenarlos debido a la variabilidad de los caudales escurridos en su cuenca.

En cuanto a las fuentes de extracción de agua subterránea, se definen para la Ciudad tres cuencas geohidrológicas/acuíferos; los cuales en resumen presentan en el balance técnico realizado por la CNA lo siguiente:

Acuífero Chihuahua-Sacramento.-El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga de 65.8 Mm<sup>3</sup>/año y una descarga de 124.8 Mm<sup>3</sup>/año por lo que el cambio del almacenamiento subterráneo es de -59 Mm<sup>3</sup>/año. Se esta **sobreexplotando**

Acuífero Tabalaopa-Aldama.- el acuífero tiene una recarga de 55 Mm<sup>3</sup>/año y una descarga de 66 Mm<sup>3</sup>/año por lo que el cambio del almacenamiento subterráneo es de -11 Mm<sup>3</sup>/año, en otras palabras. Se esta **sobreexplotando**

Acuífero Saúz-Encinillas.- el acuífero tiene una recarga de 106.5 Mm<sup>3</sup>/año y una descarga 143.3 Mm<sup>3</sup>/año, por lo que resulta un cambio de almacenamiento de -49.7 Mm<sup>3</sup>/año. Se esta **sobreexplotando**

En cuanto a definición de disponibilidad de concesiones o derechos de extracción de aguas subterráneas también realizada por CNA, conforme a la metodología indicada en la "NOM-011-CNA-2000," en los tres acuíferos se tiene:



- **Acuífero Chihuahua-Sacramento.-** La disponibilidad se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPGA, de esta forma la disponibilidad es de 47'756,890 m<sup>3</sup>/año. Se recomienda que las nuevas concesiones se realicen fuera del área de abatimientos y concentración de pozos actuales.
- **Acuífero Tabalaopa-Aldama.-** Las cifras estimadas por CNA, indican que existe volumen disponible de 22'992,746 m<sup>3</sup>/año para nuevas concesiones, cuidando desde luego no concentrar las nuevas extracciones en zonas con alta densidad de aprovechamientos actuales
- **Acuífero Saúz-Encinillas.-** Según los cálculos de CNA, existen volúmenes disponibles de 48'250,846 m<sup>3</sup>/año, para nuevas concesiones, aunque debe cuidarse el otorgamiento en sitios donde existen abatimientos de del nivel del agua.

Cabe hacer mención que aun existiendo disponibilidad para obtener nuevos derechos de extracción en los tres acuíferos, éstos al final están regidos por las declaratorias de veda en los tres acuíferos que datan para: ACHS 1952, ATA 1953 y ASE 1978; siendo esta limitante para emplazar nuevos pozos, concretándose a: la autorización de redistribución de volúmenes de los derechos ya otorgados, sustitución de pozos y compra derechos a otros usuarios que ya cuenten con ellos.

En cuanto al balance de los derechos o títulos concesión de extracción de agua subterránea que tiene la JMAS en los diferentes acuíferos (ver Tabla 9.1); podemos señalar el siguiente resumen, considerando un caudal máximo de explotación con la infraestructura existente de 4027 litros por segundo.

**Tabla 9.1. Balance de derechos ejercidos en los acuíferos de Chihuahua**

Acuífero	Gasto autorizado (derecho de extracción otorgados por la CNA (l/s)	Capacidad máxima de caudal de explotación	balance de derechos ejercidos
Saúz Encinillas	1350.39	840.2	510.19
Tabalaopa Aldama	874.85	1213.4	-338.55
Chihuahua Sacramento y Ojos de Chuviscar (OCH)	2540.85 (572.55 son de OCH)	1973.4 (216.2 OCH)	567.45 (356.35)
Total	4766.09	4027	

- **Acuífero Chihuahua-Sacramento**

Los derechos disponibles (356 l/s) se encuentran emplazados en la zona denominada OCH; dado su situación geomorfológico que dificulta la exploración y por ende la explotación de gastos



sustentables, ha sido casi imposible su ejercicio. Se tienen estudios de prospección geohidrológica realizados por JCAS-CNA

Los demás derechos (210 l/s) otorgados en este acuífero se encuentran en la superficie vedada (en el valle); donde la normatividad que existe en relación a esto, *“es que en los acuíferos en zona de veda no es posible hacer la transferencia de derechos aun dentro de las mismas cuencas geohidrológicas”*. En cuanto al valle del ACHS la explotación adicional es solo posible con la redistribución de gastos entre aprovechamientos, sustitución de pozos o en su defecto en la compra de derechos de concesión.

- Acuífero Saúz-Encinillas

Donde se encuentran las baterías de la JMAS es también un lugar muy estresado hidrológicamente por la actividad agrícola, delimitando entonces la zona de ejercicio de los derechos disponibles más hacia el norte en el valle; donde se han encontrado parámetros con concentraciones mayores a los límites permisibles para el consumo de agua potable, dando mala calidad del agua y además con poca productividad hidráulica. Esto determinado con estudios realizados por JCAS-CNA.

En cuanto a la estructuras de almacenamiento, en capítulos posteriores se hará el análisis cualitativo (sectorización), mediante la modelación para determinar la rehabilitación e incorporación de los 2 tanques superficiales que se encuentran fuera de servicio, que en total suman 5,500 m<sup>3</sup> de volumen para almacenamiento. Además se tienen 16 tanques elevados con capacidad total de 2350 m<sup>3</sup> de almacenamiento que no se utilizan.

El análisis cuantitativo de la capacidad de infraestructura instalada y fuera de operación; por la inversión en dicha estructuras y la posibilidad de que cada tanque cuente con una zona de influencia definida y una política de operación para el llenado y vaciado de los mismos. Esto facilitará las labores de operación y planeación de la Junta.

La capacidad de los tanques superficiales no está directamente relacionada con su área de influencia, ya que encontramos tanques de menor capacidad con mayor área de influencia, así mismo su superficie de servicio no está delimitado por elevaciones piezométricas.

En cuanto a los registros de la política de operación mediante telemetría y manual, es necesario escalar y automatizar el proceso de registro de los datos para tener estadísticas que coadyuven al análisis y toma de decisiones.

#### **9.4 Capítulo 5, Funcionamiento del sistema**

A pesar de que se tienen instalados macromedidores a la entrada de 54 colonias, la JMAS no cuenta con un programa establecido para registrar los volúmenes de entrega de agua a los usuarios de dichas colonias, por lo que se recomienda llevar un registro permanente y periódico de los macromedidores instalados, esta medición debe coincidir con la medición mensual realizada para



la facturación que hace la Dirección Comercial; con la finalidad de establecer balances de agua por colonias y con ello facilitar la detección de fugas en la red principal y para fines de comparación con los volúmenes de agua registrados en los medidores domiciliarios. Las mediciones en los macro medidores se recomiendan que sean llevados a cabo por la Dirección Técnica y compartidos con la Dirección Comercial, para la evaluación de las eficiencias física por parte de la Dirección Técnica y eficiencia comercial de la colonia por parte de la Dirección Comercial y establecer programas en conjunto

En cuanto a las Conducciones, se recomienda llevar registro estadístico del historial de mediciones de caudales realizadas con equipo ultrasónico en las ocho conducciones, en puntos específicos y establecidos que definan los volúmenes de entrega a red y de los caudales de entrada a tanques principales y de salida de estos volúmenes hacia la distribución en su zona de influencia, a partir de ello se determinará la distribución de gastos en las mismas y la detección de posibles fugas.

De acuerdo a los reportes estadísticos entregados por el CIS, el 62.32 % de la red de agua potable esta en buen estado. El 23.24 % requiere de un programa de detección y reparación de fugas y el 14.43% de la red debe ser rehabilitado.

Cabe señalar que en casi el 40% de la longitud de la red es necesario un análisis a detalle para jerarquizar la reposición de tramos de tuberías.

También es visible que este problema se concentra en la parte centro-sur de la Ciudad, considerando que ahí es donde se tienen las líneas con mayor vida útil y por ende las tuberías mas viejas donde se tiene mayor incertidumbre en el catastro.

## **9.5 Capítulo 6, Campaña de medición**

De la campaña de verificación de exactitud de medidores domiciliarios, se encontraron diferentes marcas: Arad, Azteca, Cicasa, Invensys, Kent, Schulemberger y Sensus. En total se verificaron una muestra de 416 medidores de la cual se desprende lo siguiente:

- Los medidores Azteca (51 medidores de los 416 verificados), sólo el 35.29 % de ellos midió dentro del rango de  $\pm 2.0$  % de error, el 49.02 % submidió el volumen con un error promedio de -12.73% y el 15.69% sobremidió el volumen con un error promedio de 2.48 por ciento. Esto se debe a que la mayoría de los medidores Azteca verificados en campo (56.9%) tienen más de 10 años de haberse instalados.
- En cambio los medidores Arad (se verificaron 123 de los 416 medidores), 62.60 % de la muestra cayó dentro del rango de medición correcto de  $\pm 2.0$  %, esto se debe a que la mayoría de los medidores (88.62%) se instaló después del año 2003.
- En cuanto a los medidores Invensys (se seleccionaron 23 de los 416 medidores), el 60.87 % de la muestra midió dentro del rango de  $\pm 2.0$  % de error, éstos medidores también se instalaron después del año 2002.



- De los medidores de marca Schulemberger (se verificaron 28 de los 416 micromedidores), el 57.14 % de los medidores está dentro del rango de error de medición, éstos a pesar de haberse instalado en los años de 1997 y 1998, se encuentran midiendo de manera correcta.
- En cuanto a los medidores Sensus (se seleccionaron 188 de los 416 medidores), el 56.97% de los medidores esta en el rango de error con el  $\pm 2.0$  %. Los micromedidores de esta marca se empezaron a instalar en el año del 2000 en adelante.
- De la marca Cicasa y Kent, la muestra de medidores verificados en campo es muy pequeña por lo que no es posible concluir su estado de funcionamiento.
- También hay que mencionar que la selección del punto de medición de micromedición, en varias ocasiones tuvo que ser reemplazado por el micromedidor aledaño, ya que el micromedidor o punto seleccionado no presentaba condiciones para su medición, algunos de los factores eran: que se encontraban aterrados o no funcionaban, o no había medidor. Por lo que se recomienda. una actualización de catastro de medidores, con la finalidad de identificar aquellos que se encuentran dañados y sustituirlos.

De la verificación en el error de medición se desprende que la edad de instalación en los mismos influye en su exactitud, por lo que se recomienda establecer una campaña de rehabilitación o sustitución de los medidores domiciliarios con más de 10 años de edad.

Es importante mencionar que durante la campaña de medición de caudales en las conducciones, no se detectaron fugas de agua visibles en ninguna de las tuberías o cajas de válvulas.

En cuanto a la medición de caudales en las conducciones. En Puerta de Chihuahua, el caudal registrado con el equipo ultrasónico fue de 416.39 l/s y el gasto registrado en los macromedidores de cada uno de los seis pozos que suministran agua esta conducción fue de 413.38 l/s, por lo que se observa que los macromedidores instalados tienen un buen funcionamiento.

En la conducción Ojos de Chuvistar, el gasto medido con el equipo ultrasónico fue de 209.54 l/s y el registrado en los macromedidores fue de 203.9 l/s, una diferencia de 5.64 l/s que representa un error del 2.76 por ciento, un error pequeño por lo que se considera que los macromedidores instalados tienen un buen funcionamiento.

En la conducción EL Sáuz, no fue posible verificar los macromedidores en las baterías de pozos, ya que no se realizó una medición de caudal en el punto donde confluyen los gastos de los pozos. Aunque se tiene una medición de cuadales de los puntos de entrega a la red y llegada a tanques.

En las conducciones Tabalaopa Aldama, Aldama Nombre de Dios, dado la selección de muestra de macromedidores instalados en pozos, no se verificó la exactitud de los macromedidores instalados en los pozos.

Para la medición de caudales en la conducción Panamericana, el gasto promedio fue de 151.00 l/s registrado en el equipo ultrasónico. Este gasto resulta ser mayor que el registrado en los macromedidores de los pozos Panamericana 4 5 y 7, que son los suministran agua a esta



conducción, el caudal de los macromedidores es de 127.47 litros por segundo por lo que se recomienda verificar estos macromedidores.

Para la conducción Sacramentos Norte, se encontraron diferencias entre el caudal registrado en los macromedidores de los pozos Sacramento Norte 1 a 4 igual a 108.39 l/s y el caudal registrado con el ultrasónico de 129.93 l/s. El caudal registrado en los macromedidores de los pozos Sacramento Norte 5 a 7 fue de 104.65 l/s y el registrado con el ultrasónico fue de 141.08 l/s, por lo que es recomendable verificar estos macromedidores.

Si bien la JMAS realiza un monitoreo de caudales en las ocho conducciones de la ciudad, no se tiene un registro de los mismos, además tampoco se tiene una medición del gasto que se entrega en las derivaciones de agua hacia la red de distribución, por lo que se recomienda programar una campaña de medición de caudales en estos puntos por lo menos en las épocas de verano e invierno para conocer la distribución de caudales dentro en las conducciones, con lo que se podrán hacer balances de agua más confiables.

En cuanto a las eficiencias electromecánicas en pozos y rebombes se tiene que las eficiencias electromecánicas calculadas en los Pozos: Aeropuerto III, Sáuz 12, Rebombero Coronel y Rebombero El Sáuz, son menores a 55%, por lo que se recomienda su rehabilitación o sustitución. Esto resulta del análisis de la muestra seleccionada para la verificación de macromedidores y cálculo de eficiencia (12 puntos), por lo que se recomienda evaluar los demás macromedidores y equipos de los pozos con la misma metodología.

Del análisis estadístico de las eficiencias globales que lleva a cabo mes con mes el Departamento de Suministro de la JMAS se desprende que: el 45 % (56 pozos) de los pozos presentan eficiencias menores del 55% por lo que se recomienda reparar o sustituir el conjunto bomba motor. De hecho la JMAS ya cuenta con un programa de sustitución de 28 equipos de bombeo mismos que se llevarán a cabo en el año 2008.

Los 69 pozos restantes presentan eficiencias globales mayores a las recomendadas por la Norma de la Secretaría de la Energía NOM-001-ENER-2000.

En cuanto al Factor de potencia, sólo se encontraron 4 pozos profundos de los 125 pozos activos con factores de potencia menor al 0.90, estos son: Paseos la Concordia, Sacramentos Norte 1, CTU Chichontepec, y Villa Dorada. Se recomienda instalar un banco de capacitores para corregir el Factor de Potencia por lo menos a 0.90.

También se encontró, del análisis estadístico del mes de enero a diciembre, que existen pozos que no operaron, por ejemplo el pozo Sáuz No. 2 no operó dos de los doce meses analizados. En total son 33 pozos que estuvieron parados uno a más meses. Este paro se debe en ocasiones a problemas de vandalismo para robarse el cobre, esto afecta muy a menudo el suministro de agua a la ciudad. Se recomienda implementar un programa de supervisión y protección de la infraestructura hidráulica de la ciudad. O en su defecto hacer un formato de observaciones en



cuanto a los paros para evaluar correctamente el funcionamiento de los pozos, si es por ahorro de energía u otro factor.

De la medición de presiones en 400 puntos de la red de distribución, se distinguen dos horarios de tandeo de agua, el primero de las 0:00 a las 5:00 de la mañana y el segundo de las 10:00 a las 16:00 horas (El departamento de Red Hidráulica tiene identificadas en un plano las zonas con los horarios de servicio antes descrito).

Se distinguieron 16 zonas de influencia que tienen este horario de suministro agua como: Tanque Colina, Tanque Cerro Grande, Tanque 1 y 4, Pozo Cima – Ferrocarriles y Convenciones, Pozo 7, Tanque Nombre de Dios, Pozo concordia, Pozo Galera 1 y 2, Conducción Ojos de Chuviscar, Pozo Urueta, Tanque Loma Larga, Tanque A y Conducción El Sáuz, Tanque B, Tanque Santa Rita, Tanque Filtros y la parte norte de la zona de influencia del Tanque Saucito.

En las otras zonas de influencia restantes se tienen otros horarios de suministro (de las 5:00 a las 20:00 horas); en general se observa que en estas zonas de influencia de la ciudad no se tiene problemas por bajas presiones, sólo en las partes altas de las zonas de influencia del Pozo 7, Rebombeo Paso del Norte, Rebombeo Cerro Prieto, Pozo Concordia, Tanque A-Conducción El Sáuz y Tanque Esperanza, registran presiones menores a 5 metros columna de agua.

Del análisis del estatus de válvulas de seccionamiento, esta actividad permitió actualizar, por un lado el catastro de las válvulas de seccionamiento, reductoras de presión, On-Off y por otro actualizar y reconfigurar las zonas de influencia de los Tanques y Pozos, además de identificar los Distritos hidrométricos que se pueden implementar de manera directa y a un costo mínimo por parte de la JMÁS.

Así por ejemplo del Tanque Panamericana se identificaron 7 subzonas que pueden ser implementadas como distritos hidrométricos, En el Tanque Colina se tiene 7 Subzonas que se pueden implementar también a un costo mínimo (sólo se debe instalar un macromedidor en la entrada de estas subzonas) como distrito hidrométrico, además en esta zona se actualizó su área de influencia.

La zona de influencia del Tanque Norte 2 también se actualizó de acuerdo a la operación de válvulas de seccionamiento y reguladoras de presión se identificaron 3 subzonas a ser implementadas como distritos hidrométricos a un costo mínimo.

En cuanto a la actualización del catastro de la red, se revisaron, en gabinete, todas las zonas de influencia de tanques, pozos y rebombeos, en el que se indicó, el estatus de las válvulas, los límites de los sectores, la condición de operación de las válvulas reguladoras y los diámetros de las tuberías. La revisión en gabinete del catastro fue el 100% de la red de distribución.

Aunque la gente de Red Hidráulica de la JMÁS, reconoce que existen zonas de la ciudad, como: el Tanque A, el Tanque B, Tanque Filtros, Rebombeo y Tanque Coronel y Tanque 2 de Octubre, en donde se tiene incertidumbre de la información contenida en los planos, estas zonas representa



el 8.3% de la longitud total de la red, por lo que se recomienda, realizar una actualización del catastro en dichas zonas complementadas con actividades de campo para corroborar o actualizar la información contenida en los planos.

## **9.6 Capítulo 7, Balance volumétrico**

En cuanto al balance de agua o auditoría del agua se encontró que el sistema presenta un 38.53% entre lo que son las pérdidas físicas (fugas en tomas domiciliarias, en la red de distribución y en cajas de válvulas) y el agua no contabilizada (por usuarios clandestinos, mala medición, etcétera).

En la Tabla 7.11 y Tabla 7.12 se muestra de manera resumida como se distribuyen las pérdidas de agua en el sistema: Del volumen total suministrado, 59.71 % se consume por usuarios de servicio medido y de cuota fija. Del 40.29% de pérdidas se recupera el 1.76 % con la reparación de fugas en tomas y red de distribución.

El restante 38.53% de pérdidas potenciales se estima que el 6.88 % se pierde por fugas en tomas domiciliarias, el 14.31 % se pierde por fugas en la red de agua potable primaria, secundaria y cajas de válvulas y el 17.34 % se pierde por consumos no autorizados como pueden ser usuarios clandestinos, usuarios fraudulentos y subsidios.

## **9.7 Capítulo 8, Eficiencias del sistema**

Si bien es importante mencionar que en todas las eficiencias con las que se comparó la ciudad de Chihuahua se encuentran por arriba de la media Nacional, lo que indica del buen funcionamiento del sistema de agua potable, sería conveniente realizar esfuerzos para incrementar tanto la eficiencia física hasta lograr un 80% y la eficiencia comercial llevarla hasta un 93 por ciento.

Debido a la cantidad de equipos de bombeo, es necesario realizar un estudio específico para calcular las eficiencias de los equipos instalados y de los que se encuentran en operación, ya que se encontraron inconsistencias para determinar una eficiencia electromecánica promedio de la totalidad de los equipos. Así como el índice de costo energético.

En cuanto a los índices de continuidad y de administración de demanda será posible determinarla de manera general al final de la simulación del sistema de distribución (mediante el modelo de simulación y que se describe en la Parte 2 del informe).



## 10. RECOMENDACIONES

La JMAS deberá atender las siguientes recomendaciones:

- Revisar técnicamente los “tanques tipo” que se construyen en los nuevos fraccionamientos, con el objetivo de garantizar un servicio (presión adecuada) correcto a los consumidores, además de evitar almacenamiento de volumen “muerto”.
- Evitar la construcción de infraestructura (pozos y tanques), sin previamente realizar un análisis hidráulico del impacto que éstas tendrán en las diferentes fuentes de abastecimiento aledañas.
- Habilitar la infraestructura que se encuentra fuera de operación dado que representa una inversión elevada para la JMAS.
- Ejecutar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de los numerosos equipos de bombeo y pozos profundos existentes en la ciudad.
- Si bien la JMAS lleva a cabo un programa mensual de cálculo de eficiencias electromecánicas en los pozos profundos, es recomendable que variables como la medición del nivel dinámico se realice con más detalle ya que en los registros entregados al IMTA para el año 2007 se encontró que en algunos pozos esta variable presenta inconsistencias en lectura en campo.
- Implementar un programa de ahorro de energía; esto estaría ligado a la reposición de equipo de bombeo de eficiencia estándar por equipo de alta eficiencia.
- Debido a las ventajas que ofrece en la operación del sistema y control de niveles en tanques y caudales en las conducciones, la JMAS deberá dar seguimiento al programa de automatización (telemetría) en los equipos de bombeo y tanques que aún no cuentan con el mismo, además de crear una base de datos digital de reportes y bitácora que se utilizan para el registro de la operación de válvulas y encendido y apagado de los equipos de bombeo, ya que actualmente esto se realiza de manera manual.
- Se debe establecer una campaña permanente de monitores de caudales y presiones en diferentes puntos de las conducciones, con la finalidad de conocer la distribución de los mismos e identificar problemas de fugas de agua.
- Implementar un programa de sectorización en la ciudad de Chihuahua. Esto permitirá y ofrecerá una mejor organización desde el punto de vista comercial y operativo.
- De forma particular la sectorización en la ciudad obedece al considerable número de fuentes de abastecimiento, regulación, rebombeo y almacenamiento que existen en la ciudad.
- Actualizar el catastro de la red de distribución de forma simultánea a la sectorización, además de verificar los micromedidores y la vinculación predio-contrato.
- Una vez identificada y asignada la fuente de abastecimiento a cada uno de los sectores que la JMAS vaya construyendo, esta fuente se considerará de forma permanente y únicamente el personal de Red Hidráulica (o el que asigne la JMAS) tendrá la facultad de reasignar la misma a otra zona de la ciudad. Con ello se evitará una distribución irregular



de los caudales en tiempo y espacio. Esto permitirá además mejorar la organización en cuanto a estudios de factibilidad se refiere.

- Una vez que se tenga la sectorización de alguna zona de la ciudad, la JMAS deberá establecer un programa de monitoreo de caudal y presión, empleando los equipos de medición de caudal y registradores de presión adquiridos recientemente.
- Implementar un programa de detección y disminución de pérdidas en los sectores que se vayan implementado en la ciudad, para esto se recomienda la adquisición de equipos detectores de fugas (geófonos), con esta actividad se logra la disminución de pérdidas totales y a partir de ello se incrementará la eficiencia física.
- La incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento deberá analizarse con detenimiento, debido al programa de sectorización, ya que se podría modificar el diseño de los sectores hidrométricos.
- Crear el área de modelación de redes con Infoworks WS, encargado de las labores afines a la sectorización, incluye funciones y responsabilidades (la JMAS ya comenzó con la designación de una persona que se está capacitando en el manejo del software y el modelo de la red de Chihuahua, además ya adquirió nuevas computadoras para esta tarea).
- Dar seguimiento al modelo de simulación matemática entregado por el personal del IMTA, con la finalidad de mantenerlo actualizado, de acuerdo se vaya modificando el catastro de la red, instalando nuevos tanques, pozos o rebombes. El departamento de fotogrametría deberá informar al área de simulación de las actualizaciones del catastro que se vayan dando para que éstos lo implementen en el modelo de simulación.
- Relacionar e Identificar cada toma domiciliaria o usuario del servicio con el número o nombre del sector hidráulico (o distrito hidrométrico) que le corresponda y su ruta de lectura del departamento comercial, esto con la finalidad de realizar balances de agua dentro de cada zona de influencia de tanques o pozos profundos y facilitar el cálculo de las eficiencias, física, comercial y global.
- Realizar un estudio detallado de los usuarios autorizados no medidos (cuota fija o niple) con el objeto de conocer el consumo real de éstos y a partir de ello afinar la auditoría del agua.
- La JMAS deberá disminuir el porcentaje de usuarios no medidos autorizados con el objeto de tener un mejor control de los volúmenes entregados y consumidos, esto permitirá afinar aún más el balance de agua.
- Promover el apoyo de programas de financiamiento para el mejoramiento de la infraestructura (ejemplo, BANDAM o NADBANK).



## 11. ANEXO A. RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE MICROMEDIDORES DOMICILIARIOS.

**Tabla 11.1. Muestra de medidores verificados en campo.**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
1	Toribio Ortega 1505	o73581	108242	Sensus	2006	7.47%	3.22%	-13.54%	-0.95%
2	Av. Del Campestre 40	o194410	49491719	Sensus	2000	6.42%	2.64%	10.00%	6.35%
3	94 1/2 # 1816	o168596	764478	Azteca	-	-3.87%	-3.74%	-5.00%	-4.21%
4	94 1/2 # 1818	o168597	76079	Sensus	2002	0.63%	-0.47%	-13.26%	-4.37%
5	Revilla 5404	o95295	9890	Azteca	-	1.35%	-0.12%	-0.40%	0.28%
6	Paseos del Bosque 2311	o122605	47482	Arad	2005	1.68%	-4.97%	-4.97%	-2.75%
7	Calle 10 # 3614	o96220	6702	Invensys	2003	-62.99%	-60.65%	-66.00%	-63.21%
8	Mineapolis 3416	o155760	56466406	Sensus	-	-0.40%	-7.30%	-15.00%	-7.57%
9	Santos Fierro # 6200	o105750	25725	Sensus	2000	-9.24%	-4.05%	-8.18%	-7.16%
10	Peabble Beach 5501	o254054	534000	Arad	2005	1.78%	0.93%	1.00%	1.24%
11	Novena # 1700	o69881	394632	Arad	2004	0.43%	0.63%	2.00%	1.02%
12	Novena # 1505	o69843	37215	Azteca	2000	-7.55%	-17.20%	-95.00%	-39.92%
13	Niños Heroes # 1507	o73358	9106	Azteca	2000	-20.48%	-20.24%	-20.04%	-20.25%
14	Niños Heroes # 1510	o73333	16716	Azteca	2000	-2.91%	2.44%	-10.00%	-3.49%
15	Priv. 13 Septiembre # 907	o72535	711749	Azteca	1995	8.56%	-0.60%	0.00%	2.65%
16	Parque de Murillo 10109	f254382	396067	Arad	2004	1.23%	1.66%	6.00%	2.96%
17	Paseos del Azteca 9261	f261835	556476	Arad	2005	0.33%	-4.74%	-1.00%	-1.80%
18	Paseos del Criollo 9614	f268529	12065253	Sensus	2006	5.84%	11.55%	-13.00%	1.46%
19	Paseos del Criollo 9623	f248533	285558	Arad	2002				
20	López Mateos 710	o69771	136994	Invensys	2002	-0.51%	-1.15%	-1.00%	-0.89%
21	López Mateos 503	o69618	57082	Sensus	2000	-2.31%	1.35%	8.40%	2.48%
22	Niños Heroes 1512	o73332	563445	Arad	2005	-1.45%	-0.66%	-99.00%	-33.71%
23	Priv. 13 Septiembre # 1906	-	514894	Arad	2005	-1.79%	-3.45%	0.00%	-1.75%
24	Parque de Murillo 10149	o257468	514722	Arad	2005	-1.63%	0.76%	1.00%	0.04%
25	Parque de Murillo 10143	f254857	480793	Arad	2005	5.38%	1.75%	0.00%	2.38%
26	Paseos del Caspio 10019	F248027	529981	Arad	2005				
27	Av. Lipiziano 10019	f265603	541883	Arad	2005	-2.36%	-0.20%	0.00%	-0.85%
28	Av. Lipiziano 10019 A	f265604	75747	Sensus	2005	-0.07%	-2.99%	14.00%	3.65%
29	Toribio Ortega 1505	o73581	108242	Sensus	2006	-3.30%	-0.53%	-9.18%	-4.34%
30	Toribio Ortega 1504	o73613	511109	Azteca	1998				
31	Toribio Ortega 1515	o73584	2070240	Sensus	2006	5.10%	1.39%	9.00%	5.17%
32	Toribio Ortega 1521	o73586	50549	Azteca	1994	2.58%	-0.73%	-30.00%	-9.38%
33	Toribio Ortega 1525	o73588	529901	Arad	2005	-0.14%	0.86%	-6.00%	-1.76%
34	Av. Equus 9428	f260588	516053	Arad	2005	-0.89%	-0.63%	0.00%	-0.51%
35	Av. Equus 9426	f259712	517447	Arad	2005				
36	Edward Gibbon 5203	m278356	2072689	Sensus	2006	3.02%	5.07%	-2.00%	2.03%
37	Av. Equus 9422	f261284	535266	Arad	2005	1.78%	1.36%	2.00%	1.71%
38	Islas Robinson 9405	f262140	534882	Arad	2001	1.03%	3.26%	6.89%	3.73%



**Tabla 11.2. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
39	Islas Robinson 9419	f259883	518004	Arad	2005	-2.33%	-1.90%	9.55%	1.77%
40	Islas Robinson 9216	f270831	106942	Arad	2006	1.99%	-0.83%	2.00%	1.05%
41	Edward Gibbon 5211	m278359	2072483	Sensus	2006	15.07%	7.65%	14.00%	12.24%
42	Toribio Ortega 1537	o189118	13877	Sensus	2000	-1.64%	-0.83%	-16.50%	-6.32%
43	Toribio Ortega 1515	o73584	0	Sensus	2000	-1.65%	3.21%	0.89%	0.82%
44	Toribio Ortega 1511	o52654	107042	Sensus	2000	6.30%	2.68%	9.78%	6.25%
45	Toribio Ortega 1507	o73582	516768	Arad	2005	0.43%	2.88%	-9.50%	-2.06%
46	Mina de San Guillermo 6915	o84447	9729969	Schulemberger	1997	2.49%	6.28%	-3.15%	1.87%
47	Mina de San Guillermo 6905	o84450	9748966	Schulemberger	1997	-0.07%	-0.46%	1.00%	0.16%
48	Progreso 6506	f273509	3072067	Sensus	2007	0.56%	-0.16%	-2.00%	-0.53%
49	El Faro 6203	o32590	483608	Arad	2005	4.07%	2.35%	2.90%	3.11%
50	Ejido de los Sauces 6401	f260949	76692	Sensus	2005	-1.23%	-0.93%	0.00%	-0.72%
51	Aldama 5616	o129122	9736141	Schulemberger	1997	0.42%	1.09%	0.00%	0.50%
52	Salomon Gaitan 6613	o82979	482633	Arad	2005	3.83%	0.83%	11.00%	5.22%
53	Ematita 1302	o206105	287990	Arad	2002	-0.79%	-1.12%	-6.19%	-2.70%
54	Rosas 7602	o27022	85918	Sensus	2002	1.23%	1.89%	-10.00%	-2.29%
55	Av. Independencia 6624	o27957	112311	Invensys	2002	1.36%	0.83%	1.00%	1.06%
56	Hacienda del Torreón 3203	o28437	245624	Arad	2005	2.29%	1.59%	4.90%	2.93%
57	Cuauhtemoc 3209	o28434	518511	Arad	2005	0.89%	0.81%	-9.00%	-2.43%
58	Hacienda del Charco 1803	o126603	242395	Arad	2002	2.84%	-1.22%	-6.09%	-1.49%
59	Av. Palestina 10302	o32663	286302	Arad	2003	2.57%	2.17%	2.00%	2.24%
60	Nicolas Bravo 604	o128818	140372	Invensys	2002	0.23%	-0.13%	-10.00%	-3.30%
61	Hacienda del Charco 1803	o126543	247753	Arad	2003	1.28%	-1.12%	-4.00%	-1.28%
62	Hacienda del Torreón 3407	o28428	14420	Azteca	1995	-7.74%	-10.83%	100.00%	-39.52%
63	Cuauhtemoc 3207	o28435	14536	Azteca	1995	2.60%	2.51%	0.00%	1.70%
64	Independencia 6629	-	980456	Schulemberger	1998	-6.14%	-4.95%	-18.00%	-9.70%
65	Rosas 11	o27023	37626	Schulemberger	1997	1.99%	1.92%	8.56%	4.15%
66	Lógica 7418	o217444	25812	Sensus	2000	-2.31%	8.56%	-3.00%	1.08%
67	Salomon Gaitan 6617	o82980	105743	Sensus	2001	3.92%	-0.53%	2.00%	1.80%
68	La India 1506	o82964	6850	Schulemberger	1998	-0.26%	-0.56%	-5.00%	-1.94%
69	Progreso 7103	o129118	478906	Arad	2005	2.15%	2.49%	-3.00%	0.55%
70	Guadalupe Gallardo 9301	f269013	3076572	Sensus	2007	-7.34%	1.92%	6.89%	0.49%
71	Progreso 6503	o129134	54241	Sensus	2000	4.24%	0.40%	6.00%	3.55%
72	Mina San Guillermo 6911	o84448	110659011	Sensus	2006	-7.69%	0.92%	-13.00%	-6.59%
73	Ignacio Ramirez 3619	o90697	246310	Arad	2003	-0.20%	-0.26%	3.00%	0.85%



**Tabla 11.3. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
74	Ignacio Ramirez 3605	o90701	484718	Arad	2005	0.40%	-0.12%	-29.07%	-9.60%
75	32 A # 3817	o242639	541646	Arad	2005	0.51%	0.33%	0.50%	0.45%
76	10 # 3811	o96560	394414	Arad	2004	-0.29%	-2.30%	-3.26%	-1.95%
77	Paseos del Bosque 2313	o122604	267356	Arad	2003	1.76%	0.89%	-1.10%	0.52%
78	Paseos del Bosque 2329	o122598	51517	Arad	2002	-5.33%	-1.69%	0.00%	-2.34%
79	Arrollo de la Hacienda 1818	v228599	585577856	Sensus	2000	2.81%	-0.33%	-0.20%	0.76%
80	Los Conejos 20104	o234324	1867427	Sensus	2002	-0.27%	-0.93%	-14.00%	-5.07%
81	Revilla 5410 A	o95291	244369	Arad	2003	0.86%	4.17%	-11.50%	-2.16%
82	Silvestre Terrazas 8806	o177747	56137	Sensus	2000	4.91%	30.29%	-10.18%	8.34%
83	Benitez 4420	o94867	52783	Sensus	2000	-2.92%	-2.16%	-1.00%	-2.03%
84	Desierto de Mojave 1905	o206980	9806346	Schulemberger	1998	-2.84%	-0.30%	-5.00%	-2.71%
85	Desierto de Mojave 17	-	36025	Sensus	2000	3.28%	-2.21%	3.00%	1.36%
86	32 # 2409	o90634	0	Sensus	2000	1.68%	-4.97%	8.00%	1.57%
87	Calle de los conejos 19904	o155206	71724	Azteca	1994	2.12%	-0.46%	-10.00%	-2.78%
88	Calle de los conejos s/n	o248030	101492	Sensus	2005	-3.67%	-3.30%	-3.30%	-3.43%
89	Hacienda Los Arroyos 1820	v227670	58557855	Sensus	2000	2.65%	-0.53%	0.00%	0.71%
90	Calle de los conejos 13709	o155205	49201	Sensus	2000	-0.66%	-0.27%	5.00%	1.36%
91	34 # 5002	o98944	15049	Azteca	1994	-90.07%	-93.37%	100.00%	-94.48%
92	32 # 3813	o99190	14152	Azteca	1995	-10.24%	-10.54%	-10.18%	-10.32%
93	32 # 3811	o99189	34428	Sensus	2000	-0.99%	-4.79%	5.42%	-0.12%
94	Ignacio Ramirez 3614	o91084	138957	Invensys	2002	0.37%	0.50%	-3.10%	-0.75%
95	Saguaros 1911	o206983	9866945	Schulemberger	1998	0.30%	-0.46%	2.00%	0.61%
96	34 # 3401	o166313	266	Cicasa	2000	2.34%	-0.73%	-3.00%	-0.46%
97	32 # 2417	o90638	247156	Arad	2003	-0.56%	-1.33%	-2.00%	-1.30%
98	Gustavo Flaubert 1337	o184587	3526655	Sensus	2000	4.80%	5.74%	3.48%	4.67%
99	Dostoyesky 1103	o153551	9739181	Schulemberger	1997	-6.38%	-17.19%	-16.00%	-13.19%
100	Hacienda del Nopal # 6529	o158402	56467901	Sensus	2000	-0.03%	-3.98%	0.00%	-1.34%
101	Mineral 3 estrellas # 5514	n259823	521954	Sensus	2005	-2.69%	0.53%	8.00%	1.95%
102	Gabriel Garcia Marquez 3307	o155051	11065956	Sensus	2001	1.78%	-2.12%	-12.00%	-4.11%
103	Dostoyesky 34	o153543	11068470	Azteca	2006	1.26%	0.29%	-6.00%	-1.48%
104	Cumbres Montelinar 2043	o159384	170864	Azteca	1995	-0.92%	-1.02%	-1.67%	-1.21%
105	Cumbres Montelinar 2041	o159385	187237	Azteca	1995	5.66%	2.04%	-20.00%	-4.10%
106	Sierra Nevada 2035	o159347	477714	Arad	2005	-0.75%	0.07%	-1.00%	-0.56%
107	Mineral 3 estrellas # 5514	n259823	516951	Arad	2005	-0.23%	-0.10%	2.00%	0.56%
108	Mineral 3 estrellas # 5528	n258473	516954	Arad	2005	10.02%	-0.23%	3.00%	4.26%
109	Mineral Palmiras 5507	n243097	337283	Arad	2003	0.93%	-0.91%	9.00%	3.00%
110	Gustavo Flaubert 1309	o55418	45522	Sensus	2000	-0.27%	0.63%	0.00%	0.12%



**Tabla 11.4. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
111	Gustavo Flaubert 1325	o55397	607034	Schulemberger	2000	-1.73%	-2.87%	10.00%	1.80%
112	Mineral 3 estrellas 5510	n253111	7094	Invensys	2003	0.17%	-3.44%	9.00%	1.91%
113	G. García # 3317	o155046	519471	Arad	2002	1.55%	1.75%	12.00%	5.10%
114	Haciendas del Nopal 6518	o158415	56468886	Sensus	2000	-4.37%	-4.26%	-20.00%	-9.54%
115	Peabble Beach 10712	-	526451	Arad	2005	-2.90%	0.20%	0.00%	-0.90%
116	Peabble Beach 5501-103	-	291601	Arad	2003	2.17%	1.46%	-2.00%	0.54%
117	Michigan 3217	o155900	56468486	Sensus	2001	-0.36%	-0.01%	-11.13%	-3.83%
118	Michigan 3230	o155893	56468482	Sensus	2000	-0.27%	-0.57%	-60.00%	-20.28%
119	Misión de San Geronimo 8906	o230755	81473	Sensus	2002	-0.89%	0.20%	-1.00%	-0.56%
120	Misión de San Geronimo 8910	o248207	23583	Sensus	2003	3.23%	3.77%	0.00%	2.33%
121	64 # 1809	o105726	67274	Sensus	2000	2.93%	2.88%	-4.00%	0.60%
122	Santos Fierro 6210	o105755	15803	Azteca	1995	-0.53%	2.75%	0.00%	0.74%
123	Azahares 1308	o87536	56982	Sensus	2000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
124	Michigan 3225	o155896	56468484	Sensus	2003	-1.38%	-4.04%	-20.00%	-8.47%
125	Santos Fierro 6206	o105756	8847	Invensys	2003	2.86%	-0.70%	-2.00%	0.05%
126	Azahares 1313	o87454	7011	Invensys	2002	-2.67%	1.44%	-0.10%	-0.45%
127	Santos Fierro 6216	o105758	79854	Sensus	2002	3.64%	3.31%	6.00%	4.32%
128	Azahares 1305	o87450	2917040	Arad	2002	1.03%	0.47%	-9.27%	-2.59%
129	San Jeronimo 8914	p241428	466977	Arad	1995	5.06%	0.96%	6.79%	4.27%
130	Minneapolis 3408	o155756	56466408	Sensus	2000	0.07%	-0.13%	-10.98%	-3.68%
131	Campestre 26	o194040	58554291	Sensus	2000	-0.73%	-0.40%	-10.89%	-4.01%
132	John F. Kennedy 14	o123204	477467	Arad	2005	1.66%	0.06%	11.00%	4.24%
133	Burocrata Federal 8009	o51512	76751	Sensus	2002	8.01%	1.07%	15.65%	8.24%
134	Burocrata Federal 8201	o165121	514796	Arad	2005	2.82%	-3.37%	0.80%	0.08%
135	Vermont 2214	o157188	42264	Azteca	1994	-3.60%	-4.25%	-0.20%	-2.68%
136	Vermont 2203	o157181	63717	Sensus	2000	4.12%	-0.43%	7.11%	3.60%
137	Vermont 2215	o157175	57619	Sensus	2000	-2.15%	0.68%	-1.90%	-1.12%
138	Burocrata Federal 8200	o165098	1064560	Sensus	2000	0.68%	-0.45%	-2.00%	-0.59%
139	Vermont 2202	o157182	112106	Invensys	2002	0.43%	3.57%	-8.55%	-1.52%
140	Vermont 2004	o157252	42058	Azteca	1994	-10.51%	-27.01%	-15.17%	-17.56%
141	Vermont 2017	o157280	40882	Azteca	1994	-13.91%	-17.09%	-19.60%	-16.87%
142	Azahares 1315	o87455	395002	Arad	2004	3.95%	3.82%	11.33%	6.37%
143	Vermont 2025	o157276	477587	Arad	2002	3.68%	0.96%	0.00%	1.55%
144	Burocrata Federal 8007	o165075	23156	Sensus	2000	1.44%	1.08%	1.00%	1.17%
145	Vermont 2009	o157283	95170855	Azteca	1995	-36.92%	-33.60%	-30.00%	-33.51%
146	Campestre 36	o156976	20600	Sensus	2000	0.33%	2.27%	0.00%	0.87%
147	John F. Kennedy 10	o123206	242692	Arad	2000	-0.10%	-0.46%	-7.19%	-2.58%



**Tabla 11.5. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
148	Av. Autopista 1329	o177510	9404489	Azteca	1994	-7.07%	-6.69%	-0.79%	-4.85%
149	Pedro Oliva 9218	o167866	53213	Sensus	2000	1.85%	0.93%	-5.00%	-0.74%
150	San Lorenzo 1604	o53780	398132	Arad	2004	4.62%	8.10%	-0.60%	4.04%
151	Pedro Oliva 9200	o167857	79397	Sensus	2001	9.74%	0.23%	1.00%	3.66%
152	San Antonio 13007 A	m254401	3071948	Sensus	2007	-1.19%	6.35%	1.00%	2.05%
153	Av. Autopista 1327	o177510	94034491	Azteca	1994	-44.12%	-43.73%	100.00%	-62.61%
154	Pedro Olivias 9213	o167850	368123	Azteca	2000	100.00%	100.00%	100.00%	-100.00%
155	San Antonio 12844	o54143	290518	Arad	2002	3.73%	3.30%	19.00%	8.68%
156	94 1/2 # 1825	o168563	7674	Sensus	2002	-0.57%	-0.83%	-12.00%	-4.46%
157	94 1/2 # 1330	o168591	0	Schulemberger	-	1.78%	1.78%	-7.28%	-1.24%
158	San Lorenzo 1602	o220863	107892	Sensus	2001	-3.51%	-1.26%	-6.09%	-3.62%
159	San Antonio 10002	o53342	3071947	Sensus	2007	-1.38%	-4.83%	6.00%	-0.07%
160	Pedro Oliva 9217	o167848	494729	Azteca	2003	-20.77%	-20.53%	-20.04%	-20.45%
161	92 # 1408	o244028	244028	Sensus	2000	6.83%	-0.07%	0.00%	2.25%
162	Av. Autopista 1333	o177509	9403492	Azteca	1994	-17.76%	-17.69%	0.00%	-11.82%
163	Bosque 12 A	z250934	94040723	Azteca	1994				
164	Av. Autopista 1510	o145382	139589	Invensys	2002	1.19%	0.69%	-11.44%	-3.18%
165	Zootecnia 12002	o144714	53373	Sensus	2000	-2.61%	3.66%	-3.01%	-0.65%
166	Industria 2100	o253780	6050240	Sensus	2005	-0.53%	0.40%	0.00%	-0.04%
167	Mina de los Reyes 2112	v244195	12064557	Sensus	2006	8.39%	8.62%	1.75%	6.25%
168	15 a	f251264	264073	Arad	2003	-0.09%	-0.48%	1.45%	0.29%
169	Angel Posadas 1722	o72474	267218	Arad	2003	-3.57%	-3.63%	1.00%	-2.07%
170	Angel Posadas 1911	o72430	246597	Arad	2003	10.39%	6.31%	-9.00%	2.57%
171	54 No. 8419	f270021	11051723	Sensus	2005	-3.86%	-0.17%	-13.00%	-5.67%
172	54 No. 8417	f270020	11061724	Sensus	2005	3.92%	0.20%	-5.00%	-0.29%
173	31 # 8400	o221813	287534	Arad	2003	-0.20%	-1.71%	-0.25%	-0.72%
174	Manuel Ojinaga 74	o64901	478994	Arad	2005	-0.33%	-1.16%	8.78%	2.43%
175	Sierra de San Blas 8727	f246671	287387	Arad	2003	0.77%	0.30%	-44.50%	-14.48%
176	Sierra Mohinora 11805	o232741	12411	Sensus	2000	2.75%	0.37%	4.90%	2.67%
177	Sierra Oscura 8101	o201027	5658	Sensus	2000	1.78%	-1.73%	0.60%	0.22%
178	Priv. Del Turismo 2215	o200763	65550	Sensus	2000	1.76%	0.03%	-21.00%	-6.40%
179	Maya 1605	o130754	289065	Arad	2003	9.49%	9.74%	4.70%	7.98%
180	Magdalena Mondragón 8212	o131331	690200	Azteca	-	-10.47%	-10.48%	0.00%	-6.98%
181	Magdalena Mondragón 8216	o131329	696204	Azteca	-	-7.28%	-7.10%	100.00%	-38.12%
182	9 # 6500	o54033	78012	Sensus	2002	-0.13%	3.59%	0.70%	1.39%
183	Séptima 6503	o53219	49771	Sensus	2000				



**Tabla 11.6. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
184	65 No. 7405	o126344	97313859	Azteca	1997	-0.53%	-0.46%	-10.00%	-3.66%
185	Marruecos 9115	o251883	478119	Arad	2005	1.03%	0.87%	2.00%	1.30%
186	Paseo Bolivar 405	o42192	12065436	Sensus	2006	3.27%	0.47%	2.00%	1.91%
187	Angel Posadas 1513	o72444	21615	Sensus	2000	-0.20%	-1.91%	22.00%	6.63%
188	54 # 8421	f270022	-	Sensus	2005	7.31%	-2.85%	-1.00%	1.15%
189	Calle 4 # 5400	f270028	11062213	Sensus	2006	0.59%	2.72%	-11.00%	-2.56%
190	Privada los enanos # 5406	-	11052257	Sensus	2006	-0.30%	-0.93%	-2.00%	-1.08%
191	31 # 9024	o223003	85911	Arad	2002	-0.66%	3.30%	-1.00%	0.55%
192	31 # 8603	-	7779	Sensus	2001	-1.08%	-4.10%	-13.55%	-6.24%
193	Manuel Ojinaga 70	o64903	33495	Sensus	2000	3.12%	-1.06%	5.00%	2.35%
194	Manuel Ojinaga 72	o64902	33373	Sensus	2000	2.05%	1.16%	27.49%	10.23%
195	Sierra de San Blas 8725	f246278	12060534	Sensus	2006	-0.83%	4.11%	0.50%	1.26%
196	Sierra Pedernales 11006 o 7907	f252200	-	Sensus	2000	3.11%	0.96%	-7.00%	-0.98%
197	Sierra de Mahalca 11607	f247303	299246	Arad	2003	2.97%	12.32%	-25.00%	-3.24%
198	Priv. Del Turismo 2202	o197065	101396	Sensus	2006	-0.90%	-1.29%	-4.00%	-2.06%
199	Priv. Del Turismo 2200	o235930	9746600	Schulemberger	1997	-3.75%	-7.69%	0.00%	-3.81%
200	Azteca 1608	o130761	114122	Invensys	2002	1.26%	2.89%	0.00%	1.38%
201	Magdalena Mondragón 8210	o131331	690202	Azteca	2000	-10.87%	-10.68%	-20.00%	-13.85%
202	65 No. 7602	o187853	521491	Arad	2005	-1.09%	2.59%	14.00%	5.17%
203	65 No. 7204	o186513	2072769	Sensus	2006	-0.76%	-3.67%	-1.00%	-1.81%
204	Marruecos 9111	o250121	5635	Invensys	2003	-0.36%	-0.89%	1.10%	-0.05%
205	León 346	-	520436	Schulemberger	-	-0.76%	1.19%	9.00%	3.14%
206	Paseo Bolivar 417	o42202	71013	Azteca	1994	2.25%	-0.63%	30.00%	10.54%
207	Tanzania 1343	o269886	2068821	Sensus	2006	-1.82%	-2.18%	-33.00%	-12.33%
208	Tanzania 1325	o273303	2071716	Sensus	2006	0.74%	0.63%	4.90%	2.09%
209	17 de Junio # 19	o31955	14450	Invensys	2003	5.72%	0.53%	-11.09%	-1.61%
210	17 de Junio # 28	o31779	76701	Sensus	2005	0.63%	0.27%	2.00%	0.96%
211	Partido Liberal 5909	f278126	108886	Sensus	2001	-5.46%	-1.49%	2.00%	-1.65%
212	67 No. 6406	o128762	2071651	Sensus	2006	2.77%	5.87%	1.80%	3.48%
213	Zubiran 7308	o253787	286508	Arad	2003	1.10%	-1.33%	-5.09%	-1.78%
214	Justiniani 3901	o114547	287821	Arad	2003	1.41%	1.12%	12.00%	4.84%
215	Justiniani 3708	o114914	42965	Sensus	2000	-0.96%	-1.48%	2.00%	-0.15%
216	Justiniani 3702	o114910	39950	Sensus	2000	3.78%	-6.23%	1.00%	-0.48%
217	12 y 1/2 # 305 A	o43608	9899835	Schulemberger	1996	-3.34%	1.26%	4.00%	0.64%
218	Priv. De Ojinaja 2220	o16942	476932	Arad	2005	1.25%	1.32%	8.89%	3.82%



**Tabla 11.7. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
219	José Maria Morelos 1608	o41658	94041626	Azteca	1994	1.95%	2.68%	-0.40%	1.41%
220	19 # 1209	o45930	285969	Arad	2003	0.92%	1.38%	5.88%	2.73%
221	19 # 1211	o45931	220551	Sensus	2000	-4.89%	1.22%	5.00%	0.44%
222	13 # 2802 A	o111386	67519	Sensus	2000	6.26%	10.01%	-1.10%	5.06%
223	23 1/2 # 3606	o112676	394704	Arad	2004	1.92%	1.93%	3.79%	2.55%
224	23 1/2 # 3600	o112675	396648	Arad	2004	-0.16%	0.20%	1.80%	0.61%
225	45 No. 1208	o118490	289241	Azteca	2000				
226	45 1/2 No. 1214	o118526	269002	Arad	2003	0.96%	4.66%	-0.10%	1.84%
227	Tanzania 1339	f264085	383409	Arad	2006	-0.68%	3.54%	-3.00%	-0.05%
228	Tanzania 1337	o268488	76202	Sensus	2005	-2.44%	-2.32%	15.00%	3.41%
229	Tanzania 1333	o271515	1065333	Sensus	2006	3.32%	-0.69%	1.00%	1.21%
230	17 de Junio # 27	o31950	11067677	Sensus	2006	-4.73%	-0.96%	-3.00%	-2.90%
231	Partido Liberal 6902	o163846	-	Azteca	-	2.79%	-4.36%	10.00%	2.81%
232	69 # s/n	-	905985	Sensus	2000	0.10%	2.38%	-1.00%	0.49%
233	39 # 3900	-	6207	Sensus	2000	-77.32%	-76.62%	-71.00%	-74.98%
234	Cayetano Justiana 3714	o114917	-	Schulemberger	-	-5.88%	-1.79%	1.00%	-2.22%
235	14 Vieja # 310	o43603	7036	Azteca	2000	-0.55%	-0.96%	-20.00%	-7.17%
236	Manuel Ojinaga 601	-	248126	Arad	2003	10.06%	9.01%	54.92%	24.66%
237	Morelos 1607	o41858	38949	Sensus	2000	-0.10%	-0.79%	14.00%	4.37%
238	17 # 1207	o215572	241676	Arad	2003	4.07%	0.56%	5.52%	3.39%
239	13 # 2815	o111395	-	Azteca	-	-0.86%	-1.06%	19.40%	5.83%
240	Joaquín Terrazas 1307	o111645	1106667	Sensus	2006	-13.81%	-10.36%	-26.50%	-16.89%
241	23 1/2 # 3612	o112679	189940	Azteca	1995	-13.56%	-13.64%	-40.00%	-22.40%
242	45 # 1010	o118303	301553	Arad	2003	-3.07%	0.03%	1.00%	-0.68%
243	45 # 1008	o118301	398215	Arad	2004	0.76%	2.55%	26.00%	9.77%
244	Gabino Barrera 3500	o5189	479481	Arad	2005	1.66%	-2.90%	0.00%	-0.41%
245	Gabino Barrera 3302	o5176	396937	Arad	2004	1.66%	-1.16%	0.00%	0.16%
246	Físico Química 3533	-	50598	Sensus	2000	4.13%	0.50%	12.89%	5.84%
247	Costa Rica 312	o208920	200280	Sensus	2000	-0.93%	-1.10%	-3.10%	-1.71%
248	Costa Rica 305	o24085	200026	Azteca	2000	-4.36%	-3.66%	7.84%	-0.06%
249	Río Suchiate 2705	o89463	366037	Azteca	2000	-1.07%	-0.37%	20.00%	6.19%
250	Cuitlahuac 1720	o10341	207176	Azteca	1994	-10.18%	-10.23%	-100.00%	-40.14%
251	27 #3429 (3605)	o112623	92088805	Kent	1992	3.58%	2.38%	14.89%	6.95%
252	27 # 3422	o112617	39594	Arad	2004	-0.44%	2.57%	1.00%	1.04%
253	Cortes de Monrroy 2504	o4197	807704	Schulemberger	1995	-4.41%	-0.42%	-7.00%	-3.94%
254	Ramírez Calderón 704 int 2	o15261	477762	Arad	2005	3.54%	1.00%	-0.55%	1.33%
255	Ortiz de Campos 702	-	6810	Sensus	2003	-0.86%	1.76%	1.90%	0.93%



**Tabla 11.8. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
256	29 # 2709	o210128	476953	Arad	2005	2.89%	-1.00%	8.00%	3.30%
257	Cortes de Monroy 54	-	288232	Azteca	2001	0.93%	0.20%	-1.75%	-0.21%
258	Cortes de Monroy s/n	o4191	288232	Arad	2003	1.56%	2.36%	-8.09%	-1.39%
259	Ortiz de Campos 1909	o15139	479784	Arad	2005	4.92%	-1.10%	-0.10%	1.24%
260	Cuitlahuac 1716	o10339	372654	Azteca	2000	-1.11%	-0.37%	19.64%	6.05%
261	Camelias 4110	o76685	53757	Sensus	2000	-1.59%	-6.65%	-37.00%	-15.08%
262	Siderurgía 7716	-	110536	Invensys	2002	4.49%	3.94%	15.96%	8.13%
263	Magisterio 3323	o5141	480545	Arad	2005	0.42%	1.06%	3.48%	1.65%
264	Costa Rica 510	-	85170	Sensus	2002	-0.93%	-0.63%	-25.00%	-8.85%
265	Río Suchiate 2698	o89461	165823	Sensus	2000	-2.11%	-0.33%	9.00%	2.19%
266	Nayarit 27	o10760	135905	Invensys	2002	0.77%	2.12%	28.23%	10.37%
267	Nayarit 34	o10769	347743	Arad	2003	-0.61%	1.03%	5.58%	2.00%
268	Marias 5922	o76628	356194	Azteca	1994	-0.37%	-0.70%	-20.00%	-7.02%
269	Marias 5920	o76627	287289	Arad	2002	0.96%	-2.81%	-1.00%	-0.95%
270	Priv. Corregidora 2700	o108836	207150	Sensus	2006	-14.25%	-17.39%	-21.00%	-17.55%
271	Boulevard Fuentes Mares 8600	o179428	81206	Sensus	2002	0.06%	0.89%	-1.00%	-0.02%
272	11 # 4615	o246874	11761	Invensys	2003	0.17%	0.60%	-9.00%	-2.75%
273	Antonio Labastida 402	o39320	23564	Sensus	2003	5.07%	-12.26%	-20.49%	-9.23%
274	Tepehuanes 7313	o146213	76011	Sensus	2005	-3.58%	4.03%	-4.72%	-1.43%
275	Chackmol 621	o145739	51555	Sensus	2000	-0.10%	0.30%	0.25%	0.15%
276	Ponciano Arriaga 3701	o36165	369580	Azteca	2000	-3.46%	-3.59%	-10.09%	-5.71%
277	Ignacio Comonfort 6516	o38772	563449	Arad	2005	0.63%	0.73%	0.00%	0.45%
278	José María Mata 6726	o39095	515588	Arad	2005	3.59%	2.95%	1.00%	2.51%
279	Ponciano Arriaga 3714	o36160	22670	Invensys	2003	1.22%	5.33%	-25.00%	-6.15%
280	Ponciano Arriaga 3710	o36162	61986	Sensus	2000	4.23%	-3.68%	4.00%	1.52%
281	Oceano Pacífico 2115	o13661	187774	Azteca	1995	-0.46%	-0.99%	0.00%	-0.48%
282	Tepehuanes 7309	o146218	59713	Sensus	2000	-3.69%	-3.60%	2.00%	-1.76%
283	Tepehuanes 7311	o146214	563542	Arad	2005	5.61%	3.10%	2.00%	3.57%
284	Aquiles Serdan 2118	o48803	287901	Arad	2003	3.47%	0.79%	-3.00%	0.42%
285	Aquiles Serdan 2114	o48801	293064	Arad	2003	0.00%	-0.69%	4.00%	1.10%
286	Priv. García Salinas 6527	o38697	563451	Arad	2005	6.93%	1.92%	3.25%	4.03%
287	Benjamin Hill 5701a	o48792	288374	Arad	2003	4.58%	3.55%	-4.02%	1.37%
288	Calle 32 # 2417	-	5439	Sensus	2000	-2.09%	-1.12%	1.00%	-0.74%
289	Brasil 715	o179248	17066774	Sensus	2006	-0.86%	-1.36%	-2.10%	-1.44%



**Tabla 11.9. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
290	Palomas 2014	-	-	Schulemberger	-	-2.26%	-2.61%	-0.65%	-1.84%
291	Francisco Villa 3934	o226717	105330	Sensus	2001	-5.05%	-2.36%	-22.00%	-9.80%
292	Heligio Muñoz 2506	o108387	495821	Azteca	1994	-0.63%	-0.33%	0.00%	-0.32%
293	27 # 3414	o112482	397596	Arad	2004	0.26%	0.03%	-2.29%	-0.67%
294	27 # 3423	o112722	44820	Sensus	2000	-4.08%	-7.62%	-16.00%	-9.24%
295	Heligio Muñoz 2509	o108392	478581	Arad	2005	2.56%	-1.16%	4.79%	2.06%
296	Ortiz de Campos 2507	o4231	44049	Sensus	2000	-0.59%	0.06%	0.00%	-0.18%
297	Palomas 2033	o82011	366674	Azteca	2000	-10.59%	-10.21%	-5.14%	-8.65%
298	Salamanca s/n	-	-	Sensus	2000	-0.50%	5.71%	13.22%	6.14%
299	Salamanca 8933	o60672	3073087	Sensus	2007	1.93%	1.06%	-1.10%	0.63%
300	Av. San Felipe 107	o3707	50552	Sensus	2000				
301	Av. Mirador 4311 a	o157926	98511321	Azteca	1998	-20.21%	-16.67%	-10.83%	-15.90%
302	Rio Aros 806	o239677	21832	Invensys	2003	1.39%	-10.83%	-0.98%	-3.48%
303	Salamanca 8932	o60664	55260	Sensus	2000	1.15%	0.60%	3.50%	1.75%
304	Salamanca 8936	o60666	551029	Arad	2005	-0.10%	3.88%	-0.35%	1.14%
305	Liberación 95	o137622	34629	Sensus	2000	0.34%	-3.53%	-0.15%	-1.11%
306	Liberación 86	o137533	46433	Sensus	2000	0.68%	-2.41%	-1.00%	-0.91%
307	Liberación 87	o137618	24269	Arad	2003	-3.63%	2.51%	0.00%	-0.37%
308	Vicente Leñero 6515	o63562	37887	Sensus	2000	-0.63%	-0.20%	-3.00%	-1.28%
309	Circuito del Moral 5316	o235863	77549	Sensus	2002	3.14%	0.39%	-1.00%	0.85%
310	Alvaro Obregón 406	o25176	957103	Sensus	2000	-4.24%	-4.35%	-9.72%	-6.10%
311	Rincón de San Felipe 124	o24224	195873	Sensus	2000	3.52%	1.39%	7.34%	4.08%
312	Alvaro Obregón 412	o25173	23160	Sensus	2003	-0.77%	2.99%	-1.55%	0.23%
313	Rincón de San Felipe 120	o24220	12053007	Sensus	2006	3.08%	0.70%	-0.05%	1.24%
314	Circuito del Moral 5318	v238753	176918	Sensus	2002	-1.14%	-1.86%	6.39%	1.13%
315	Liberación 89	o137619	37750	Sensus	2000				
316	Vicente Leñero 6531	o63570	518441	Arad	2005	3.08%	-0.33%	0.50%	1.08%
317	Liberación 92	o137530	244543	Arad	2003	-1.20%	-4.37%	-11.13%	-5.57%
318	Callena 7504	o148450	44227	Sensus	2000	0.70%	-1.38%	2.00%	0.44%
319	Rincón de Hacienda 6319	o49805	73730	Sensus	2004	2.19%	-1.52%	1.00%	0.56%
320	Cerrada Sacramento 4709	o76300	234208	Schulemberger	-	-1.27%	0.30%	-6.69%	-2.55%
321	Callena 7514	o148445	11062789	Sensus	2006	-4.19%	-2.33%	7.95%	0.48%



**Tabla 11.10. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
322	Rincón Sol 6329	o49754	78926	Sensus	2002	-3.46%	0.03%	-5.10%	-2.84%
323	Miguel Barragan 2100	o184950	244745	Arad	2003				
324	Pino 1008	o78345	893326	Sensus	2000	-5.30%	-2.71%	-0.55%	-2.85%
325	Pino 1226	o78324	7158	Azteca	2000	-6.42%	-0.89%	-0.05%	-2.45%
326	Carmen Serdan 5911	o48744	288364	Arad	2003	3.78%	1.09%	-0.50%	1.46%
327	Carmen Serdan 5730	o48741	286693	Arad	2003	-1.38%	2.46%	5.82%	2.30%
328	José Martí 6116	o37684	643341	Sensus	2000	2.66%	-0.33%	-0.10%	0.74%
329	José Martí 6119	o37701	137445	Invensys	2002	1.70%	0.60%	-0.05%	0.75%
330	Barranca del Cobre 7705	o182397	9738584	Schulemberger	1997	-2.41%	1.10%	2.00%	0.23%
331	Av. San Carlos 4313	o54320	106718	Sensus	2001	-3.42%	-1.06%	-1.55%	-2.01%
332	Industrias 2502	o227512	542880	Arad	2005	2.19%	1.35%	-2.50%	0.35%
333	Av. De la Junta	245760	245760	Arad	2003	1.01%	-0.96%	-0.05%	0.00%
334	Boulevard Diaz Ordaz	17152	2076728	Sensus	2006	-1.31%	-0.79%	0.50%	-0.53%
335	P LOS POBRES 371	41585	185279	Sensus	2002	7.65%	1.12%	0.50%	3.09%
336	Monte Amarillo 4336	o222382	349726	Sensus	2000	1.93%	-1.48%	-1.50%	-0.35%
337	Monte Amarillo 4340	o207839	36452	Sensus	2000	-0.96%	-0.92%	-7.00%	-2.96%
338	Potrero de Mapula 11501	v217314	109482	Sensus	2001	-0.92%	-0.30%	2.00%	0.26%
339	Arco de Terragona 17349	v247296	290925	Arad	2003	-0.33%	-1.19%	1.72%	0.07%
340	Portal de Chimeneas 14	-	9708227	Schulemberger	1997	0.30%	-3.29%	-1.60%	-1.53%
341	Portal de Chimeneas 123	-	35804	Sensus	2000	-7.47%	-7.28%	-7.73%	-7.49%
342	Paseo de Medanos 14903	o267027	2072755	Sensus	2006	3.36%	3.12%	-7.34%	-0.29%
343	Huetos los Duraznos 488	o221433	25192	Sensus	2000	-1.32%	-2.16%	-2.15%	-1.87%
344	Huetos los Duraznos 486	v214217	25193	Sensus	2000	-2.45%	-2.22%	-2.64%	-2.44%
345	Campo del Maizal 9931	o212682	55200	Sensus	2000	0.90%	4.25%	-1.50%	1.22%
346	Campo del Cultivo 9918	o215701	57880	Sensus	2000	-1.56%	0.86%	-3.19%	-1.29%
347	Av. San Carlos 4501	o76558	6895	Sensus	2000	-2.21%	1.84%	-0.25%	-0.21%
348	Monte Amarillo 4345	v226735	-	Sensus	-	1.89%	1.68%	4.85%	2.81%
349	Calle 16 # 5809	o100278	288299	Arad	2003	-0.66%	-3.01%	0.60%	-1.02%
350	Arco de Terragona 17521	v242592	336963	Arad	2003	-1.46%	-2.08%	-2.74%	-2.09%
351	Arco de Terragona 17703	v245104	22868	Invensys	2003	0.90%	0.10%	0.50%	0.50%
352	Portal de Chimeneas	-	-	Schulemberger	-	-29.42%	2.58%	-26.00%	-17.61%
353	Paseo de Delicias 14580	o59926	14933	Invensys	2003	0.63%	0.27%	-7.24%	-2.12%
354	Paseo de Medanos 14901	o59973	286183	Arad	2003	-2.92%	-2.02%	3.39%	-0.52%
355	Huerta de Duraznos 464	o221432	-	Sensus	2000	-5.01%	-6.22%	4.04%	-2.40%
356	Campo del Maizal 9923	v215245	-	Sensus	2000	4.41%	3.71%	0.41%	2.84%



**Tabla 11.11. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
357	Paseo Delicias 14585	o184049	9807859	Schulemberger	1998	-0.70%	-0.89%	-23.05%	-8.21%
358	Paseos Delicias 14579	o59930	69933	Sensus	2000	-0.79%	0.07%	0.50%	-0.08%
359	Electricistas 214	o140131	596736	Sensus	2000	-0.36%	0.53%	-2.55%	-0.80%
360	Activistas 46	o127320	501982	Sensus	2000	-2.05%	-0.56%	-79.01%	-27.21%
361	23 de Septiembre 379	o21564	240262	Arad	2003	-2.42%	-0.50%	0.50%	-0.80%
362	23 de Septiembre 377	o21563	267746	Arad	2003	0.33%	-0.63%	0.00%	-0.10%
363	Trinidad Rodriguez 59	o174173	264249	Arad	2003	0.93%	0.40%	0.90%	0.74%
364	San Jose 8528	o75496	68150	Sensus	2000	1.95%	1.18%	-2.55%	0.20%
365	Reforma Urbana 232	o171282	94749	Sensus	2002	-0.13%	-0.93%	-100.00%	-33.69%
366	Luz Corral de Villa 211	o174685	267450	Arad	2003	0.27%	-3.07%	-18.00%	-6.94%
367	Sabino Torres 213	o219467	9809317	Schulemberger	1998	-2.60%	-2.58%	-0.49%	-1.89%
368	Articulo 39 # 10509	o162376	5298	Invensys	2003	-0.92%	-2.02%	-0.20%	-1.05%
369	Villa Verde 9523	v270328	1079882	Sensus	2006	-0.83%	-0.76%	-1.00%	-0.86%
370	Niño Artillero 9904	o58551	696016	Azteca	1994	-4.33%	-0.83%	-5.00%	-3.38%
371	Mina del Vesubio 3306	o186723	11065302	Sensus	2006	-3.70%	-0.70%	-10.26%	-4.89%
372	Mina los Reyes 3341	o204189	47408	Sensus	2000	-2.55%	-2.19%	-53.88%	-19.54%
373	Mina San Carlos 16907	v226226	96644	Sensus	2000	0.46%	-5.79%	0.00%	-1.78%
374	Mina La Trinidad 1907	o205366	9804577	Schulemberger	1996	-0.79%	-1.28%	-6.59%	-2.89%
375	Mina La Trinidad 1727	o211213	25553	Sensus	2000	-0.03%	0.33%	1.25%	0.52%
376	Paseo del Real 17210 - E	o231146	477118	Arad	2005	-0.06%	-0.80%	0.75%	-0.04%
377	Olivo de las Palmas 17713	n277509	74612	Sensus	2007	-0.43%	-0.53%	-0.05%	-0.34%
378	Cordillera Blanca	-	520384	Arad	2005	-0.27%	0.49%	10.12%	3.45%
379	Claustro de los Agustinos 2005	v241808	267156	Arad	2003	1.62%	2.02%	5.24%	2.96%
380	Campo del Agostadero 5427	o213102	55285	Sensus	2000	-0.70%	2.62%	-2.60%	-0.22%
381	23 de Septiembre 375	o21562	398215	Arad	2004	-1.27%	2.80%	1.89%	1.14%
382	Trinidad Rodriguez 64	o17468	76557	Sensus	2005	-1.66%	-0.40%	-15.47%	-5.84%
383	San Pedro 3705	o75622	285286	Arad	2002	0.43%	-0.17%	2.39%	0.88%
384	Reforma Urbana 228	o171280	97341662	Schulemberger	1997	3.35%	4.17%	2.88%	3.47%
385	Reforma Urbana 226	o171279	-	Sensus	2000	2.21%	1.80%	-2.73%	0.43%
386	Sabino Torres 223	o204222	37279	Sensus	2000	-5.04%	-4.86%	-1.87%	-3.93%
387	Articulo 39 # 10503	o162378	3073501	Sensus	2007	0.49%	0.40%	-0.21%	0.23%
388	Villa Verde 9521	v268446	1105166	Sensus	2005	-0.03%	-2.13%	13.00%	3.61%
389	Niño Artillero 9905	o58547	59837	Sensus	2005	-2.50%	1.92%	-3.73%	-1.43%



**Tabla 11.12. Muestra de medidores verificados en campo (continuación).**

No	Dirección	Contrato	Medidor	Marca	Año	Error 100%	Error 50%	Error 5%	Promedio
390	Mina El Vesubio 3300	o186724	471392	Sensus	2000	-0.33%	-4.08%	9.33%	1.64%
391	Mina El Vesubio 3317	o187665	63745	Sensus	2000	-0.50%	-0.79%	8.51%	2.41%
392	Mina los Reyes 3339	o187453	11068227	Sensus	2006	-2.94%	-1.76%	-23.31%	-9.34%
393	Mina de la Trinidad 1917	o204372	291596	Arad	2003	1.19%	0.86%	2.00%	1.35%
394	Mina el Progreso 1735	o185166	903626	Schulemberger	1999	4.90%	5.16%	6.45%	5.50%
395	Av. De las Palmas 17707	n263833	11069792	Sensus	2006	-1.50%	0.10%	-2.55%	-1.32%
396	Claustro de los Agustinos 2007	v241797	-	Sensus	2002	0.60%	0.16%	-6.42%	-1.89%
397	Activistas 42	o127319	17057	Sensus	2000	-3.48%	-3.40%	-10.13%	-5.67%
398	Electricistas 216	o140132	-	Sensus	2000	-0.76%	-1.62%	-10.54%	-4.30%
399	Vialidad Nogales s/n	n272824	12064912	Sensus	2006	0.96%	1.16%	4.00%	2.04%
400	Universidad de Puebla 9705	o188407	-	Schulemberger	-	4.44%	3.62%	-15.18%	-2.37%
401	Universidad de Puebla 9719	o241630	75402	Sensus	2005	1.46%	2.97%	0.45%	1.63%
402	Colegio San Pedro 15350	v246016	3073747	Sensus	2007	0.59%	-0.10%	0.00%	0.16%
403	Colegio San Pedro 15344	n252110	480649	Arad	2005	1.39%	0.79%	-0.20%	0.66%
404	Monteblanco 4901	v227710	83226	Sensus	2000	-0.10%	2.98%	6.18%	3.02%
405	Monte San Antonio 12153	o226878	67723	Sensus	2000	-1.28%	-1.72%	-8.24%	-3.75%
406	Av. Universidad 2504	o265060	563705	Arad	2005	3.92%	0.93%	-0.50%	1.45%
407	16 de Septiembre 439	o212650	64499	Sensus	2000	-1.26%	0.96%	0.50%	0.07%
408	1 de Mayo # 1414	o90194	-	Cicasa	-				
409	20 de Noviembre 5615	o242353	522147	Arad	2005	0.56%	0.63%	2.95%	1.38%
410	Calle 31 # 802	o46346	436031	Arad	-				
411	Abolición de la Esclavitud 9707	o244116	285088	Arad	2003	-2.79%	0.26%	-3.65%	-2.06%
412	Silvestre Revueltas 8804	-	5192	Sensus	2000	-1.49%	-1.09%	-1.05%	-1.21%
413	Barrancas del Cobre 7706	o227571	188851	Invensys	2002	1.22%	-1.32%	-0.10%	-0.07%
414	Francisco Portillo 302	o244118	13649	Sensus	2003	-32.80%	-1.52%	1.35%	-10.99%
415	46 a y Pablo Ochoa	101289	77084	Sensus	2002	1.71%	1.32%	1.85%	1.62%
416	Barrancas del Cobre 7708	o61473	9793689	Schulemberger	1997	2.60%	1.85%	-1.50%	0.98%
				Errores promedio		-1.28%	-1.50%	-4.50%	-2.43%



Foto de la prueba 135



Foto de la prueba 150



Foto de la prueba

Foto 11.1. Verificación de medidores en campo.



Foto de la prueba 413



## 12. ANEXO B. MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS.

En este apartado se emplearon los diferentes equipos de medición: voltímetro y amperímetro. De la Tabla 12.1 a la Tabla 12.12 se presentan los resultados de la medición del voltaje y el amperaje en cada uno de los equipos antes mencionado, mismos que son empleados para el cálculo de las eficiencias.

**Tabla 12.1. Medición del Amperaje y Voltaje entre fases en el pozo Arroyos 4**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
163	100	160	433	434	438
164	30	160	434	435	438
164	30	150	437	437	436
164	40	160	436	437	436
164	40	150	435	437	439

**Tabla 12.2. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Sacramento 3**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
170	60	96	455	452	453
180	60	96	455	453	454
180	50	96	455	454	455
170	60	97	457	453	453
180	50	97	455	454	453

**Tabla 12.3. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Villa Dorada 1**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
117	70	40	442	441	439
117	180	80	443	442	443
117	200	30	443	442	444
117	250	30	442	443	443
116	200	40	444	443	444



**Tabla 12.4. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Tabalaopa Aldama 9**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
95	96	60	433	431	432
95	97	40	433	432	431
95	97	50	431	432	430
95	97	50	432	432	431
95	97	30	432	431	431

**Tabla 12.5. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Robinson II**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
66	66	50	464	464	465
66	66	30	464	463	464
66	58	50	464	463	460
66	58	50	463	464	462
66	59	30	463	461	463

**Tabla 12.6. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Aeropuerto III**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
100	30	106	443	453	441
100	30	106	446	452	441
100	30	107	444	452	441
100	40	105	445	451	441
100	40	105	445	453	441

**Tabla 12.7. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Sáuz 12**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
223	222.8	220.5	449	447	448
223.5	222.7	220	448	447	448
223	222.8	220	448	447	448
223.5	222.8	219.8			
223.5	222.7	219.8			



**Tabla 12.8. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Sáuz 24**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
86.5	89.2	91.4	456	457	458
86.6	89.3	91.4	456.5	457	456
86.6	89.2	91.3	456.5	457	458
86.5	89.1	91.3			
86.7	89.3	91.8			

**Tabla 12.9. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Puerta de Chihuahua 4**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
270.6	276.6	266.9	444	444	446
270.7	276.4	267.1	444	444	446
270.9	276.3	266.8	444	444	446

**Tabla 12.10. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Pozo Tabalaopa Nombre de Dios 7**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
229	225	222	447	445	445
227	225	222	448	445	445
228	224	222	448	445	441
228	224	222			
228	224	222			

**Tabla 12.11. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Rebombío Coronel**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
136.9	134.1	137	464	464	465
136.7	133.1	137	464	463	464
136.56	133.78	137.6	464	463	460

**Tabla 12.12. Medición de Amperaje y Voltaje entre fases del Rebombío El Sáuz.**

Amperaje			Voltaje		
F1	F2	F3	1 a 2	1 a 3	2 a 3
229	237	254	445	443	445
229	237	254	445	443	445
228	236	253	445	443	445
228	236	253			
228	236	273			