



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
Y ARQUITECTURA UNIDAD ZACATENCO**

**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**“LA SECTORIZACIÓN EN LA OPTIMIZACIÓN
HIDRÁULICA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA
POTABLE”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**

P R E S E N T A:

GERARDO TOXKY LÓPEZ

DIRECTORES DE TESIS:

M. en C. LUCIO FRAGOSO SANDOVAL

M. en C. ARTURO BRUNO JUÁREZ LEÓN

MÉXICO D. F.

JUNIO DE 2012.



SIP-14-BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F., siendo las 18:00 horas del día 26 del mes de junio del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.-U.Z. para examinar la tesis titulada:

"La sectorización en la optimización hidráulica de redes de distribución de agua potable."

Presentada por el alumno:

Toxky
Apellido paterno

López
Apellido materno

Gerardo
Nombre(s)

Con registro:

B	0	8	1	5	7	0
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

M. en C. Luob Frago Sandoval

M. en C. Arturo Emano Juárez León

Dr. Juan Manuel Navarro Pineda

Dr. Mario Ulloa Ramírez

M. en C. Jaime Roberto Ruiz y Zurvia Flores



PRÉSIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES MEXICO

M. en C. Pino Durán Escamilla

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

14/06/12

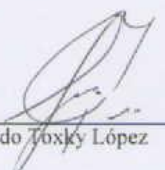


INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México D.F. el día 26 del mes de Junio del año 2012, el que suscribe Gerardo Toxky López alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro B081570, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U.Z., manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de M. en C. Lucio Fragoso Sandoval y M. en C. Arturo Bruno Juárez León y cede los derechos del trabajo intitulado "LA SECTORIZACIÓN EN LA OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección toxlo@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Gerardo Toxky López

“La sectorización en la optimización hidráulica de redes de distribución de agua potable”

Resumen.

Abstract.

Objetivos.

Antecedentes

Justificación.

Introducción.

I.- Generalidades.

II.- Selección del sitio de estudio.

III.- Proyecto, diseño y simulación hidráulica del sector.

IV.- Construcción del sector.

V.- Resultados.

VI.- Conclusiones y Recomendaciones.

Bibliografía.

Anexos.

CONTENIDO

OBJETIVOS	14
HIPÓTESIS	14
ANTECEDENTES	15
ANTIGUAS CIVILIZACIONES	15
EGIPTO	15
MESOPOTAMIA	15
LA GRAN TENOCHTILÁN	15
ACTUALIDAD	17
LA ESCASEZ DE AGUA POTABLE ES CRÍTICA EN ESPAÑA, SUR DE ITALIA, GRECIA Y LOS BALKANES, PARTE DE HOLANDA, ALEMANIA, PAÍSES BAJOS E INGLATERRA. EN EL RESTO, GRAVE	18
EL AGUA POTABLE EN EL CONTINENTE AMERICANO.	19
JUSTIFICACIÓN	24
EL CASO PARTICULAR DE LA CIUDAD DE MÉXICO	24
INTRODUCCIÓN	26
I GENERALIDADES	28
1.1 MARCO FÍSICO	28
1.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	28
1.1.2 SUPERFICIE	30
1.1.3 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS	32
1.1.3.1 Cobertura vegetal.	33
1.1.4 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	33
1.1.5 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS.	34
1.2 MARCO URBANO	35
1.2.1 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN	36
1.2.2 VIVIENDA	37
1.2.3 ECONOMÍA	39
1.2.4 SERVICIOS URBANOS	40
1.2.4.1 Características y zonas de uso de suelo.	43
1.2.4.1.1 Riesgos y vulnerabilidad	44
1.3 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA	45
1.3.1 AGUA POTABLE.	45
1.3.1.1 Captación, conducción e interconexión de agua potable.	47

1.3.1.1.1	Acuíferos y pozos	47
1.3.1.1.2	Acueductos	52
1.3.1.2	Almacenamiento y bombeo.	54
1.3.1.3	Distribución	55
1.3.1.3.1	Red primaria	55
1.3.1.3.2	Red secundaria	56
1.3.1.4	Mediciones y reportes en el sistema de agua potable	60
II SELECCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO		63
2.1	INTRODUCCION	63
2.2	DEFINICIÓN DE SECTOR	63
2.3	ETAPAS DE LA SECTORIZACIÓN	65
2.4	DEFINICIÓN DE SECTORES Y PUNTOS DE ALIMENTACIÓN	65
2.5	ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO	68
III PROYECTO, DISEÑO Y SIMULACION HIDRÁULICA DEL SECTOR.		80
3.1	TRABAJOS PRELIMINARES	80
3.1.1	DEFINICIÓN DEL ENTORNO DE LA ZONA DE TRABAJO	80
3.1.2	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO SECTOR LOMAS MHO-31	80
3.1.3	PLANO DE LA ZONA DE TRABAJO.	81
3.1.4	DESCRIPCIÓN Y DATOS BÁSICOS DEL SECTOR MHO-31	82
3.2	TOPOGRAFÍA.	84
3.3	RECONOCIMIENTO DEL SECTOR MHO-31	85
3.4	TOMA DE PRESIONES DEL SECTOR LOMAS	87
3.5	ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA EN CAMPO	87
3.5.1	FUENTE DE ABASTECIMIENTO AL SECTOR MHO-31	89
3.5.1.1	Descripción de los puntos de alimentación.	92
3.6	CALIBRACIÓN DEL SECTOR MHO-31.	95
3.6.1	ANÁLISIS HIDRÁULICO	98
3.6.1.1	Calibración del Modelo	98
3.6.1.1.1	Determinación del porcentaje de Pérdidas	98
3.6.1.2	Calibración de la red con datos medidos en la zona de estudio	98
3.7	CONTROL DE PRESIONES	101
3.8	SELECCIÓN DE LAS VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (VRP).	109
IV CONSTRUCCIÓN DEL SECTOR		117
4.1	CONSTRUCCIÓN DE SITIOS DE MEDICIÓN DEL SECTOR LOMAS	117
4.2	CONSTRUCCIÓN DE LOS SITIOS DE REGULACIÓN DEL SECTOR LOMAS MHO-31	120
4.2.1	INTERCONEXIONES EN EL SECTOR MHO-31.	128
4.2.2	CANCELACIONES DE CRUCEROS EN EL SECTOR MHO-31	129
4.3	PUESTA EN MARCHA DEL SECTOR MHO-31	136
4.3.1	INSTRUMENTACIÓN DE LOS SITIOS DE MEDICIÓN.	136
4.3.2	CALIBRACION DE LOS SITIOS DE REGULACION.	138

V	RESULTADOS.	140
VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	141
6.1	CONCLUSIONES	141
6.2	RECOMENDACIONES	141
	BIBLIOGRAFÍA	143
	ANEXOS	145
	ANEXO A. SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL SECTOR CON EL PROGRAMA EPANET.	145
	CALIBRACIÓN DEL SECTOR.	145
	PROGRAMA EPANET	145
	CON EL PROGRAMA EPANET SE DETERMINA:	145
	INTERPRETACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA RED.	146
	ANÁLISIS HIDRÁULICO.	151
	Visualización de Resultados.	151
	Tipos de tablas.	152
	ANEXO B. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE FUGAS EN EL SECTOR LOMAS MHO-31	163
	ANEXO C. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	165
	ANEXO D. ANTECEDENTES DE LOS SIG	166
	PARTES QUE COMPONEN UN SIG	170
	INFORMACIÓN ALFANUMÉRICA	170
	ATRIBUTOS GEOGRÁFICOS.	170
	FUNCIONES DE UN SIG	171
	APLICACIÓN DEL SIG	173
	METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE UN PROYECTO SIG	174
	DEFINICIÓN DEL PROYECTO:	174
	Análisis del Problema	175
	Definición de Soluciones Tecnológicas.	175
	Elaboración del Plan de Trabajo.	176
	Elaboración de la Propuesta Técnica.	176
	ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA APLICACIÓN.	176
	DESARROLLO DE LA APLICACIÓN.	177

Índices

Tablas

TABLA 1. 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.	28
TABLA 1. 2. PERÍMETRO Y LÍMITES DELEGACIONALES.	30
TABLA 1. 3. ÁREAS Y EXTENSIONES.	30
TABLA 1. 4. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS.	31
TABLA 1. 5. SITIOS ELEVADOS.	31
TABLA 1. 6. ALTITUD.	32

TABLA 1. 7. ESTACIONES METEOROLÓGICAS.	32
TABLA 1. 8. CLIMAS.	32
TABLA 1. 9. TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN.	32
TABLA 1. 10. UNIDADES LITOLÓGICAS.	34
TABLA 1. 11. ZONIFICACIÓN DE LA DELEGACIÓN SEGÚN TIPO DE MATERIAL ESTRATIGRÁFICO.	34
TABLA 1. 12. CUENCAS Y SUBCUENCAS HIDROLÓGICAS.	34
TABLA 1. 13. CORRIENTES Y CUERPOS DE AGUA.	35
TABLA 1. 14. POBLACIÓN.	35
TABLA 1. 15. NIVEL DE EDUCACIÓN.	35
TABLA 1. 16. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN AL AÑO 2015.	36
TABLA 1. 17. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA.	37
TABLA 1. 18. DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA (PEA) POR SECTOR DE ACTIVIDAD.	39
TABLA 1. 19. UNIDADES ECONÓMICAS POR SECTOR.	39
TABLA 1. 20. SERVICIOS URBANOS CON QUE CUENTA LA DELEGACIÓN.	40
TABLA 1. 21. SERVICIOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO.	41
TABLA 1. 22. PRINCIPALES VIALIDADES.	41
TABLA 1. 23. TIPOS DE USOS DEL SUELO EN LA DELEGACIÓN.	42
TABLA 1. 24. CARACTERÍSTICAS DE LOS USOS DEL SUELO Y COLONIAS REPRESENTATIVAS.	43
TABLA 1. 25. RESUMEN DE LA INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLE.	47
TABLA 1. 26. POZOS OPERADOS POR EL SACM.	49
TABLA 1. 27. POZOS PARTICULARES.	51
TABLA 1. 28. RELACIÓN DE ACUEDUCTOS.	52
TABLA 1. 29. LÍNEAS DE INTERCONEXIÓN.	53
TABLA 1. 30. TANQUES.	54
TABLA 1. 31. PLANTAS DE BOMBEO.	55
TABLA 1. 32. DIÁMETROS Y LONGITUD DE RED PRIMARIA.	56
TABLA 1. 33. DIÁMETROS Y LONGITUD DE RED SECUNDARIA.	56
TABLA 1. 34. REDES DE DISTRIBUCIÓN.	57
TABLA 1. 35. GARZAS.	57
TABLA 1. 36. CONSUMIDORES DOMÉSTICOS DE AGUA POTABLE POR HOGAR.	59
TABLA 1. 37. CONSUMIDORES NO DOMÉSTICOS DE AGUA POTABLE POR SUBSECTOR.	59
TABLA 1. 38. ESTACIONES MEDIDORAS DE PRESIÓN.	60
TABLA 2. 1. SECTORES DE CONTROL DE GASTO.	69
TABLA 2. 2. POBLACIÓN Y CONSUMOS OBTENIDOS CON DATOS DE INEGI Y CADF.	71
TABLA 2. 3. NÚMERO DE MACROSECTORES POR DELEGACIÓN.	75
TABLA 2. 4. DIÁMETROS Y LONGITUDES DE LA RED PRIMARIA.	78
TABLA 2. 5. SECTORES PROPUESTOS PARA LA DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO.	79
TABLA 3. 1. GASTOS DE DISEÑO.	84
TABLA 3. 2. GASTOS QUE APORTA LA BOMBA DURANTE EL DÍA.	91
TABLA 3. 3. SUBSECTORES DEL SECTOR MHO-31.	95
TABLA 3. 4. VOLUMEN TOTAL RECUPERADO EN UN DÍA (M ³).	108
TABLA 3. 5. VOLUMEN RECUPERADO Y PORCENTAJE RELACIONADO CON LAS FUGAS.	109
TABLA 3. 6. TUBERÍA REHABILITADA.	116
TABLA 3. 7. VÁLVULAS DE SECCIONAMIENTO.	116
TABLA 3. 8. VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN (VRP).	116
TABLA 4. 1. UBICACIÓN DE LAS VRP EN EL SECTOR LOMAS MHO-31.	139

Figuras

FIGURA 1. LLEGADA DE LOS MEXICANOS A LA ZONA DEL LAGO.	16
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL PLANETA	17
FIGURA 3. CONSECUENCIAS DE LA ESCASEZ DE AGUA	18
FIGURA 4. CICLO HIDROLÓGICO	20
FIGURA 5. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.....	23
FIGURA 1. 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	29
FIGURA 1. 2. INTERCEPTOR DEL PONIENTE, DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO.	31
FIGURA 1. 3. PRECIPITACIÓN HISTÓRICA MENSUAL Y ANUAL (1982-2000) EN MM.....	33
FIGURA 1. 4. CRECIMIENTO HISTÓRICO DE LA POBLACIÓN (1970-2000) DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO.....	35
FIGURA 1. 5. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN AL AÑO 2015 DELEGACIÓN MIGUEL HIDALGO.	37
FIGURA 1. 6. CARACTERÍSTICAS DE VIVIENDA	38
FIGURA 1. 7. DISTRIBUCIÓN DE USOS DE SUELO EN LA DELEGACIÓN.....	43
FIGURA 1. 8. INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLE	48
FIGURA 1. 9. TOMAS DOMICILIARIAS.....	58
FIGURA 1. 10. ESTACIÓN AHUIZOTLA.....	61
FIGURA 1. 11. ESTACIÓN INGENIEROS MILITARES.....	61
FIGURA 1. 12. ESTACIÓN TACUBA	62
FIGURA 1. 13. ESTACIÓN HOMERO.....	62
FIGURA 2. 1. SECTOR CON UN PUNTO DE ALIMENTACIÓN Y RED SECUNDARIA CONVENCIONAL.....	66
FIGURA 2. 2. SECTOR CON UN PUNTO DE ALIMENTACIÓN Y RED SECUNDARIA EN SUBSECTORES.	67
FIGURA 2. 3. INFLUENCIA DE LAS PRESIONES SOBRE EL NIVEL DE FUGAS. BRITISH WATER COUNCIL, DEL REINO UNIDO	72
FIGURA 2. 4. REGIONES DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DEL D.F.	73
FIGURA 2. 5. PLAN RECTOR CON LOS SIETE MACROSECTORES	75
FIGURA 3. 1. LOCALIZACIÓN DEL SECTOR MHO-31	81
FIGURA 3. 2. PLANO OPERATIVO Y DE CONSTRUCCIÓN DEL SECTOR LOMAS MHO-31	82
FIGURA 3. 3. LÍMITES DEL SECTOR LOMAS MHO-31.....	83
FIGURA 3. 4. GRÁFICA DE SUMINISTRO, SECTOR LOMAS MHO-31	84
FIGURA 3. 5. TOPOGRAFÍA	85
FIGURA 3. 6. REVISIÓN DE PLANOS EN EL CRUCE DE MANÓMETROS.	86
FIGURA 3. 7. INSPECCIÓN DE LAS CAJAS DE CRUCEROS EN EL SECTOR LOMAS.....	86
FIGURA 3. 8. TOMA DE PRESIONES EN EL SECTOR LOMAS MHO-31	87
FIGURA 3. 9. GRÁFICA DE PRESIONES EN EL SECTOR LOMAS MHO-31	88
FIGURA 3. 10. FORMATO DE VERIFICACIÓN DE CAJAS DE VÁLVULAS.....	89
FIGURA 3. 11. CURVA DE COMPORTAMIENTO DE LA BOMBA.	90
FIGURA 3. 12. GASTOS QUE APORTA LA BOMBA DURANTE EL DÍA.....	90
FIGURA 3. 13. PUNTOS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE AL SECTOR MHO-31.....	92
FIGURA 3. 14. PUNTO DE ABASTECIMIENTO MANÓMETROS.....	93
FIGURA 3. 15. PUNTO DE SUMINISTRO AL SECTOR LOMAS MHO- 31.....	93
FIGURA 3. 16. DIAGRAMA DE ABASTECIMIENTO PARA EL SECTOR LOMAS.....	94
FIGURA 3. 17. DIVISIÓN DEL SUBSECTOR MHO-31 PARA EL CONTROL DE PRESIONES	95
FIGURA 3. 18. FIGURA GEORREFERENCIADA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	96
FIGURA 3. 19. RED DE TUBERÍAS DEL SECTOR MHO-31.	97
FIGURA 3. 20. GRAFICA DE ELEVACIONES.....	97
FIGURA 3. 21. RED DE DISTRIBUCIÓN SIN COEFICIENTE DEL EMISOR.....	99
FIGURA 3. 22. CURVA DE EVOLUCIÓN SIN DATOS DEL COEFICIENTE DEL EMISOR.	99
FIGURA 3. 23. CURVA DE EVOLUCIÓN FINAL, CON DATOS DE CALIBRACIÓN.....	100
FIGURA 3. 24. COMPARACIÓN DE VALORES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR MHO-31	101

FIGURA 3. 25. COMPARACIÓN DE VALORES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR MHO-31	101
FIGURA 3. 26. SECTOR LOMAS MHO-31 CON VÁLVULAS EN OPERACIÓN.....	102
FIGURA 3. 27. PRESIONES A LAS 2:00 A.M. SIN CONTROL.	103
FIGURA 3. 28. PRESIONES A LAS 13:00 P.M. SIN CONTROL.	103
FIGURA 3. 29. PATRÓN DE DEMANDAS.	104
FIGURA 3. 30. PRESIONES A LAS 2:00 A.M. CON CONTROL.....	105
FIGURA 3. 31. PRESIONES A LAS 7:00 P.M. CON CONTROL.....	105
FIGURA 3. 32. PRESIONES A LAS 13:00 P.M. CON CONTROL.	106
FIGURA 3. 33. ZONA DE ESTUDIO CALIBRADA Y GEORREFERENCIADA.....	107
FIGURA 3. 34. VOLUMEN TOTAL RECUPERADO EN UN DÍA Y DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE FUGAS.	109
FIGURA 3. 35. CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LA VRP 851 PARA GASTO MÍNIMO.	110
FIGURA 3. 36. DATOS HIDRÁULICOS PARA LA SELECCIÓN DE LA VRP No.851 PARA GASTO MÍNIMO.	110
FIGURA 3. 37. DATOS HIDRÁULICOS DE LA VRP 851 PARA GASTO MÍNIMO.	111
FIGURA 3. 38. CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LA VRP 851 PARA GASTO MÁXIMO.....	111
FIGURA 3. 39. DATOS HIDRÁULICOS PARA LA SELECCIÓN DE LA VRP No.851 PARA GASTO MÁXIMO.	112
FIGURA 3. 40. DATOS HIDRÁULICOS DE LA VRP 851 PARA GASTO MÁXIMO.....	112
FIGURA 3. 41. CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LA VRP 386 PARA GASTO MÍNIMO.	113
FIGURA 3. 42. DATOS HIDRÁULICOS PARA LA SELECCIÓN DE LA VRP No.386 PARA GASTO MÍNIMO.	113
FIGURA 3. 43. DATOS HIDRÁULICOS DE LA VRP 386 PARA GASTO MÍNIMO.	114
FIGURA 3. 44. CONDICIONES HIDRÁULICAS DE LA VRP 386 PARA GASTO MÁXIMO.....	114
FIGURA 3. 45. DATOS HIDRÁULICOS PARA LA SELECCIÓN DE LA VRP No.386 PARA GASTO MÁXIMO.	115
FIGURA 3. 46. DATOS HIDRÁULICOS DE LA VRP 386 PARA GASTO MÁXIMO.....	115
FIGURA 4. 1. SITIOS DE MEDICIÓN EN LA ZONA DE MANÓMETROS.....	117
FIGURA 4. 2. CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE MEDICIÓN EN LA ZONA DE MANÓMETROS.....	118
FIGURA 4. 3. TREN DE PIEZAS EN LA CAJA DE MEDICIÓN, SECTOR LOMAS	118
FIGURA 4. 4. ARMADO DE LOSA TAPA PARA LA CAJA DE MEDICIÓN	119
FIGURA 4. 5. SITIO DE MEDICIÓN ENTRE AV. PALMAS Y SIERRA VERTIENTES.....	119
FIGURA 4. 6. EXCAVACIÓN Y CAJA TERMINADA PARA EL SITIO DE MEDICIÓN EN AV. PALMAS.....	120
FIGURA 4. 7. TREN DE PIEZAS ESPECIALES Y MEDIDOR EN EL CRUCE DE AV. PASEO DE LAS PALMAS Y SIERRA VERTIENTES.	120
FIGURA 4. 8. DISTRIBUCIÓN DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN.	121
FIGURA 4. 9. ARREGLO HIDRÁULICO EN EL PUNTO DE CONTROL EN EL SITIO MANÓMETROS	121
FIGURA 4. 10. EXCAVACIÓN PARA LA ZONA DE CONTROL EN EL SITIO MANÓMETROS.....	122
FIGURA 4. 11. CONSTRUCCIÓN DE CAJA Y TRABAJOS DE FONTANERÍA DE PIEZAS ESPECIALES EN EL SITIO DE REGULACIÓN EN LA ZONA DE MANÓMETROS	122
FIGURA 4. 12. INSTALACIÓN DE VRP, EN EL SITIO DE REGULACIÓN MANÓMETROS.	123
FIGURA 4. 13. UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE CONTROL EN EL SECTOR LOMAS MHO-31	123
FIGURA 4. 14. UBICACIÓN DE VRP-04, AV. PALMAS ENTRE SIERRA TARAHUMARA Y MONTE LÍBANO.	124
FIGURA 4. 15. RETIRO DE MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN PARA ALOJAR LA CAJA DE LA VRP-04.	124
FIGURA 4. 16. COLADO DE LOSA DE FONDO DE LA VRP-04.	125
FIGURA 4. 17. CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE LA CAJA DE VRP-04.	125
FIGURA 4. 18. CAJA QUE ALOJA LA VRP DE 305MM (12”) Φ.....	125
FIGURA 4. 19. TRABAJOS Y MANIOBRAS PARA LA INSTALACIÓN DEL TREN DE PIEZAS DE LA VRP-04	126
FIGURA 4. 20. TREN DE PIEZAS ESPECIALES DE LA VRP-04	126
FIGURA 4. 21. ATRAQUES DE CONCRETO EN EL ARREGLO HIDRÁULICO DE LA VRP-04.	127
FIGURA 4. 22. RELLENO Y COLOCACIÓN DE LOSA TAPA DE LA VRP-04	127
FIGURA 4. 23. MANTAS INFORMATIVAS EN EL SECTOR MHO-31	128
FIGURA 4. 24. INTERCONEXIÓN DE TUBERÍAS EN AV. REFORMA Y MONTES AUVERNIA.....	128
FIGURA 4. 25. CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA Y ARREGLO HIDRÁULICO DE INTERCONEXIÓN.	129
FIGURA 4. 26. CONSTRUCCIÓN Y COLADO DE LOSA TAPA DEL SITIO DE INTERCONEXIÓN.	129
FIGURA 4. 27. CRUCEROS DONDE SE INSTALARON TAPAS CIEGAS PARA AISLAR SECTORES.	129
FIGURA 4. 28. COLOCACIÓN DE TAPAS CIEGAS EN CAJAS DE CRUCEROS.	130
FIGURA 4. 29. CALAS DE VERIFICACIÓN PARA LOCALIZACIÓN DE TUBERÍA EN CRUCEROS.....	130

FIGURA 4. 30. LIMPIEZA DE CAJAS PARA OPERACIÓN DE VÁLVULAS.....	131
FIGURA 4. 31. DEMOLICIÓN DE MUROS PARA INSTALACIÓN DE TAPA CIEGA.	131
FIGURA 4. 32. SEÑALIZACIÓN EN CRUCEROS, EN EL SECTOR LOMAS.	132
FIGURA 4. 33. CANCELACIÓN DE TUBERÍA CON COMAL.	132
FIGURA 4. 34. REHABILITACIÓN A LA ENTRADA DEL SECTOR LOMAS	133
FIGURA 4. 35. RUPTURA DE PAVIMENTOS PARA LA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS.	133
FIGURA 4. 36. TUBERÍA DE POLIETILENO RD17 PARA SEPARAR LOS SUBSECTORES.....	134
FIGURA 4. 37. TERMOFUSIÓN DE LA TUBERÍA DE POLIETILENO RD 17.....	134
FIGURA 4. 38. PRUEBAS HIDROSTÁTICAS	134
FIGURA 4. 39. COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA Y RELLENO DE LAS ZANJAS.	135
FIGURA 4. 40. COLOCACIÓN DE ASFALTO EN VIALIDADES, DONDE SE INSTALARON TUBERÍAS.....	135
FIGURA 4. 41. CONSTRUCCIÓN DE BASES PARA GABINETES Y POSTES DE MEDICIÓN.....	136
FIGURA 4. 42. COLOCACIÓN DE GABINETES Y EQUIPO DE MEDICIÓN EN EL SECTOR LOMAS.....	137
FIGURA 4. 43. HABILITADO DEL SISTEMA DE TIERRAS EN EL SITIO DE MEDICIÓN DEL SECTOR LOMAS.....	137
FIGURA 4. 44. COLOCACIÓN DE POSTES EN EL SITIO DE MEDICIÓN DEL SECTOR LOMAS.....	138
FIGURA 4. 45. VISTA DE UN MEDIDOR DE GASTO.	138

Anexos Tablas

ANEXOS TABLA 1. FÓRMULAS PARA DETERMINAR PÉRDIDAS.....	147
ANEXOS TABLA 2. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD PARA TUBERÍA NUEVA.	147
ANEXOS TABLA 3. COEFICIENTES DE PÉRDIDAS PARA ACCESORIOS MÁS COMUNES.....	149
ANEXOS TABLA 4. PREFERENCIAS GENERALES DEL PROGRAMA.	153

Anexos Figuras

ANEXOS FIGURA 1. TABLAS Y GRÁFICOS.	152
ANEXOS FIGURA 2. VISUALIZACIÓN DE REDES Y TABLAS.	152
ANEXOS FIGURA 3. SELECCIÓN DE NUDOS O LÍNEAS.	154
ANEXOS FIGURA 4. VALORES POR DEFECTO.....	155
ANEXOS FIGURA 5. PROPIEDADES DE NUDOS Y LÍNEAS.	156
ANEXOS FIGURA 6. VALORES POR DEFECTO DEL PROYECTO.	158
ANEXOS FIGURA 7. CURVA DE MODULACIÓN.....	161
ANEXOS FIGURA 8. TOPOGRAFÍA DE UNA ZONA DE ESTUDIO.....	171
ANEXOS FIGURA 9. PERIFÉRICOS COMPLEMENTARIOS.	171
ANEXOS FIGURA 10. SUPERPOSICIONES DE MAPAS.....	178

RESUMEN

La presente tesis se desarrolló con la finalidad de llevar a cabo la división (sectorización) de la red de distribución de agua potable del sector MHO-31 de la delegación Miguel Hidalgo, como un programa de gran relevancia en la entrega, distribución y control de caudales, haciendo más eficiente la red, mediante la regulación de la presión en las tuberías, logrando una importante reducción en las fugas, mediante la instalación de las válvulas de seccionamiento y los mecanismos para el control de las presiones con las válvulas reguladoras de presión. Se utilizó el programa EPANET para realizar el análisis hidráulico y la automatización de la red de distribución de agua potable en la delegación.

El análisis aplicado al sector fue, para el periodo extendido o dinámico, para lo cual se creó una curva de modulación, de tal manera que las demandas en los nudos varíen de forma periódica, a lo largo del día.

El porcentaje de fugas, y la calibración de la red, se efectuó con la utilización del coeficiente del emisor, considerando los datos medidos en la zona de estudio, utilizando la curva de evolución, para la alternativa de diseño, con las válvulas reguladoras de presión (VRP) abiertas y posteriormente con las válvulas en operación, para finalmente realizar las propuestas o escenarios del sistema, con el fin de determinar el volumen recuperado, así como el porcentaje de fugas antes y después, de la sectorización de la red de distribución de agua potable del sector MHO-31, en la delegación Miguel Hidalgo.

ABSTRACT

This thesis was developed with the purpose of carries out the division of drinking water distribution network, MHO-31sector of the Miguel Hidalgodelegation as a program of great relevance in the delivery, distribution, and control of water discharge making more efficient the network,through the regularization of the pressure in the pipes, achieving a significant reduction in water flights, through the installation of sectioning valves and mechanisms for control of the pressure with regulating pressure valves, the EPANET program.It was used to realize hydraulic analysis and automation of the distribution of drinking water in of the delegation network.

The analysis applied to the sector was for the dynamic or extended period for which was created a curve of modulation,in such a way that the water demands in nodes vary in periodical way throughout day.

The water flight rates and calibration of the network, was carried out whit the use of the transmitter coefficient of the transmitter, considering the data measured in the study zone,using the evolution curve, for the design alternative with the pressure control valves (VRP), open and later with the valves in operation, to finally realize the proposed or systems cases with the objective of to get the recovered volume, as well as the water flight rates before and after, of the sectorization of distribution network of drinking water of the MHO-31 sector of the Miguel Hidalgodelegation.

OBJETIVOS

Los objetivos planteados alcanzar en el presente trabajo son los siguientes:

1. Con base en la red primaria y secundaria proponer una división de la red de distribución de agua potable de la delegación Miguel Hidalgo del sector MHO-31 en subsectores que permitan un control de caudales tanto en la entrega como en la distribución, haciendo más eficiente la red.
2. Revisar la red de distribución, permitiendo un mayor control de los volúmenes de agua que entran y salen del sistema, regulando la presión interna en la tubería, lo que deriva en un importante control de fugas, mediante la implementación de las válvulas de seccionamiento, así como de la selección de las válvulas reguladoras de presión (VRP), con el fin de demostrar que al controlar un sector hidráulico se obtienen mejores resultados respecto a la reducción de pérdidas de agua por las altas presiones.

HIPÓTESIS

A través de la sectorización y regulación de presiones se optimiza el funcionamiento hidráulico de una red de distribución de agua potable, recuperándose volúmenes importantes de agua potable, así como una reducción significativa de las fugas.

ANTECEDENTES

El agua es elemento fundamental, fuente de vida que constituye parte integrante de todos los seres vivos, animales y vegetales, siendo necesaria como vehículo fundamental para el proceso de las funciones orgánicas, pero, además, es indispensable para todos los usos humanos que proporcionan un mayor bienestar, desde la salud, la alimentación, la industria y al esparcimiento entre otras.

Antiguas Civilizaciones

Egipto

Una de las primeras civilizaciones que se conocen en la realización de obras de riego, es la egipcia, en la explotación del Valle del Nilo, en la zona árida de peculiares crecidas a comienzo de la época de verano, a diferencia de otros ríos de zonas áridas, donde se producían inmensas inundaciones que fertilizaban las tierras. Ello como consecuencia de la gran longitud del río 6,500 Km., donde las lluvias de invierno de la región de los Grandes Lagos y el deshielo tardío de las nieves de las altas mesetas de Etiopía, produce una avenida que tras cargarse de limos con materia orgánica del África Ecuatorial y luego limos de la meseta de Abisinia, llega a las tierras secas de Egipto, produciendo inundaciones pero dándoles vida. Para salvaguardarse de los excesos del Nilo, se construyeron todo el sistema de diques y canales, configurándose en cada gran cuenca de riego una región agrícola.

Mesopotamia

Otro ejemplo de hace unos 5,000 años, es la antigua Mesopotamia, donde el Golfo Pérsico entraba más en las tierras que en la actualidad, hasta la ciudad de Ur que era puerto de mar, desembocando los ríos Tigris, Éufrates y Karun por separado. Allí se sabe que se puso en explotación por agricultores del país de Sumer y del de Akkad, cultivando trigo con aguas del Tigris y del Éufrates por medio de multitud de canales. Igualmente se conoce que las ciudades de Unima y Lagash utilizaban también el agua del Éufrates para el cultivo, pero tras una discusión, Lagash tuvo que prescindir del Éufrates y realizó un canal para traer las aguas del Tigris, llevando tal cantidad de agua que el exceso llegó al nivel freático que era salobrey con el tiempo llegó a contaminar el terreno, haciéndolo inadecuado para el cultivo.

La Gran Tenochtitlán

Durante el reinado de Moctezuma Ilhuicamina en Tenochtitlán fue cuando los hombres comenzaron a entender con más claridad lo que entrañaba vivir en un islote, ver figura 1. Eso les daba un amplio margen para la defensa, pues cualquier ataque tenía que venir por aguay con esto no se vieron en la necesidad de fortificar la ciudad (referencia 8).

Pero así como el lago brindaba a Tenochtitlán un abrigo casi seguro contra sus enemigos, de la misma manera presentaba algunas desventajas graves.

Una de ellas fue la de las inundaciones, y éstas eran provocadas por el desnivel de los lagos.

Y de la misma manera que el agua anegaba las chinampas y aún las casas en algunas ocasiones, así también en otras se tornaba escasa, se retiraba, lo cual era causa de sequías y por otro lado generaba hambre.



Figura 1. Llegada de los mexicas a la zona del lago.

Por otra parte, no era agua propia para beber. Los manantiales de Tenochtitlán eran pocos, tres a lo sumo, y no bastaban para las necesidades diarias de los habitantes ni para las obras, como jardines, con las que pretendían embellecerla sus señores. En cuanto fue creciendo la población, las necesidades se hicieron cada vez más patentes y apremiantes. Tenochtitlán se encontraba rodeada de agua salobre y contaba con escasos manantiales, de manera que el primer requerimiento fue el agua potable, por eso la construcción inicial consistió en el acueducto ideado por Chimalpopoca.

Cuando estaban en la cúspide de su poder, no solo edificaron un acueducto excepcional, sino que incluso llevaron el agua pluvial a través de acequias que corrían por la laguna y se internaban en la ciudad; sólo que estas acequias no fueron hechas para tal propósito de conducir agua potable, pues ese problema ya lo tenían resuelto.

Los intentos de rodear a Tenochtitlán de agua dulce se intensificaron a partir de la construcción del gran dique que dividió en dos a la laguna de Texcoco.

Actualidad

Con el transcurso del tiempo y el progresivo desarrollo humano se han ido aumentando las demandas de agua para distintos usos, dando lugar a que los retornos de las cantidades de agua usadas llegarán a incidir negativamente sobre la calidad de los recursos disponibles, lo cual llevó a la necesidad de efectuar, artificialmente, la depuración que la naturaleza llevaba a cabo, y controlar la contaminación, así como buscar nuevos recursos y administrar adecuadamente el conjunto disponible en las distintas zonas interconectadas o afectadas por los usos, que generalmente coinciden con las cuencas vertientes de los ríos o el conjunto de varias como suele ocurrir, o cuando se trata de explotaciones conjuntas para corregir desequilibrios o por la existencia de una interconexión subterránea.

Por otro lado las características climáticas de nuestro planeta, están determinadas, fundamentalmente, por la interacción de la atmósfera y los océanos, que calentados por el sol, actúan como un inmenso motor térmico. En ello influye la incidencia de la radiación solar, que varía con la hora, la estación del año y la latitud terrestre, además de la disposición de los océanos y continente.

El contenido de agua del planeta se estima en 1,300 trillones de litros. La mayor parte, un 97.23 %, la almacenan los océanos y los casquetes polares un 2.15 %; los acuíferos, la verdadera reserva para el hombre, un 0.61 % (ver fig. 2. Distribución de agua del planeta). Los lagos encierran el 0.009 %, mientras que la cifra desciende en los mares interiores a un 0.008 %. La humedad del suelo acumula el 0.005 % la atmósfera el 0.001 % y los ríos tan sólo 0.0001 % del total, como puede verse en la figura 2.

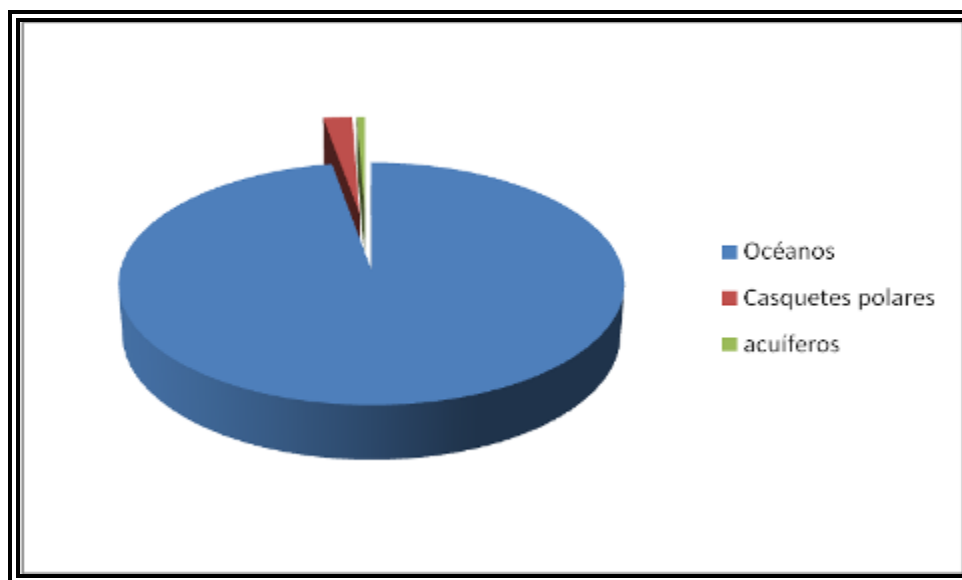


Figura 2. Distribución de agua del planeta

Las características climáticas, sobre todo en las zonas costeras, son propicias para ciertas actividades como la agricultura y el turismo, cuya explotación produce

una atracción externa que genera nuevas demandas internas, en otros casos es la necesidad futura de poner en cultivo nuevas zonas para satisfacer las necesidades alimenticias de la creciente población humana, misma que genera las demandas.

La escasez de agua potable es crítica en España, sur de Italia, Grecia y los Balcanes, parte de Holanda, Alemania, Países Bajos e Inglaterra. En el resto, grave

Casi toda Europa se encuentra en un estado que va de grave a crítico. De sus 55 ríos, sólo cinco no están contaminados. La escasez de agua potable es crítica en España, sur de Italia, Grecia y los Balcanes, parte de Holanda, Alemania, Países Bajos e Inglaterra. En el resto, es grave. Han contribuido a este desastre, la explotación irracional del recurso ver figura 3, la contaminación producida por las industrias petroquímicas, el uso de agro- tóxicos hasta hace pocos años en la agricultura, la devastación de los bosques naturales.



Figura 3. Consecuencias de la escasez de agua

Peor es la situación en Asia. En el Medio Oriente, la Península Arábiga, Irán, Afganistán, Pakistán, India, Asia Central, parte de China, Japón, Corea, el estado es crítico. Turquía e Irak están enfrentados por las nacientes del Tigris y el Éufrates donde los turcos aspiran a construir represas para desviar el agua de estos ríos. El trasfondo de la guerra israelí - palestina también está dado por la decisión de Israel de apoderarse totalmente de los recursos que ambos pueblos comparten y aún del agua del Líbano y Siria. Los ríos de la India están totalmente contaminados. Igual el río Amarillo, corazón y vida de China, y los ríos que alimentan las planicies del norte aunque el gobierno chino ha tomado medidas para revertir la situación. Las reservas subterráneas de China también fueron afectadas, sobre todo entre los años 1991 y 1996. El Mar de Aral, que se encuentra entre Uzbekistán y Kazajstán, se está secando debido a la contaminación producida por los elementos químicos que se utilizan en Uzbekistán para el lavado del algodón, que es el principal producto económico del

país. Esta contaminación ha matado toda la vida que florecía alrededor del Aral y ha afectado la salud de los habitantes de la región: distintos cánceres, abortos espontáneos, niños que nacen con graves problemas físicos o mentales.

Australia padece serios problemas en el sur. La sobreexplotación de los ríos y de las reservas de agua subterránea está concentrando grandes cantidades de sal en la superficie. El intento australiano de desviar el curso de algunos ríos hacia esta zona del país, terminó provocando un desastre ecológico de carácter irreversible en todo sentido, no sólo para la vida vegetal y animal, sino también para la humana pues se perdieron tierras fértiles, aptas para la agricultura.

África a pesar de poseer dos enormes acuíferos (reservorios de agua potable mineral subterráneos que se encuentran a partir de distintas profundidades de la superficie), el de Nubia (Sudán) con un volumen de 75,000 kilómetros cúbicos (un kilómetro cúbico equivale a un billón de litros de agua, es decir un uno con doce ceros atrás) y el del Norte del Sahara con 60,000 kilómetros cúbicos, se encuentra en estado crítico en el norte, parte de Somalia, Eritrea, Etiopía y en el sur del continente. Todos sus ríos y lagos están contaminados por la sobreexplotación humana, sobre todo por razones económicas. Un continente que poseía reservas de agua potable, que alguna vez fue comparado con el Paraíso, hoy se muere de sed.

El Agua Potable en el Continente Americano.

Nuestro continente, con el 12% de la población mundial, encierra el 47% de las reservas de agua potable de superficie y subterránea del mundo.

En América del Norte, la situación va de grave a crítica. 200 millones de personas dependen del agua subterránea para el uso doméstico y los científicos han determinado que la misma desempeña un papel importante en la conservación de los ríos, lagos, humedales y sistemas acuáticos. Las aguas superficiales y subterráneas interactúan, de tal modo que los cambios en los niveles de agua subterránea pueden tener efectos significativos en hábitats críticos como la vegetación ribereña y la vida silvestre que de ellos dependen.

Canadá posee el 9% del agua dulce y renovable del mundo, la gran mayoría de ella es subterránea y se calcula que su volumen es 37 veces más grande que el del agua de los lagos y ríos del país. Se sabe que el agua subterránea abastece en un 22% al lago Erie y en un 42% a los lagos Hurón y Ontario. Más de un cuarto de canadienses se abastecen de agua subterránea para uso doméstico. A pesar de contar con tanta agua potable, la población sólo accede al 40% de ella.

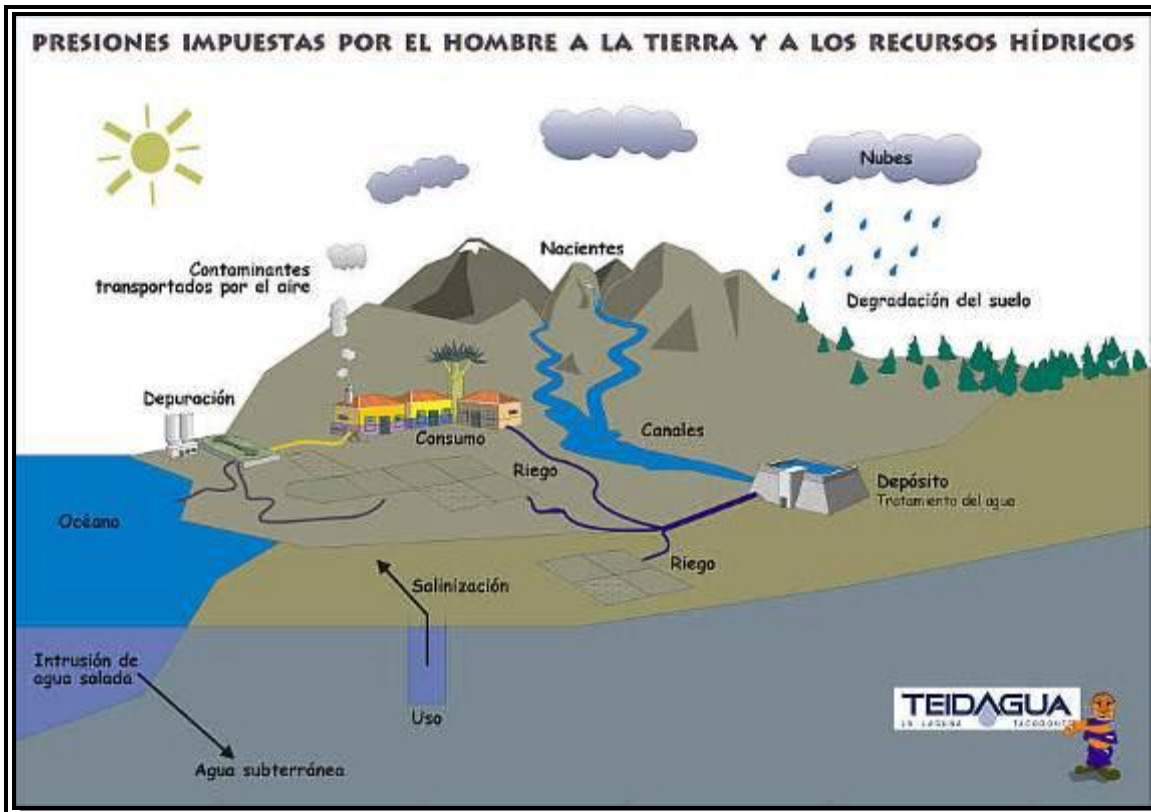


Figura 4. Ciclo Hidrológico

En muchas regiones el agua subterránea se consume con mayor rapidez que con la que se recarga. Canadá está padeciendo problemas de contaminación en algunas zonas debido a industrias petroquímicas, pesticidas, aguas residuales, nitratos, desechos químicos, etcétera. La contaminación de los acuíferos produce mortalidad entre la población, sobre todo en los niños, ya que las aguas subterráneas se transforman en armas letales por los venenos, tóxicos y bacterias que adquieren, ver figura 4.

EE. UU. Tiene el 40% de sus ríos y lagos contaminados. El famoso Canal del Amor de las Cataratas del Niágara, equivalente para los norteamericanos a lo que es la Garganta del Diablo en nuestras Cataratas del Iguazú, padece un alto grado de contaminación.

Pero también la padecen los acuíferos estadounidenses. El Ogallala, que se extiende por ocho estados desde Dakota del Sur al norte, hasta Texas, ha visto mermar sus aguas por la sobreexplotación del mismo en las grandes llanuras, corazón cerealero del país. El uso de agro-tóxicos como el glifosato, utilizado ya como defoliante por las tropas norteamericanas durante la Guerra de Vietnam y cuyas consecuencias aún se hacen sentir en el medio ambiente y población vietnamitas, los desechos químicos, sumideros, han contaminado gravemente al Ogallala. El Acuífero ha disminuido hasta 30 metros en algunas zonas.

La mitad de la población estadounidense depende del agua subterránea. La extracción a mayor ritmo que con el que la naturaleza lo recarga, es decir la explotación irracional del acuífero, produce la disminución del nivel del agua (Chicago - Milwaukee, Cuenca del Alburquerque, Nueva México, Acuífero Sparta de Arkansas, Louisiana, Mississippi), la intrusión del agua salada en los acuíferos costeros (tal es el caso de la costa atlántica de CapCode a Miami, Long Island, Nueva York y la costa central de California), el hundimiento del suelo (Valle San Joaquín, California, Houston, Galveston en Texas, Baton Rouge en Louisiana, Phoenix en Arizona) y la reducción de las descargas de agua superficial en ríos y humedales. El proceso de hundimiento del suelo es irreversible pues los sedimentos de los mantos acuíferos se compactan y la capacidad de almacenamiento se reduce para siempre. Hoy EE UU tiene un déficit de agua subterránea calculado en 13,600 millones de metros cúbicos (cada metro cúbico equivale a 1,000 litros de agua) anuales, cuya mayor parte se acumula en el Ogallala. La sobreexplotación también alteró el sistema de los Everglades en Florida y produjo la ruptura del equilibrio ecológico de la región. El acuífero transfronterizo entre Canadá y EE UU, el Abbootsford, también está contaminado. Los sistemas sépticos, las fugas en los tanques de almacenamiento subterráneo, los derrames de sustancias químicas industriales, las filtraciones de los vertederos de residuos sólidos y peligrosos, los terrenos baldíos donde alguna vez funcionaron industrias como fundiciones, plantas de destilación de alquitrán, de hulla y altamente contaminados, los nitratos, plaguicidas y bacterias, han alterado la calidad de las aguas subterráneas y de superficie. En Texas, se está evaluando la construcción de una planta de desechos radiactivos y peligrosos lo que provocaría la potencial contaminación de las aguas del río Bravo o Grande, frontera natural entre México y EE UU.

En las Llanuras Altas, los agricultores han comenzado a abandonar la agricultura de irrigación. Los cambios en los recursos hídricos, están afectando las relaciones internacionales en las fronteras norte (Canadá) y sur (México) de EE UU donde las cuencas compartidas están generando disputas, a pesar de los Acuerdos Binacionales sobre Aguas Compartidas. El Acuerdo entre Canadá y EE UU data del año 1909 y regula las cuencas del Río San Lorenzo, de los Grandes Lagos, Grandes Llanuras, del Columbia y Yukón.

De acuerdo a lo anterior, el cuidado del agua se ha convertido en la prioridad de las nuevas generaciones con el objetivo de mantener una calidad de vida adecuada. El consumo de agua en el mundo aumentó seis veces entre 1900 y 1995, más del doble de la tasa de crecimiento de la población y continúa aumentando a medida que incrementa tanto la demanda doméstica como industrial (Kirby, 2004).

En el caso de México el problema no es ajeno, puesto que el uso del líquido por parte de la población e industria ha provocado que de los 653 acuíferos existentes en el territorio, sólo 102 suministran cerca del 50% del agua subterránea que se destina para todo uso Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI 2005).

En el 2003, en el país existía una disponibilidad natural promedio de 476 mil 456 hectómetros cúbicos de agua al año, lo que lo ubica en el mundo como uno de los países con disponibilidad media (INEGI, 2005). La industria, servicios, comercio y termoeléctricas ocupan el tercer lugar en utilizar agua potable, con un 10% para su función; mientras que el sector agropecuario se encuentra en primer lugar con 77 por ciento.

Por tal motivo, el desperdicio, la contaminación del recurso, su inadecuada utilización y deficiente administración, sumado a la presión poblacional, son factores que han dado lugar a que en los últimos 50 años la nación pasó a estar entre los países con disponibilidad de agua baja.

Durante el *Cuarto Foro Mundial del Agua en México*, las conferencias y debates han permitido ampliar el nivel de comprensión de las respuestas necesarias, destacando de entre todos los objetivos, el cumplimiento de *Metas de Desarrollo del Milenio para el 2015*, adoptadas por la cumbre de las Naciones Unidas del año 2000, que en materia de agua establece la reducción a la mitad el porcentaje de personas sin acceso sustentable al agua potable y al saneamiento básico. En nuestro país, dentro de las metas del *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*, se aspira a lograr una cobertura del 89% en el suministro de agua potable, partiendo de que en 2000 se contaba con 88.5 %.

El programa denominado *Abastecimiento de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas* ha representado el pilar sobre el que se apoya la mayor parte de la inversión federal. Los responsables de la prestación de los servicios, van concentrando sus esfuerzos en la realización de acciones que les permitan incrementar sus eficiencias, tanto en la reducción del agua no contabilizada como en el aumento de sus ingresos económicos por el servicio.

Con el crecimiento demográfico, y principalmente con la desordenada expansión de los asentamientos humanos, los organismos operadores de agua potable enfrentan numerosas complicaciones para incrementar la infraestructura y buscar nuevas fuentes de abastecimiento, olvidando casi por completo el mantener y reforzar la infraestructura actual.

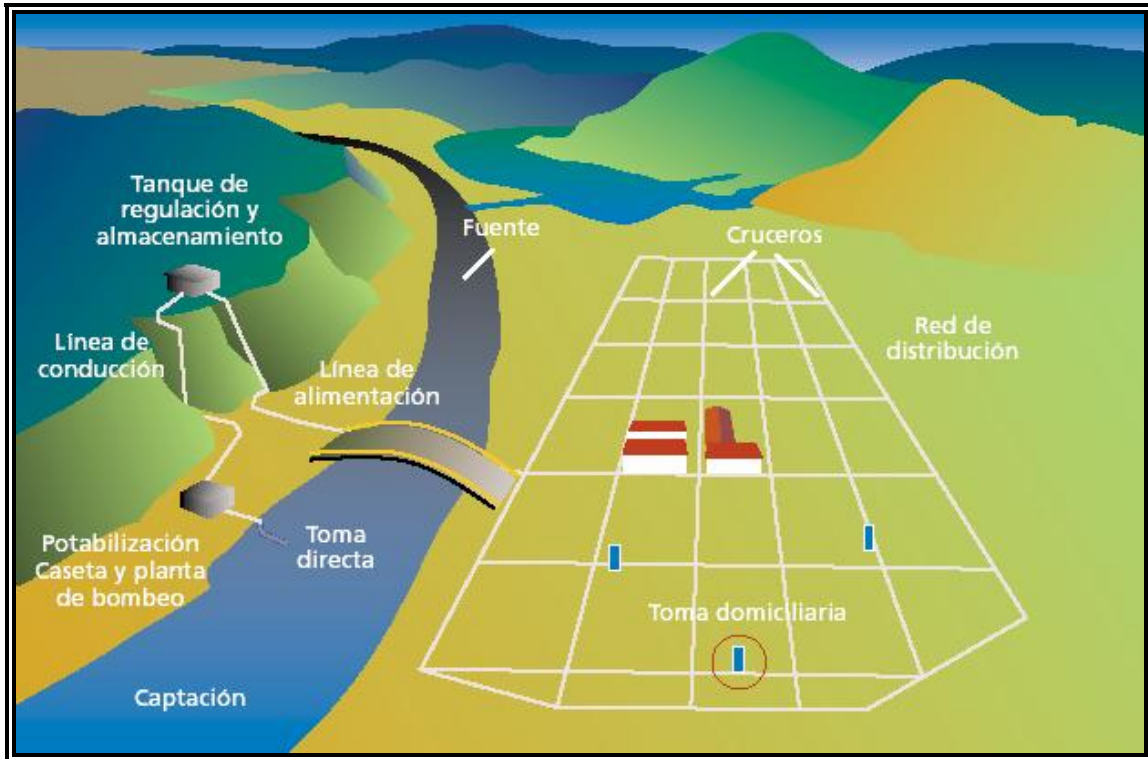


Figura 5. Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

Ante esta situación, es imprescindible voltear la mirada hacia una mejor gestión del agua potable, priorizando aquellas acciones encaminadas al manejo de los consumos y el incremento en la eficiencia con la que se presta el servicio, reduciendo el volumen de agua perdida en fugas, verificando las tarifas y aumentando la base de facturación y real cobro.

El tema de la sectorización es particularmente importante, pues facilita la operación de la red de distribución, permitiendo un mayor control de los volúmenes de agua que entran y salen del sistema, y sobre todo, regulando la presión interna en la tubería, lo que derivaría en una importante reducción de fugas, como puede verse en la figura 5.

Actualmente, y con base en la experiencia de varios países que lo han logrado, algunos de los organismos operadores nacionales también han adoptado esta nueva visión en el manejo del agua, y casi todos ellos coinciden en la sectorización como uno de los primeros pasos para facilitar el control gradual de la red de distribución, avanzando en forma ordenada y sólida.

Justificación

El problema de Abastecimiento del agua Potable es un tema que cada día ocupa más la atención de científicos, técnicos, políticos y en general, de la población del país.

La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abasto suficiente de agua a la población se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua.

México, un país rico en recursos naturales, obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias. Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora.

Bajo este panorama, México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua. Parte de esta problemática, se enfrenta con la construcción de la Infraestructura Hidráulica que permite satisfacer de agua a los diferentes sectores de la población: el agrícola, el industrial, el doméstico y de servicios y para la generación de energía eléctrica, entre otros.

No obstante existen diferencias territoriales importantes que son desfavorables.

En el sureste y las zonas costeras se logra captar el 50% del escurrimiento, producto de la lluvia.

La zona norte del país está constituida por regiones áridas y las presas tienen la función de captar el agua que se utilizará en la actividad agrícola. En la zona sur del país, donde se localizan las regiones húmedas, las presas tienen como función almacenar el agua para la generación de la energía eléctrica y el control de avenidas.

El caso particular de la Ciudad de México

Aunado a la problemática anterior, uno de los problemas más graves detectados en el sistema de distribución de agua potable en el Distrito Federal, es el relacionado con las fugas, debido a los asentamientos o hundimientos del terreno natural por causa de la sobreexplotación de los acuíferos, tuberías con un tiempo de servicio de más de 30 años, el tipo de material, las políticas de operación del sistema, la calidad de la mano de obra.

La falta de mantenimiento que acelera el deterioro de la infraestructura, ocasionando el incremento de fugas. En el caso de los equipos de bombeo, no sólo se reduce la eficiencia en su operación incrementándose los consumos de

energía eléctrica, sino también presentan fallas continuas y deficiencias que demeritan la calidad del servicio.

Por lo anterior, se propondrán cambios a la red de distribución, de tal manera que permita un mejor control de los volúmenes de agua que entran y salen del sistema, y sobre todo, regulando la presión interna en la tubería, mediante las válvulas de seccionamiento necesarias y los mecanismos para el control de presiones; la medición de gastos de alimentación, así como la variación diaria de la demanda.

Lo antes expuesto, justifica plenamente al trabajo de tesis, titulado "**La Sectorización Hidráulica de redes de distribución de Agua Potable**" y en particular de la red de alimentación en la **Delegación Miguel Hidalgo** en el sector MHO-31, así como el análisis hidráulico del sistema a través del programa **EPANET**, además de proponer un sistema para el control de presiones, que disminuyan las grandes pérdidas que presenta la red de distribución de agua potable en esta delegación.

INTRODUCCIÓN

La **Delegación Miguel Hidalgo** está enclavada en el poniente de la **Ciudad de México**, inmersa en lomas y barrancas, y comprende también una zona de planicies, la cual fue nombrada en Diciembre de 1970, cuando se publicó la ley que estableció la nueva división política de la ciudad de México; y nace como un reconocimiento a la figura y la lucha del “**Padre de la Patria**”, símbolo de la libertad y la independencia.

El índice de urbanización que tiene la delegación Miguel Hidalgo con referencia a las demarcaciones administrativas del centro del país, es muy alto; se agrupa a las delegaciones centrales del Distrito Federal, cuya principal característica es la consolidación urbana y la concentración de equipamiento urbano e infraestructura.

Dentro de los equipamientos regionales que contiene la delegación se encuentran las tres secciones del Bosque de Chapultepec, el Hipódromo de las Américas, Deportivo Plan Sexenal, Museo de Antropología e Historia, Zoológico de Chapultepec, Museo del Niño, Museo de Historia Natural, Auditorio Nacional, Museo de Historia, Hospital Español, Cruz Roja Mexicana, Hospital Militar, Hospital Mocel, Instituto Politécnico Nacional (Casco de Santo Tomás), Universidad del Ejército y Fuerza Aérea, Escuela Normal de Maestros, Conjunto Cultural del Bosque, Universidad del Valle de México, Conservatorio Nacional de Música, Secretaría de la Defensa Nacional y Secretaría de Turismo, entre otros.

La estructura vial que posee la delegación, permite la comunicación de sus pobladores con el resto de la ciudad y de la zona conurbada; a la vez que la convierten en paso obligado hacia los municipios vecinos de Estado de México. Se ubica en el paso de comunicación de dos de las subregiones más importantes, Toluca a través de la avenida Reforma y Constituyentes; y Querétaro, a través del Anillo Periférico (referencia 9).

La delegación Miguel Hidalgo tiene una superficie de 47.00 km². De origen prehispánico múltiple debido a los asentamientos de Tacuba, Tacubaya y Chapultepec; esta región pasó del dominio Tecpaneca al de la triple alianza formada por Tenochtitlán, Tacuba y Texcoco. Su importancia es mucha por los acontecimientos que han tenido lugar en su territorio, y que forman parte de la historia no sólo de la delegación o del Distrito Federal sino del País.

En esta delegación contrastan las zonas habitacionales y de servicios que cuentan con la infraestructura urbana necesaria como las que se encuentran en Bosques de las Lomas, Polanco, Lomas de Chapultepec y que son para personas con nivel socioeconómico alto, con las zonas de Tacubaya, Nextitla, Popotla, Legaría, Antigua Argentina y San Lorenzo Tlaltemango, éstas últimas de carácter popular y que suministran de mano de obra a las zonas febriles de ésta y de la vecina delegación de Azcapotzalco, y en su momento a la refinería 18 de Marzo. La mitad

del territorio presenta pendientes medianas y acentuadas, tres cuartas partes de las zonas planas tiene uso habitacional.

La demanda de educación preescolar, primaria, secundaria y media superior está cubierta. Funcionan, además, la Unidad Santo Tomás del Instituto Politécnico Nacional, la Escuela Nacional de Maestros, entre otros; se dispone de 36 centros de salud y 48 clínicas. En esta delegación se encuentra el mayor centro recreativo y cultural (el Bosque de Chapultepec), punto obligado en el itinerario de los visitantes nacionales y extranjeros; además los clubes Mundet, Israelita y Plan Sexenal; el Hipódromo de las Américas, el Campo Marte, el Centro Deportivo Olímpico Mexicano y el Instituto Nacional del Deporte.

La infraestructura vial está formada por las líneas 1, 2 y 7 del metro, por las arterias Periférico y el Circuito Interior, las avenidas Río San Joaquín, Marina Nacional, Constituyentes, Cuitláhuac, Palmas, Parque Lira, Revolución, Patriotismo y el Paseo de la Reforma.

Entre las actividades están los recorridos a la zona de estudio, para conocer el estado actual de la infraestructura hidráulica, los límites del sector, los puntos de suministro a la red, por otro lado desarrolle todo lo referente a la aplicación del programa EPANET, todo el análisis hidráulico, la calibración de la red, el análisis y solución de las propuestas o escenarios, la inclusión de los datos proporcionados por el SACM para la calibración, la determinación de las pérdidas, el volumen recuperado, el porcentaje de fugas, la selección de las válvulas reguladoras de presión, la elaboración de figuras y graficas, cuadros de resultados, conclusiones y recomendaciones.

I GENERALIDADES

1.1 MARCO FÍSICO

1.1.1 Ubicación geográfica

La delegación Miguel Hidalgo se encuentra ubicada geográficamente tal como se indica en la tabla 1.1.

Tabla 1. 1. Ubicación Geográfica.

Norte	19° 28'	
Sur	19° 23'	Latitud norte
Este	99° 10'	
Oeste	99° 16'	Latitud oeste

Fuente: Plan de Acciones Hidráulicas, 2001-2005, Delegación Miguel Hidalgo Departamento del Distrito Federal, Secretaría General de Obras, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

En la figura 1.1 se muestra un plano con la ubicación de la Delegación Miguel Hidalgo en relación con todas las delegaciones que forman el Distrito Federal.

En las tablas 1.2 se presenta el perímetro y los límites de la delegación, en la 1.3 se indica el área y extensión de la delegación, en la 1.4 se indican las características fisiográficas y en la 1.5 los sitioelevados de la delegación.

En la figura 1.2 se presenta un perfil del interceptor poniente de la delegación.

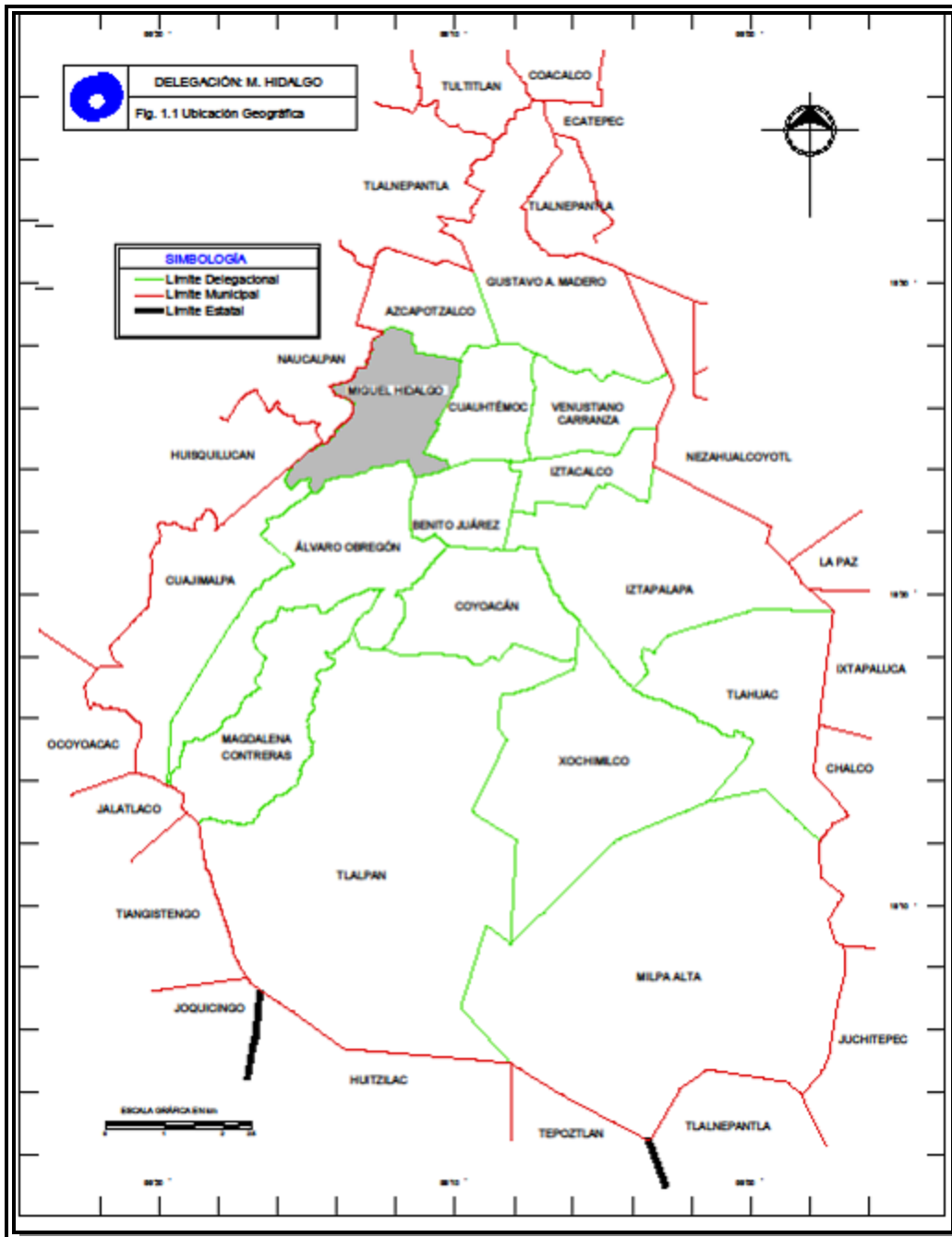


Figura 1. 1. Ubicación Geográfica.

Tabla 1. 2. Perímetro y límites delegacionales.

Orientación	Delegación o municipio limitante	Perímetro
Norte	Azcapotzalco	Sánchez Colín, 5 de Mayo, Ferrocarriles Nacionales de México, calle Primavera, Av. Azcapotzalco
Este	Cuauhtémoc	Avenida Instituto Técnico Industrial (circuito interior), Calzada Melchor Ocampo, José Vasconcelos, Benjamín Franklin y Avenida Nuevo León
Sur	Benito Juárez, Álvaro Obregón y Cuajimalpa	Viaducto Miguel Alemán, 11 de Abril, Anillo Periférico, Av. Observatorio, Av. Constituyentes, Paseo de la Reforma y Paseo de los Ahuehuetes
Oeste	Huixquilucan y Naucalpan, Estado de México	Ingenieros Militares, Santiago A., Paseo de los Ahuehuetes, Barranca Tecamachalco, Hipódromo de las Américas y Campo Militar No. 1

Fuente: "Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Miguel Hidalgo, 1998". SDUV, GDF.

1.1.2 Superficie

Tabla 1. 3. Áreas y extensiones.

Área	Extensión (km ²)	Porcentaje con respecto a la delegación	Porcentaje con respecto al Distrito Federal
Urbana	47.00	100	3.16

Fuente: "Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Miguel Hidalgo, 1998". SDUV, GDF

Tabla 1. 4. Características fisiográficas.

Zona geográfica	Provincia	Subprovincia	Sistema de topografías	% de la superficie delegacional	Altitud media Msnm	Pendiente
Altiplano Mexicano	Eje volcánico	Neo Lagos Volcanes Anáhuac	y de Lomerío con cañadas	57.00	2,500	Hasta 10%
			Llanura aluvial	19.00	2,250	
			Llanura lacustre	24.00	2,250	

Fuente: Atlas Cartográfico de la Ciudad de México y Área Conurbada, Inédito.

Nota:msnm: metros sobre el nivel del mar.

Tabla 1. 5. Sitios elevados.

Nombre	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud msnm
Cerro de Chapultepec	19° 25'	99° 11'	2,280

Fuente: INEGI. Carta Topográfica, 1:50 000.

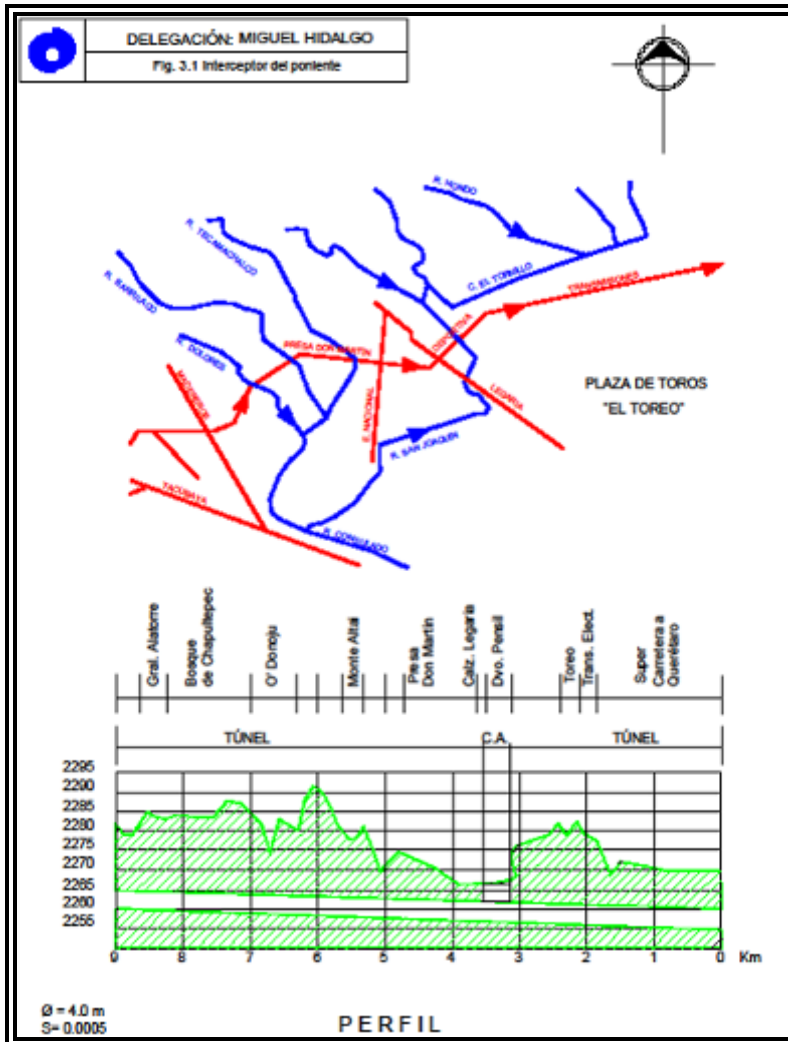


Figura 1. 2. Interceptor del poniente, delegación Miguel Hidalgo.

En las tablas 1.6 se indica la altitud y en la 1.7 las estaciones meteorológicas, en la 1.8 los climas y en la 1.9 la temperatura y la precipitación, respectivamente.

Tabla 1. 6. Altitud.

<i>Zona</i>	<i>Zona y colonias representativas</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
Norte	Zona de Panteones, Argentina, Torre Blanca, San Lorenzo Tlaltenango.	2,250
Este	Anáhuac, Anzures, Polanco, Bosque de Chapultepec, Escandón.	2,250
Oeste	Lomas de Chapultepec y Bosques de las Lomas.	2,300a2,500

Fuente: Dirección Técnica. DGCOH, GDF.

1.1.3 Características meteorológicas

Tabla 1. 7. Estaciones meteorológicas.

<i>2,300a2,500</i>	<i>Latitud Norte</i>	<i>Longitud Oeste</i>	<i>Altitud</i>
Colonia Escandón	19°24'	99°11'	2,240 msnm
SCOP	19°27'	99°12'	2,240 msnm
Tacubaya Presa	19°24'	99°13'	2,300 msnm

Fuente: INEGI. Atlas Climático de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Inédito.

Tabla 1. 8. Climas.

<i>Clima</i>	<i>% dentro del territorio delegacional</i>
Templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad.	21.21
Templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad.	23.86
Templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media.	54.93

Fuente: INEGI. Carta de Climas, 1:1 000 000.

Tabla 1. 9. Temperatura y precipitación.

	<i>Temperatura</i>	<i>Precipitación acumulada hasta en 2000</i>
Mínima	6.7° C	
Media	14.1° C	331.5
Máxima	21.4° C	

Fuente: Unidad Departamental de Automatización y Medición 2000. DGCOH, GDF.

En la figura 1.3 se muestra la grafica de la precipitación mensual de la delegación.

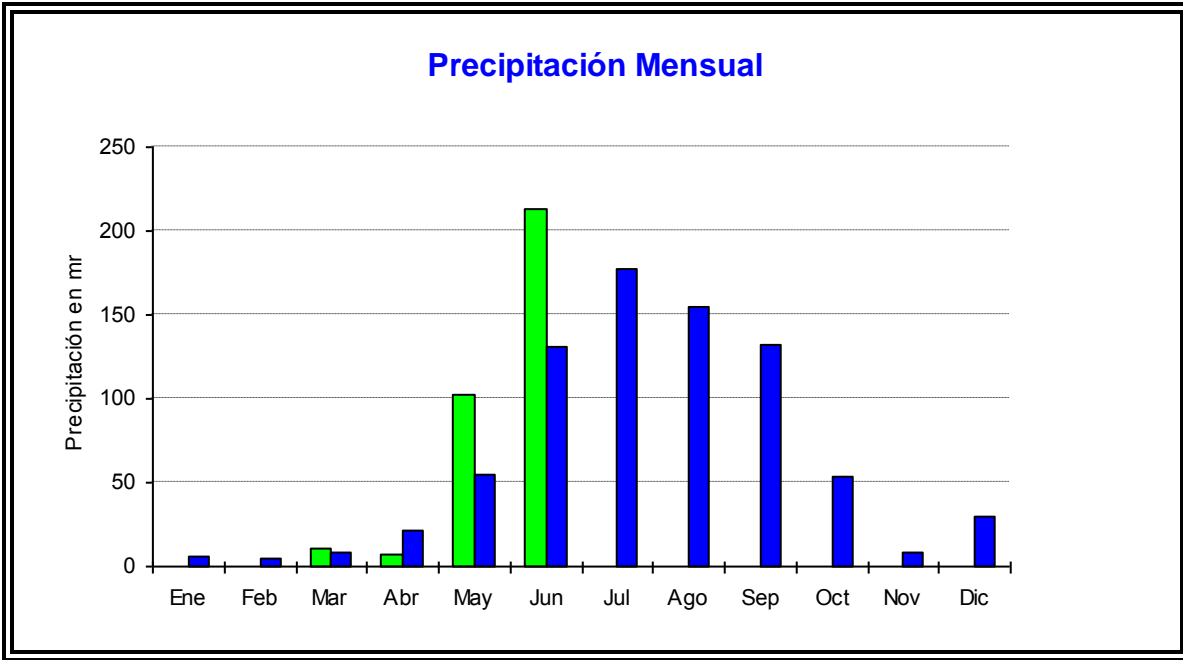


Figura 1. 3. Precipitación histórica mensual y anual (1982-2000) en mm.

2000	0.0	0.0	10.2	6.7	102.0	212.6	---	---	---	---	---	---	331.5
PROMEDIO	5.5	5.0	7.9	21.0	55.1	131.0	177.2	155.1	132.6	53.1	8.9	29.6	782.1

1.1.3.1 Cobertura vegetal.

Las áreas verdes comprenden una superficie de 9.87 km² repartidos en parques, jardines, camellones, y deportivos; por su importancia sobresalen las tres secciones del bosque de Chapultepec, las áreas verdes del Parque Lira y Parque América; los camellones del Paseo de la Reforma, Paseo de las Palmas y Horacio; los deportivos Chapultepec y el Hipódromo de las Américas (referencia 9).

1.1.4 Características geológicas

De acuerdo a la zonificación, desde el punto de vista estratigráfico, el Distrito Federal presenta tres tipos de zonas.

- Lomas, conformada por gravas, arenas, bloques, basaltos y piroclásticas.
- Transición, conformada por arcilla; arena y grava.
- Fondo de lago, conformada por tobas, limos, arcillas y arenas finas.

En las tablas, 1.10 se indica las unidades litológicas, en la 1.11 la zonificación según el material estratigráfico y en la 1.12 las cuencas y subcuencas hidrológicas.

Tabla 1. 10. Unidades litológicas.

<i>Era</i>	<i>Periodo</i>	<i>Roca o suelo</i>	<i>Unidad litológica</i>	<i>% de la superficie delegacional</i>
Cenozoico	Cuaternario	Suelo	Aluvial	13.89
			Lacustre	47.22
	47.22	Ígnea extrusiva	Andesita	2.78
			Volcanoclástica	36.11

Fuente: CGSNEGI. Carta Geológica, 1:250 000.

Tabla 1. 11. Zonificación de la delegación según tipo de material estratigráfico.

<i>Zona</i>	<i>Localización</i>				
	<i>Norte</i>	<i>Sur</i>	<i>Este</i>	<i>Oeste</i>	<i>Centro</i>
Ígneas piroclásticas		X	X		
Sedimentar - arcilla	X	X	X	X	X
Sedimentar - brecha		X			

Fuente: Dirección Técnica. DGCOH, GDF.

1.1.5 Características hidrográficas.

Las corrientes efímeras son las que llevan agua cuando llueve o inmediatamente después, entre las que se encuentran los ríos Dolores y Barrilaco; en el caso de las corrientes perennes que llevan flujo todo el año, tenemos a los ríos Consulado, Tacubaya, Tecamachalco, San Joaquín y El Tornillo; los cuales se encuentran entubados en su totalidad, excepto El Tornillo (sólo está entubado en una longitud aproximada de 1,200 m). En la actualidad estos cauces forman parte de la red primaria de drenaje.

Tabla 1. 12. Cuencas y Subcuencas hidrológicas.

<i>Región</i>	<i>Cuenca</i>	<i>Subcuenca</i>	<i>% de la superficie delegacional</i>
Pánuco	R. Moctezuma	L. Texcoco-Zumpango	100.00

Fuente: CGSNEGI. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000, INEGI. Carta Topográfica, 1:50,000.

En las tablas 1.13 se indican las corrientes y cuerpos de agua, en la 1.14 la población, en la figura 1.4 el crecimiento histórico de la población, en la tabla 1.15 el nivel de educación de la delegación.

Tabla 1. 13. Corrientes y cuerpos de agua.

Corrientes	Cuerpos de agua
Tecamachalco (entubado)	Lagos de Chapultepec (artificiales)
Consulado (entubado)	
De la Piedad (entubado)	

Fuente: CGSNEGI. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:250 000.

1.2 MARCO URBANO

Tabla 1. 14. Población.

Año	Población			Densidad bruta.		
	Habitantes en la delegación	Habitantes en el D.F.	(%) con respecto al D.F.	Hab./ha en la delegación	Hab./ha en el D.F.	(%) con respecto al D.F.
1970	648,236	6'874,165	9.43	154.2	105.97	1.46
1980	543,062	8'831,079	6.15	127.7	136.14	0.94
1990	406,868	8'235,744	4.94	87.7	126.97	0.69
2000	351,846	8,591,309	4.09	75.8	132.45	0.57

Fuente: "Distrito Federal, XII Censo de Población y Vivienda 2000, Resultados Preliminares", INEGI.

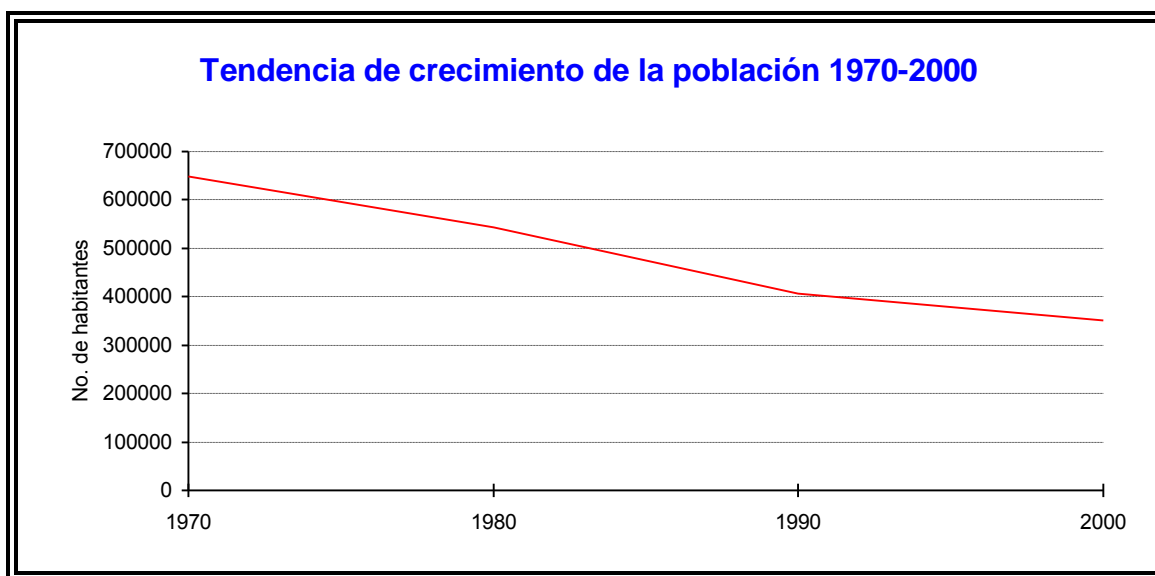


Figura 1. 4.Crecimiento histórico de la población (1970-2000)delegación Miguel Hidalgo.

Tabla 1. 15. Nivel de Educación.

Nivel de Estudio	Delegación		D.F.	
	Población	(%)	Población	(%)
Analfabetismo	10,907	3.1	237,120	2.76
Primaria concluida	57,703	16.4	4,088,604	47.59
Con instrucción postprimaria	Con instrucción postprimaria	68.8	3,448,551	40.14
Sin información	41,166	11.7	817,033	9.51

Fuente: "Distrito Federal, XII Censo de Población y Vivienda 2000, Resultados Preliminares", INEGI (datos calculados 2000)

1.2.1 Proyección de población

El Programa de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, plantea la política demográfica de alcanzar en 20 años una tasa de decremento anual de 0.97 por ciento y una densidad bruta de 61 hab. /ha. Con base en ello, se pretende que la delegación Miguel Hidalgo alcance una población de 282,944 habitantes en el año 2015, tal como se indica en la tabla 1.16

Tabla 1. 16. Proyección de la población al año 2015.

Año	Habitantes en la delegación	Habitantes en el Distrito Federal	Porcentaje con respecto al D.F.
2000	351,846	8,591,309	4.10
2001	346,771	8,638,245	4.17
2003	336,839	8,738,879	4.32
2005	327,192	8,848,856	4.48
2007	317,821	8,968,589	4.63
2009	308,718	9,098,524	4.79
2011	299,876	9,239,139	4.95
2013	291,287	9,390,943	5.10
2015	282,944	9,554,485	5.26

Fuente: "Distrito Federal, Censo de Población y Vivienda 2000, Resultados Preliminares", INEGI (datos calculados)

En la figura 1.5, se muestra la grafica de la población para el año 2015, en la tabla 1.17 se indican las características de la vivienda.

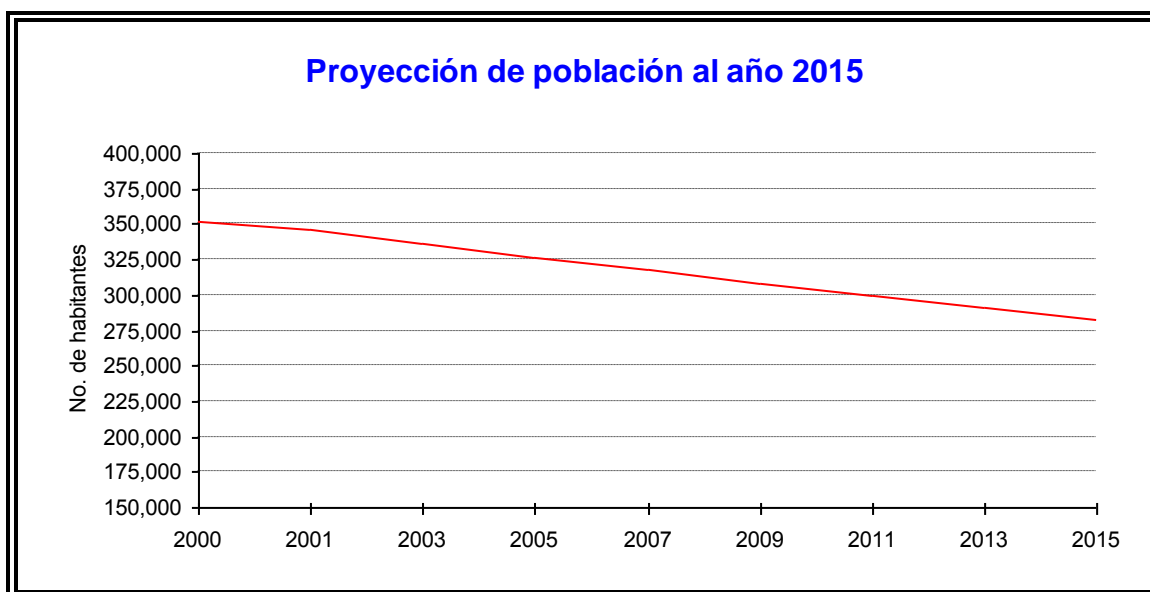


Figura 1. 5. Proyección de la población al año 2015delegación Miguel Hidalgo.

1.2.2 Vivienda

Tabla 1. 17. Características de la vivienda.

Característica	Miles de viviendas				Con respecto al D. F.
	En delegación	la (%)	En el D.F.	(%)	
Propias	43,769	45.29	1,380,115	64.8	3.17
Rentadas	43,469	44.98	545,628	25.6	7.97
Otras	9,403	9.62	205,623	9.7	4.57
Unifamiliar	27,398	28.35	1,121,099	52.6	2.44
Plurifamiliar	66,721	69.04	976,166	45.8	6.84
Otras	2,522	2.40	34,101	1.6	7.40
Hacinamiento	10,109	10.46	1,121,099	14.8	0.90
Precariedad	12,534	12.97	976,166	18.7	1.28
Deterioradas	**	**	34,101	31.1	**
Agua Entubada	95,936	99.27	2,080,213	97.6	4.61
Drenaje	95,327	98.64	2,080,213	97.6	4.58
Energía Eléctrica	96,032	99.37	2,120,709	99.5	4.53
Sin información	503	0.52	6,394	0.3	7.86
TOTAL	96,641	100.0	2,131,366	100.0	4.53

Fuente: "Distrito Federal, XII Censo de Población y Vivienda 2000, Resultados Preliminares", INEGI (datos calculados)

En la figura 1.6 se indican las características de la vivienda.

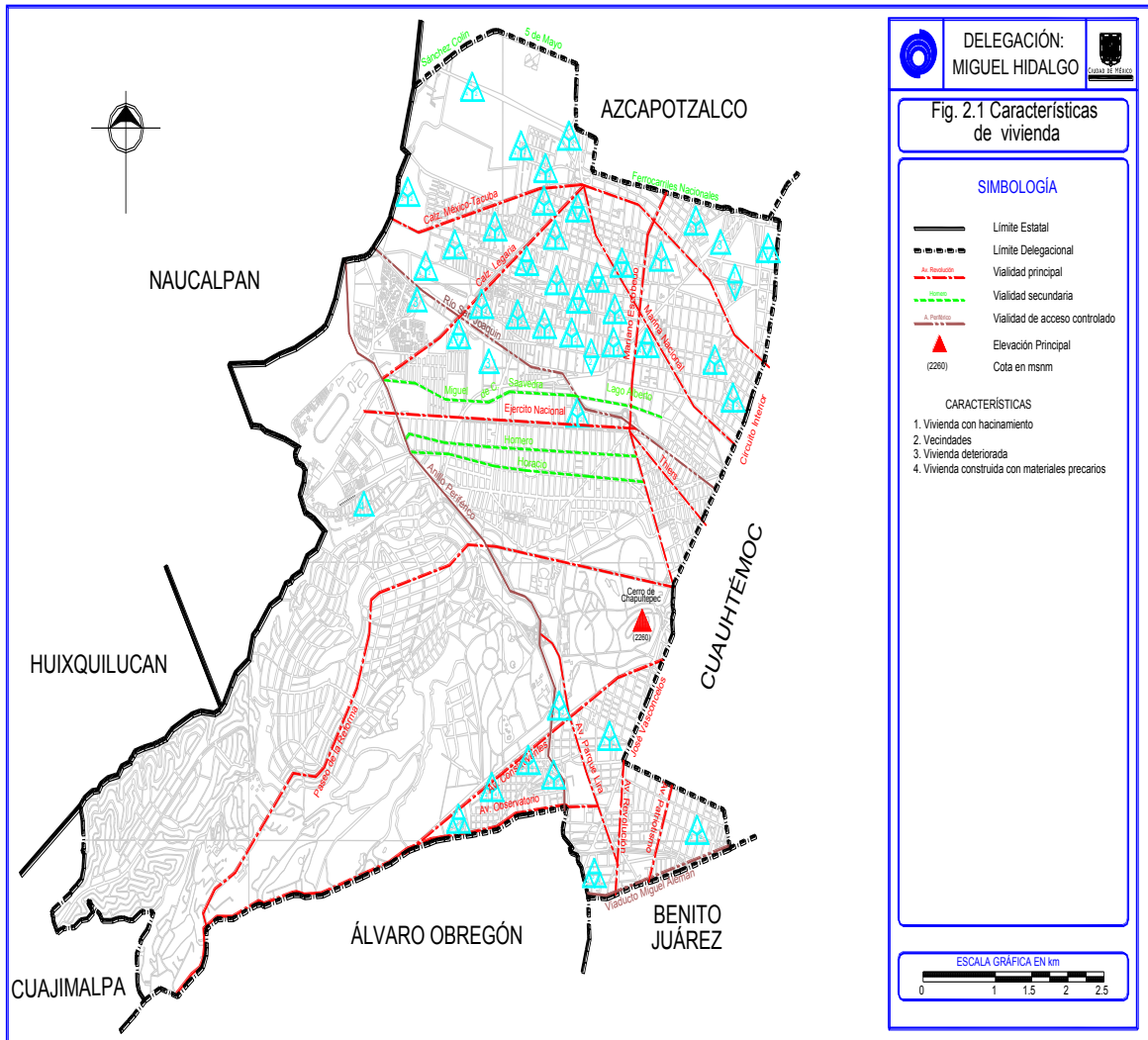


Figura 1. 6. Características de vivienda

En la tabla 1.18 se muestra la distribución de la población económicamente activa por sector de actividad, en la 1.19 las unidades económicas por sector.

1.2.3 Economía

Tabla 1. 18. Distribución de población económicamente activa (PEA) por sector de actividad

<i>Sector</i>	<i>Personal ocupado en la delegación</i>	<i>Porcentaje (%)</i>	<i>Personal ocupado en el D. F.</i>	<i>Porcentaje (%)</i>	<i>(%) con respecto al D. F.</i>
Primario, comprende agricultura, ganadería, caza y pesca	170	0.20	14,208	0.70	1.20
Secundario, comprende minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera	19,927	23.44	548,007	27.00	3.64
Terciario, comprende comercios y servicios	60,496	71.16	1,386,255	68.30	4.36
No especificado	4,421	5.20	81,186	4.00	5.45
TOTAL	85,014	100.00	2,029,656	100.00	4.19

Fuente: "Distrito Federal, Resultados Definitivos, XI Censo General de Población y Vivienda, 1990", INEGI (datos calculados 2000).

Tabla 1. 19. Unidades económicas por sector

<i>Sector</i>	<i>Unidades económicas en la delegación</i>	<i>Porcentaje (%)</i>	<i>Unidades económicas en el D.F.</i>	<i>Porcentaje (%)</i>	<i>(%) con respecto al D.F.</i>
Manufacturero	1,563	7.70	28,059	9.21	5.57
Comercio	9,768	48.09	168,001	55.14	5.81
Servicios	8,979	44.21	108,598	35.65	8.27
TOTAL	20,310	100.00	304,658	100.00	6.67

Fuente: "XVI Censo Industrial, 1994", "XI Censo Comercial, 1994", "XI Censo de Servicios, 1994", INEGI.

En las tablas 1.20, se indican los servicios urbanos, en la 1.21 los servicios del sistema de transporte colectivo metro, en la 1.22 las principales vialidades y en la 1.23 los tipos de usos del suelo en la delegación.

1.2.4 Servicios urbanos

Tabla 1. 20. Servicios urbanos con que cuenta la delegación

Servicios	Concepto	DISTRITO FEDERAL			DELEGACION		
		Total en el D.F.	Habitantes por unidad	Cantidad por km2 (*)	Total en la delegación	Habitantes por unidad	Cantidad por km2 (*)
Alumbrado público	Luminarias (unidades instaladas)	336,000	25.79	517.99	29,744	15	632.85
Generación de residuos sólidos	Basura (toneladas/día)	11,000	787.64	16.96	847	516	18.02
Obra vial	Vialidad primaria (km)	604.24	14,338.81	0.93	50.31	8,684	1.07
	Carpeta asfáltica(km2)	115,500,000	0.08	178,059.38	9,278,613	0.05	197,417.30
	Pasos peatonales y vehiculares	599	14,464.25	0.92	69	6,331	1.47
Servicios postales y telegráficos (unidades)	Oficina postal de servicios directos	11	787,644.00	0.02	-	-	-
	Oficina postal mexpost	7	1,237,726.29	0.01	1	-	-
	Agencia postal	48	180,501.75	0.07	5	87,374	0.11
	Expendios postales	3,194	2,712.61	4.92	163	2,680	3.47
	Oficinas postales de cambio	1	8,664,084.00	0.00	-	-	-
	Centros postales de atención al público	3	2,888,028.00	0.00	-	-	-
	Mail boxes	14	618,863.14	0.02	1	-	-
	Sucursales telegráficas	7	1,237,726.29	0.01	-	-	-
	Administraciones telegráficas	88	98,455.50	0.14	10	43,687	0.21
Servicios hidráulicos (Kilómetros)	Red primaria de agua potable	928.75	9,298.82	1.43	52.3	7,135	1.11
	Red secundaria de agua potable	12,279.13	703.33	18.93	726.3	514	15.45
	Red de agua residual tratada	657.273	13,139.52	1.01	109	3,423	2.32
	Red primaria de drenaje	2,028.17	4,258.15	3.13	178.2	2,094	3.79
	Red secundaria de drenaje	10,221.65	844.90	15.76	721.1	517	15.34
Educación (No. escuelas)	Elemental preescolar	3,020	2,868.90	4.66	154	2,837	3.28
	Elemental primaria	3,113	2,783.19	4.80	183	2,387	3.89
	Elemental terminal	608	14,250.14	0.94	46	9,497	0.98
	Medio básico secundaria	1,190	7,280.74	1.83	90	4,854	1.91
	Medio técnico	172	50,372.58	0.27	16	27,304	0.34
	Medio superior bachillerato	489	17,717.96	0.75	62	7,046	1.32
	Museos	22	393,822.00	0.03	6	-	-

Servicios urbanos con que cuenta la delegación (continuación).

<i>Servicios</i>	<i>Concepto</i>	<i>DISTRITO FEDERAL</i>			<i>DELEGACION</i>		
		<i>Total en el D.F.</i>	<i>Habitantes por unidad</i>	<i>Cantidad por km2 (*)</i>	<i>Total en la delegación</i>	<i>Habitantes por unidad</i>	<i>Cantidad por km2 (*)</i>
Asistencia social (unidades)	Casa hogar	35	239,297.49	0.05	4	104,158	0.09
	Centro de bienestar social urbano y	76	110,202.79	0.12	2	-	-
	Centro de desarrollo de la comunidad	52	161,065.62	0.08	1	416,633	0.02
	Centros culturales y recreativos	112	74,780.46	0.17	5	83,327	0.11
	Centro de salud comunitaria	24	348,975.50	0.04	-	-	-
	Clínicas hospitalares públicos(**)	310	27,017.46	0.48	25	16,665	0.53
Hospedaje temporal, alimentos y esparcimientos (unidades)	Hoteles	193	44,891.63	0.30	6	-	-
	Restaurantes	420	20,628.77	0.65	92	4,749	1.96
	Discotecas	56	154,715.79	0.09	10	-	-
	Bares	187	46,332.00	0.29	21	-	-
	Centros Nocturnos	34	254,826.00	0.05	-	-	-
	Tiendas de autoservicio	75	115,521.12	0.12	13	-	-
Financieros	Bancos (sucursales)	489	17,717.96	0.75	67	6,520	1.43

Fuente: "Miguel Hidalgo, Distrito Federal, Cuaderno Estadístico Delegacional, 1994". INEGI.

Tabla 1. 21. Servicios del Sistema de Transporte Colectivo Metro.

<i>Línea</i>	<i>Estaciones</i>
1Observatorio-Pantitlán	Tacubaya (Conexión con la Línea 9), Chapultepec
7El Rosario-Barranca del Muerto	Tacuba (Conexión con la Línea 2)
9Tacubaya-Pantitlán	Tacubaya (Conexión con línea 1)
2Cuatro Caminos-Taxqueña	Cuatro Caminos

Fuente: "Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Miguel Hidalgo, 1998", SDUV, GDF.

Tabla 1. 22. Principales vialidades.

<i>Tipo de vialidad</i>	<i>Vialidad</i>
Acceso controlado	Av. Río San Joaquín Anillo Periférico Viaducto Miguel Alemán
Primaria	Avenida Revolución Avenida Patriotismo Calz. México-Tacuba Calz. Legaría Av. Marina Nacional Calz. Mariano Escobedo Av. Ejército Nacional Av. Paseo de la Reforma

<i>Tipo de vialidad</i>	<i>Vialidad</i>
	Av. Constituyentes (Eje 1 Sur)
	Av. Observatorio (Eje 4 Sur)
	Av. Parque Lira
	Av. Vicente Eguía (Eje 3 Sur)
	Thiers(Eje 3 Poniente)
Secundaria	Miguel de Cervantes y Saavedra
	Lago Alberto
	Newton
	Homero
	Horacio
	Felipe Carrillo Puerto
	Lago Catemaco
	Gran Lago del Oso
	Lago Garda-Laguna del Carmen

Fuente: “Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Miguel Hidalgo, 1998”, SDUV, GDF.

Tabla 1. 23. Tipos de usos del suelo en la delegación.

<i>Uso</i>	<i>Superficie (km²)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Habitacional	23.43	49.85
Equipamiento	6.26	13.32
Espacios abiertos	9.99	21.27
Industrial	3.75	7.97
Mixto	3.57	7.59
TOTAL	47.00	100

Fuente: “Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Miguel Hidalgo, 1998”, SDUV, GDF.

En la figura 1.7 se muestran los porcentajes respecto a la distribución de uso de suelo, en la tabla 1.24 se indican las características de los usos del suelo y colonias representativas de la delegación.



Figura 1. 7. Distribución de usos de suelo en la delegación.

1.2.4.1 Características y zonas de uso de suelo.

Aunque en esta delegación se carece de reserva ecológica, también es cierto que cuenta con los mayores espacios abiertos (como el Bosque de Chapultepec) que contribuyen en gran medida a preservar el equilibrio del medio ambiente de la ciudad de México.

Tabla 1. 24. Características de los usos del suelo y colonias representativas.

Uso del suelo	Características	Colonias representativas
Habitacional	Con densidades hasta 50 hab/ha (lote tipo 1,000 m ²)	Polanco, Lomas de Chapultepec, Lomas Virreyes, Bosques de las Lomas, Lomas de Bezares
	Con densidades hasta 100 hab/ha (lote tipo 500 m ²)	Huichapan, Huasteca
	Con densidades hasta 200 hab/ha (lote tipo 250 m ²)	San Miguel Chapultepec, Tacubaya, Escandón y Anzures
	Con densidades hasta 400 hab/ha (lote tipo 250 m ²)	Daniel Garza, Ampl. Garza, Anáhuac, Tlazpala, Popotla, Legaría, Pensil, Reforma Pensil, Lomas de Sotelo, Irrigación, Argentina
	Con densidades hasta 800 hab/ha (lote tipo plurifamiliar)	Loma Hermosa
Mixtos	Habitacional, industria y servicios con	Popotla, Torre Blanca, Cuauhtémoc,

<i>Uso del suelo</i>	<i>Características</i>	<i>Colonias representativas</i>
	densidades hasta de 400 hab/ha	Tacubaya, América, 16 de Septiembre
Equipamiento	Mortuorio	Panteones Británico, Sinaí, Alemán, Americano, Español, Francés, Sancturum, Avila de Dolores, Israelita, Terminal Poniente de Camiones funerarios
	Servicios, administración, salud, educación y cultura	Hospital de la Mujer, Museo de Arte Moderno, Castillo de Chapultepec, Museo Tecnológico, Casco de Santo Tomás (IPN), Universidad del Ejército y Fuerza Aérea
	De recreación y deportes	Hipódromo de las Américas, Parque recreativo Refinería 18 de marzo, Auditorio Nacional, Zoológico de Chapultepec, 3a. Sección
Industrial	Vecina y aislada	Argentina Poniente, San Luis Tlaltenango, Refinería 18 de Marzo 1a, 2a y 3a. sección, Parque Lira
Espacios abiertos o áreas verdes	De recreación y deportes	Bosque de Chapultepec, 1a, 2a y 3a seccion, Parque Lira

Fuente: “Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Miguel Hidalgo, 1998”, SDUV, GDF.

1.2.4.1.1 Riesgos y vulnerabilidad

Dentro de la delegación se han detectado varios factores de riesgo que impactan el desarrollo urbano y la calidad de vida de sus habitantes, tales como: gasolineras, zonas minadas, depósitos y poliductos de PEMEX, líneas de alta tensión, barrancas e inundaciones.

De acuerdo a las medidas que se han venido tomando para elevar el nivel de seguridad en las gasolineras, se deben considerar las disposiciones que establece la Ley de Protección Civil del Distrito Federal, sobre aquéllos que realicen actividades que incrementen el nivel de riesgos, según el Artículo 9, Fracción VII.

En cuanto a zonas minadas, se sabe que estas áreas representan riesgos a la población que vive en ellas, en donde se ha construido sin apearse a las normas especificadas. La inestabilidad en zonas minadas producidas por la extracción de materiales pétreos, dejó los suelos sin resistencia, por lo que no se garantiza la estabilidad de las construcciones como bóvedas, sobre todo de dimensiones amplias y reducida estatura. Las vetas presentan una configuración horizontal y de espesores variables, por lo que se tiene un desarrollo caótico.

Asimismo, la experiencia acerca del efecto de los temblores en las zonas minadas y en estructuras que se apoyan sobre ellas, ha mostrado que el problema no es de gravedad, ya que la zona afectada es de baja intensidad sísmica, por estar en la zona de lomeríos, pero conviene tener presente este riesgo.

En relación con los depósitos y poliductos de PEMEX, se tiene que dentro de los terrenos de la Ex-Refinería 18 de Marzo se encuentra la terminal de recibo,

almacenamiento y distribución de hidrocarburos, en una superficie de 82 ha, la cual se encuentra rodeada de vivienda, equipamiento e industria; sin embargo, en virtud de esta vecindad, deben definirse acciones preventivas, porque las instalaciones representan un riesgo en sí mismas, a pesar de que PEMEX cuenta con un programa muy completo de diversas medidas de seguridad dependiendo de la magnitud de algún accidente que pudiera ocurrir. Por ello, sería conveniente establecer un plan de acción conjunta o en casos de existirlo, reforzar medidas e incluir a los colonos aledaños para desarrollar medidas complementarias en caso de siniestro. En este sentido, la figura de Programa Parcial de Desarrollo Urbano, sería un marco adecuado para la planeación de dichas acciones.

El área de estudio es atravesada en la zona central en sentido oriente-poniente, por líneas de alta tensión, con roturas de cable de 0.85 Kv.

En las zonas de barrancas se han localizado problemas de deslaves, por lo que las construcciones en estos sitios deberán sujetarse a lo dispuesto por el Reglamento de construcción.

Se presentan problemas de derrumbes principalmente en construcciones viejas y en vecindades, cuya alta densidad de población y la falta de mantenimiento, ocasiona estos conflictos.

También se localizan algunas zonas susceptibles de inundación, principalmente por la falta de mantenimiento en las redes de drenaje y en algunas zonas específicas, las que deberán someterse a un estudio por parte de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica para solucionar su problema.

1.3 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

1.3.1 Agua potable.

La cobertura de servicio de agua potable en esta delegación es del 100 por ciento, beneficiando a un total de 400,660 habitantes. El abastecimiento de agua potable a la delegación se consigue de fuentes externas e internas, la primera es básicamente la aportación de los Ramales Norte y Sur del Sistema Lerma que parten de la trifurcación "El Venado" y conducen el agua proveniente del acuífero del valle de Lerma (pozos) y del Sistema Cutzamala (aguas superficiales). La segunda fuente de abastecimiento a la delegación la constituyen los 26 pozos municipales (gasto de operación 831 lps) y 7 que se encuentran fuera de operación, además de 70 pozos particulares los cuales aportan 264 lps a la red de distribución.

La distribución del agua se realiza mediante 52.3 km de red primaria cuyos diámetros varían entre 0.51 y 1.22 m; y a través de 779 km de red secundaria con diámetros de 10 cm a 15 cm.

La regulación del agua potable en la delegación se realiza por medio de 13 tanques con capacidad conjunta de 290,000 M³ los cuales están ubicados en su mayoría al poniente de la delegación, así como mediante la operación de sus válvulas para una mejor distribución del agua sin tener presiones muy grandes en las tuberías que pudieran ocasionar fugas o ruptura de los conductos. Dichos tanques llevan los siguientes nombres: Aeroclub 1, 2 y 3 ubicados en el Estado de México; Aconcagua, Dolores 1, 2, 3 y 4, Madereros 1, 3 y 4, Windsor, Zapote, Zaragoza y Maple, Mil Cumbres.

Como ya se ha comentado, la delegación es abastecida por el ramal Norte y ramal Sur del sistema Lerma. El primero alimenta, por medio de dos conductos de mampostería y concreto de 3.20 m de diámetro a los tanques Dolores. De este ramal se derivan dos líneas de 48"(1.22 m) y 42"(1.06 m) de diámetro que alimentan a los tanques Aeroclub. De los tanques Aeroclub (1, 2, y 3) salen tres líneas en dirección oriente; dos de las líneas de 48" (1.22. m) ingresan a la delegación por la Calz. México-Tacuba, una de ellas cambia en dirección norte en el cruce de las calzadas de México-Tacuba e Ingenieros Militares para continuar hasta la delegación Azcapotzalco donde suministra a la parte poniente de la misma con una área de influencia por parte de los tanques Aeroclub hasta las calles de Hacienda de Sotelo y la Av. Aquiles Serdán, misma que es el área de influencia de los tanques Santa Isabel en donde se realiza la operación del cierre de válvulas.

La otra línea de 48" que continúa por la Calz. México-Tacuba abastece la parte norte de la delegación y la parte sur de Azcapotzalco; esta línea tiene ramificaciones hacia el norte y sur a la altura de la Calz. Legaria. La primera se dirige en dirección norte con un diámetro de 36", abasteciendo la parte sur de la delegación Azcapotzalco, mientras que la otra línea se dirige en dirección sur con un diámetro de 20" (0.50 m) reforzando la parte centro-norte de la delegación. Otra ramificación de la línea de 48" se encuentra en la Av. Cuitláhuac reforzando la parte central de la delegación Azcapotzalco. Por último se tiene la ramificación (norte y sur) en la Calz. México-Tacuba y la Av. Río Consulado (Circuito Interior). La línea norte de 48" abastece a las delegaciones Azcapotzalco (zona sur oriente) y Cuauhtémoc (zona norte). A la tubería que va hacia el sur por la lateral oriente del Circuito Interior (límite de las delegaciones M. Hidalgo y Cuauhtémoc) se conecta una línea de 20" que proviene del tanque San Joaquín (localizado en el Estado de México).

La tercer tubería de 42" (1.07 m) que sale del tanque Aeroclub se conecta con la continuación del ramal Norte del Sistema Lerma, esta línea proporciona el excedente de los tanques. Este Ramal a la altura de la Calz. Conscripto (tanque San Joaquín) tiene una derivación de 20" (0.50 m) cuyo trazo se realiza a las calzadas de Conscripto, parte de Legaria, Cervantes Saavedra, Av. Homero y Av. Río San Joaquín esq. Circuito Interior, abasteciendo la parte central de la delegación M. Hidalgo.

Por su parte el ramal Sur del Sistema Lerma se deriva en la trifurcación de "El Cartero" con una tubería de 48" (1.22 m) que alimenta a los tanques Zaragoza, Mil Cumbres y Madereros 4. De esta línea se deriva otra de 36" (0.91 m) de diámetro que alimenta a los tanques Zapote y Maple, de este último se deriva una línea del mismo diámetro, la cual abastece al tanque Aconcagua. Este ramal Sur del Sistema Lerma también abastece por medio de una línea de 3.26 m de diámetro a los tanques Dolores (cuatro). La trifurcación "El Cartero" abastece a la línea denominada "Constituyentes" con un diámetro de 48" (1.22 m), esta tubería se encuentra en la Av. Constituyentes en el límite entre las delegaciones de Miguel Hidalgo y Álvaro Obregón, suministrando agua a los tanques Pólvora, Madereros, Madereros 3, y Las Fabriquitas. En el tanque Madereros sale una tubería de 20" (0.50 m) hacia el tanque rompedor Windsor, también del tanque Madereros 3 sale una tubería de 48" (1.22 m) hacia el tanque Zaragoza y como destino final tiene el tanque Madereros 1. En la tabla 1.25 se presenta un resumen de la infraestructura hidráulica.

Tabla 1. 25. Resumen de la infraestructura de agua potable.

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
Pozos operados por la DGCOH	31	Pozo
Pozos operados por particulares	31	Pozo
Acueductos	8,900	m
Tanques de almacenamiento	13	Tanque
Planta de bombeo	2	Planta
Red primaria de agua potable (diámetro de 50 a 183 cm)	52.3	km
Red secundaria de agua potable (diámetro de 45 a 50 cm)	726.3	km
Tomas domiciliarias domésticas	97,896	Toma
Tomas domiciliarias de gran consumo	2,321	Toma
Garzas de agua potable	1	Toma
Estación medidora de presión	4	Estación

Fuente: Plan de Acciones Hidráulicas, 2001-2005, Delegación Miguel Hidalgo Departamento del Distrito Federal, Secretaría General de Obras, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

1.3.1.1 Captación, conducción e interconexión de agua potable.

1.3.1.1.1 Acuíferos y pozos

El acuífero de esta jurisdicción se ubica en la zona geohidrológica II-A, la cual está constituida por la formación Tarango, presenta espesores máximos de 200 metros en el poniente y hasta 500 m al oriente, donde es cubierto por un estrato de sedimentos finos de origen lacustre.

Los pozos construidos en esta zona tienen profundidades variables de 175 a 300 m, con niveles estáticos de 20 a 100 m, presentan caudales de extracción de 20 a 80 l/s, y caudales específicos de 1 a 4 l/s por metro de abatimiento. Los pozos municipales se ubican hacia el norte y este de la delegación y los pozos particulares generalmente se ubican en la zona industrial para el uso de la misma.

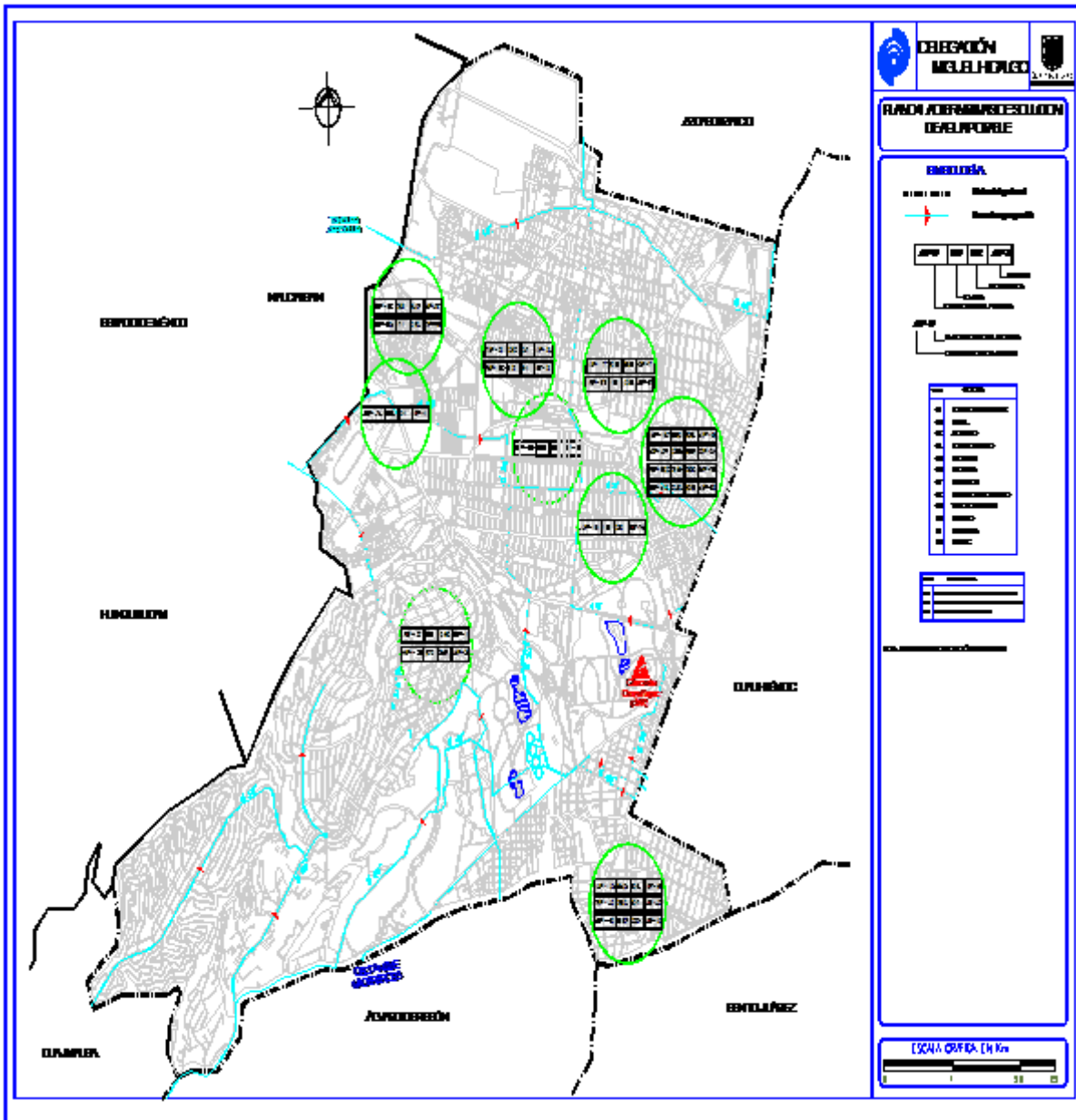


Figura 1. 8. Infraestructura de agua potable

En la figura 1.8 se muestra la infraestructura hidráulica de la delegación.

Tabla 1. 26. Pozos operados por el SACM

No.	Nombre del pozo	Ubicación	Caudal (lps)	Área principal de servicio
1	Alameda de Tacubaya (Reposición)	Av. Revolución y José María Vigil, Col. Tacubaya		Col. Tacubaya
2	Benjamín Franklin	Av. Benjamín Franklin y Carlos B. Zetina, Col. Hipódromo de la Condesa	13	Col. Hipódromo de la Condesa
3	Campos Elíseos	Campos Elíseos esq. Edgar Allan Poe, Col. Polanco Chapultepec	37	Col. Polanco Chapultepec
4	Casa Amarilla (reposición)	Av. Parque Lira esq. Gob. Vicente Eguía, Col. Observatorio	50	
5	Cedros y Moliere	Av. Moliere esq. Av. Homero, Col. Polanco Reforma	19	Col. Polanco Reforma
6	Cicerón	Cicerón y Av. F.F.C.C. de Cuernavaca, Col. Los Morales Sección Alameda	24	Col. Los Morales
7	Chapultepec Morales	Horacio esq. Newton, Col. Chapultepec Morales	37	Col. Chapultepec Morales
8	Hormiga	Calz. Molino del Rey, Col. San Miguel Chapultepec	27	Casa Presidencial Los Pinos
9	Irrigación	Presa la Angostura y Presa Salinillas, Col. Irrigación	14	Col. Irrigación
10	Jardín Morelos (recuperación de nivel)	Av. Progreso esq. Comercio, Col. Escandón		Col. Escandón
11	Lomas de Chapultepec 3	Sierra Ixtlán, Col. Lomas de Reforma		Col. Lomas de Chapultepec
12	Lomas de Chapultepec 7	Final calle Sierra Mojada, Col. Lomas de Chapultepec		
13	Legaría (reposición)	Calzada Legaría y Calz. Santa Cruz Coacalco, (Panteón Francés), Col. San Joaquín		Col. 5 de Mayo
14	Lago Ginebra (recuperación de nivel)	Lago Ginebra, entre Lago Wetter y Lago Wenner, Col. Pensil	31	Col. Pensil Sur
15	Marina Nacional 1	Av. Marina Nacional y Laguna de Mayrán, Col. Huasteca	46	Col Anáhuac
16	Marina Nacional 3	Marina Nacional y Lago Mask, Col. Anáhuac	26	Col Anáhuac
17	Marina Nacional 4	Av. Marina Nacional esq. Lago Hurón, Col. Anáhuac	36	Col. Anáhuac
18	Mar Mediterráneo	Mar Mediterráneo y Calzada México-Tacuba, Col. Tacuba	45	Col. Tacubaya
19	Mártires de Tacubaya	Mártires de Tacubaya esq. Av.Revolución, Col. Tacubaya	40	Col. Tacubaya
20	Molino del Rey	Estacionamiento del Estado Mayor Presidencial (Calz. Molino del Rey)	14	Guardias Presidenciales e interior de Los Pinos

No.	Nombre del pozo	Ubicación	Caudal (lps)	Área principal de servicio
21	Periodista	José J. Fernández de Lizardi y Carlos M. de Bustamante, Col. Periodista	54	Col. Periodista
22	Pirulera	Lago Ginebra y Lago Yojoa, Col. Pensil	47	Col. Pensil
23	Popotla	Calzada México-Tacuba y Mar Blanco, Col. Popotla	10	Col. Popotla
24	Salesiano	Lago Xochimilco, entre Laguna Tamiahua y Laguna del Carmen, Col. Anáhuac	19	Reposición
25	San Felipe Popotla	Nextitla y Mar Egeo, Col. Nextitla	55	Col. Nextitla
26	San Joaquín Tacuba	Calz. Santa Cruz Coacalco esq. Callejón de San Joaquín, Col. México Nuevo	56	Col. México Nuevo
27	Río San Joaquín (reposición)	Río San Joaquín y Av. Casa de la Moneda, Col. Lomas de Sotelo		Col. Lomas de Sotelo
28	Tacuba	Jardín, México-Tacuba y Marina Nacional, Col. Tacuba	41	Col. Tacuba
29	Verónica (cancelado)	Bahía de la Concepción y Bahía de la Magdalena, Col. Verónica Anzures		Col. Verónica Anzures
30	Viaducto	12 de Octubre, entre Unión y Sindicalismo, Col. Escandón	17	Col. Escandón
31	Río Hondo	Ingenieros Zapadores, entre Av. Ingenieros Militares y Manuel Ávila Camacho, Col. Lomas de Sotelo	7	Col. Lomas de Sotelo

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF. 1999.

En las tablas 1.26 se indican los pozos operados por el SACM, en la 1.27 los pozos particulares y en la 1.28 la relación de los acueductos de la delegación.

Tabla 1. 27. Pozos particulares

No.	Nombre del pozo	Ubicación	Caudal (l/s)
1	Colgate Palmolive, S.A. (3 pozos)	Presa la Angostura No. 225, Col. Irrigación	12.8
2	Bayer de México, S.A.	Miguel de Cervantes No 295, Col. Anáhuac	0.09
3	Sanborns Hermanos, S.A.	Benjamín Hill No. 47,	0.1
4	General Motors de México, S.A.(2 pozos)	Av. Ejército Nacional No. 834, Col Anáhuac	7.38
5	Parque Arturo Mundet	Av. Ejército Nacional No. 1125, Col Irrigación	5.0
6	Lavandería La Europea 568(2 pozos)	Lago Pátzcuaro No. 113, Col. Anáhuac	1.9
7	Baños Maryluz	Tonantzin No. 69, Col. Anáhuac	0.05
8	Chrysler de México, S.A. (2 pozos)	Lago Alberto No. 320, Col. Anáhuac	5.36
9	Cía. HuleraEuzkadi, S.A.(2 pozos)	Lago Alberto No. 366, Col. Anáhuac	0.6
10	Fábrica de Dulces y Chocolates La Suiza, S.A. de C. V.	Lago Alberto No. 416, Col. Anáhuac	0.02
11	Cervecería Modelo, S.A. (2 pozos)	Lago Alberto No. 156, Col. Anáhuac	159.4
12	General Motors de México	Av. Ejército Nacional No. 843, Col. Anáhuac	9.0
13	Productos Nutricionales	Lago Xochimile No. 225, Col. Anáhuac	0.0
14	C. Celia del Valle	Ingenieros Militares No. 144, Col. Argentina Poniente	0.08
15	Pirámide, S.A.	Laguna de Términos, No. 165, Col. Anáhuac	0
16	Vidriería México, S.A. (2 pozos)	Lago Zurich No. 243, Col. Anáhuac	8.6
17	Fernando García Baños Caleta	Golfo de San Jorge No. 37, Col. Pensil	0.23
18	CíaHulera, El Aguila, S.A.	Lago Ladoga No. 209, Col. Anáhuac	0.2
19	Uniroyal, S.A.(dos pozos)	Lago Aullagas No. 80, Col. Torreblanca	2.2
20	Fábrica de Harinas Elizondo, S.A.	Ejército Nacional No. 963, Col. Irrigación	0
21	Compañía Lanera de México, S.A.	Calz. Ingenieros Militares No. 70, Col. Argentina Anzures	3.12
22	Asociación Cristiana de Jóvenes	Av. Ejército Nacional No. 253, Col. Anáhuac	0.3
23	Baños Marina	Lago Hurón No. 2, Col. Tacuba	0.07

<i>No.</i>	<i>Nombre del pozo</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Caudal (l/s)</i>
24	Banco de México, S.A. Centro Deportivo Chapultepec	Calz. Mariano Escobedo No. 665, Col. Anzures	0.58
25	Nuevo Panteón Francés	Calz. Legaria No. 320, Col. Anáhuac	0.43
26	Sociedad de Beneficencia Española(2 pozos)	Av. Ejército Nacional No. 613, Col. Granada	0.6
27	Beneficencia Española Panteón(2 pozos)	Calz. San Bartolo Naucalpan No. 107, Col. Argentina	---
28	Cía. Comercial Hérdez, S.A.	Calz. San Bartolo Naucalpan No. 360, Col. Argentina	0.22
29	Baños Mediterráneo	Mar Mediterráneo No. 47, Col. Anáhuac	0.1
30	Syntex, S.A.	Carretera México-Toluca No. 2822, Col. Lomas de Bezares	0.1
31	Levadura Azteca, S.A.	Miguel de Cervantes Saavedra No. 301, Col. Anáhuac	8.17

Fuente: Dirección de Servicios Hidráulicos a Usuarios, DGCOH, GDF 1999.

1.3.1.1.2 Acueductos

Tabla 1. 28. Relación de acueductos

<i>Nombre</i>	<i>Ubicación</i>		<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Abastece por las derivaciones</i>
	<i>Calles</i>	<i>Colonias</i>			
Ramal Norte del Sistema Lerma		Hipódromo de las Américas, Reforma Social, Lomas de Chapultepec, Sección Palmas, Lomas de Virreyes y Bosques de Chapultepec 2a Sección	326	6,000	Aeroclub (abastece al Edo. de México) San Joaquín, Cámara Alta de Dolores
Ramal Sur del Lerma	Ignacio Zaragoza	Bosque de Chapultepec 2a. Sección	122	2,900	Línea Vista Hermosa-Constituyentes (abastece al Tanque Zaragoza)

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH GDF. 1999.

En las tablas 1.29 se muestran las líneas de interconexión de agua potable, en la 1.30 los tanques de almacenamiento y bombeo y en la 1.31 las plantas de bombeo.

Tabla 1. 29. Líneas de interconexión

<i>Estructuras que conecta</i>	<i>Ubicación</i>		<i>Díámetro (cm)</i>	<i>Longitud (m)</i>	
	<i>Calles</i>	<i>Colonias</i>		<i>Total</i>	<i>En la deleg.</i>
Tanques SanJoaquín–Tanques Dolores	Periférico, Legaria, Presa las Pilas, Presa Escame, Miguel de Cervantes S., Moliere, Goldsmith, Campos Elíseos, y 2a S. del B. de Chapultepec	Hipódromo de las Américas, irrigación, Polanco y Bosque de Chapultepec 2a. sección	5076	8,8301,590	9,520
Tanque Dolores-cámara de válvulas La Condesa	2a. Sección del Bosque de Chapultepec, Constituyentes, Gelati y P. A. de los Santos	Bosque de Chapultepec 2a. Sección, Ampliación Daniel Garza y San Miguel Chapultepec	122	3,560	Dos líneas de 1,780 m cada una
Línea Zapote-Aconcagua: T. Maple y Aconcagua	Bosques de la Reforma, Paseo de la Reforma y Paseo de las Palmas	Bosques de las Lomas y Lomas de Chapultepec	91	6,620	6, 620
T. Madereros–T.Windsor	Paseo de la Reforma	Lomas Altas y Lomas de Reforma	50	6,640	6,640

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF 1999.

1.3.1.2 Almacenamiento y bombeo.

Tabla 1. 30. Tanques

No.	Nombre	Ubicación	Capacidad (m ³)	Tirante máximo (m)	Elevación (msnm)	Recibe agua de:	Distribuye a:
1	Aeroclub 1	Campo Militar No. 1, Calz. San Esteban y Puerta No. 7, Col. Residencia Mil. Edo. de México	75,000	6.00	2,300	Acueducto Lerma	Delegación Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Colonia Tacuba
2	Aeroclub 2	Campo Militar No. 2	50,000	6.00	2,300	Acueducto Lerma Norte	Delegación Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Azcapotzalco
3	Aeroclub 3	Campo Militar No. 3	50,000	6.00	2,300	Acueducto Lerma Norte	Delegación Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc
4	Aconcagua	Paseo de las Palmas esq. Aconcagua, Col. Lomas de Chapultepec	1,000	4.50	2,363	T-Maple	Colonia Lomas de Chapultepec, Virreyes
5	Dolores 1 2 3 4	Periférico por Circuito de las Fuentes, Col. 2a. Sección del Bosque de Chapultepec	50,000 c/u	6.0 c/u	2,285	Acueducto Lerma Norte	Delegación Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo
6	Madereros 1	Boulevard Galvez, Col. 2a. Sección Bosque de Chapultepec	1,000	4.50	2,335	T-Zaragoza	Colonias Molinos del Rey y Lomas de Chapultepec
7	Madereros 2	Av. Observatorio esq. Sur 128, Col. Las Américas	1,300	4.50	2,350	T-Madereros 3	T- Fabriquitas, Acueducto Lerma Ramal Norte, Colonias Las Américas, Daniel Garza
8	Madereros 4	Paseo de la Reforma esq. Av. Constituyentes, Colonia Lomas Altas	1,000	4.50	2,452	T-Madereros 3	T. Zaragoza , Cols. Lomas Altas y Real de Lomas
9	San Joaquín	Narciso Mendoza No. 12 y Blvr. El Pípila, Col. Gral. M. Ávila Camacho	500	4.00	2,314	Acueducto Lerma Norte	Colonias Lomas de San Isidro, Manuel Avila Camacho, Polanco, Colegio Militar 1
10	Windsor	Paseo de la Reforma entre B. de Reforma Castillo Windsor, Col. Bosque de Chapultepec	360	3.50	2,433	T- Maderos 4	Colonias Lomas de Reforma, Virreyes y Bosque de las Lomas
11	Zapote	Paseo de la Reforma esq. Bosque de	1,500	6.00	2,521	T - Trifurcación	T-Maple Colonia Bosque

		Gardenias, Col. Bosque de las Lomas				El Cartero	de las Lomas, Lomas de Bezares
12	Zaragoza	Av. Constituyentes esq. Av. Ignacio Zaragoza, Col. Bosque de Chapultepec 3a. Sección	65,000	6.00	2,410	T-Palo Alto	Acueducto Lerma Ramal Norte
13	Maple	Bosques de Maple esq. Bosque de Framboyanes, Colonia Bosque de las Lomas	19,000	6.00	2,465	T-El Zapote	Colonialomas de Tecamachalco, Bosques de las Lomas, real de Lomas
14	Manantial Chico, Chapultepec	Gran Avenida y Pedro Antonio de los Santos, Col. Bosques de las Lomas	2,000	0.00	--	--	--
15	Mil Cumbres	Constituyentes y Mil Cumbres, Col. Lomas Altas	250	4.00	--	--	--

T O T A L

317,910

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF 1999.

Tabla 1. 31. Plantas de bombeo

<i>No</i>	<i>Nombre</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Recibe agua de:</i>	<i>Distribuye a:</i>	<i>Capacidad (lps)</i>
1	Manantial Chico(2 bombas)	Pedro Antonio de los Santos y Gran Avenida (interior del Bosque de Chapultepec) a un lado del Museo de Historia	Ramal Norte del Lerma	Al tanque del Museo del Castillo de Chapultepec	25
2	San Joaquín(2 bombas)	Calle Narciso Mendoza Y Boulevard El Pipila, Col. Manuel Ávila Camacho	Acueducto Lerma	Col. Manuel Avila Camacho	32
3	Tecamachalco	Sierra Mojada y Monte Nabor, Col. Reforma Social	--	--	0
4	Virreyes	Blvr de los Virreyes y Prado Sur, Col. Lomas de Chapultepec	--	--	20
T O T A L					77

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF.

1.3.1.3 Distribución

Para que los habitantes de la delegación tengan un adecuado abastecimiento se cuenta con dos tipos de redes.

1.3.1.3.1 Red primaria

La red primaria la integran tuberías con diámetro mayor o igual a 50 centímetros y su longitud de 52.3 kilómetros, como se muestra en la tabla 1.32.

Tabla 1. 32. Diámetros y Longitud de red primaria.

<i>Diámetro(cm)</i>	<i>Longitud(km)</i>
50.00	19.00
61.00	0.70
76.00	1.20
91.50	10.30
107.00	1.00
122.00	15.00
326.00	5.10
T O T A L	52.30

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF.

1.3.1.3.2 Red secundaria

Existen 726.3 kilómetros de tuberías con diámetro menor a 50 centímetros, que se encarga de distribuir el líquido a las tomas domiciliarias, como se indica en la tabla 1.33.

Tabla 1. 33. Diámetros y Longitud de red secundaria.

<i>Diámetro(cm)</i>	<i>Longitud(km)</i>
5.00	4.80
7.50	5.40
10.00	394.90
15.00	191.10
20.00	3.70
25.00	6.50
30.00	119.90
T O T A L	726.30

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF.

En la tabla 1.34 se indican las redes de distribución, y en la 1.35 las garzas.

Tabla 1. 34. Redes de distribución

<i>Línea</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Ubicación</i>
Zaragoza	3,915	30	Calle Zaragoza 2a. sección Bosque de Chapultepec
Bosque de Chapultepec 1a. sección	8,454	7	1a. sección Bosque de Chapultepec
	11,114	10	
	1,443	15	
	8,961	30	
Bosque de Chapultepec 2a. sección	12,609	7	2a. sección Bosque de Chapultepec
	17,397	10	
	8,371	15	
	441	20	
	6,441	30	
Batallón de San Patricio	737	30	
Paseo de las Palmas	5,800	15	Av. Paseo de las Palmas
Paseo de la Reforma	5,075	15	Av. Paseo de la Reforma
Presidente Masarik	1,016	15	Presidente Masarik
Campo Militar	17,126	15	Campo Militar No. 1A

Fuente: Dirección de Operación. DGCOH, GDF 1999.

Tabla 1. 35. Garzas

<i>No.</i>	<i>Nombre</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Observaciones</i>
1	Bosques de las Lomas	Interior de la planta de tratamiento Bosque de las Lomas	8	
2	Chapultepec 2a. Sección	A un costado de las oficinas de aguas saneamiento y de la delegación	8	Existen dos garzas

No.	Nombre	Ubicación	Diámetro (cm)	Observaciones
3	Río Hondito	Al costado Norte del Parque de convivencia infantil al final de río Hondito, Bosque de Chapultepec 1a. Sección	8	
4	Díaz Mirón	Frente al hospital de la Mujer	8	Fuera de servicio
5	Rosario Castellanos	Av. Alencastre y Rosario Castellanos, 2a sección del Bosque de Chapultepec	7.5	

Fuente: Dirección de Operación. DGCOH, GDF 1999.

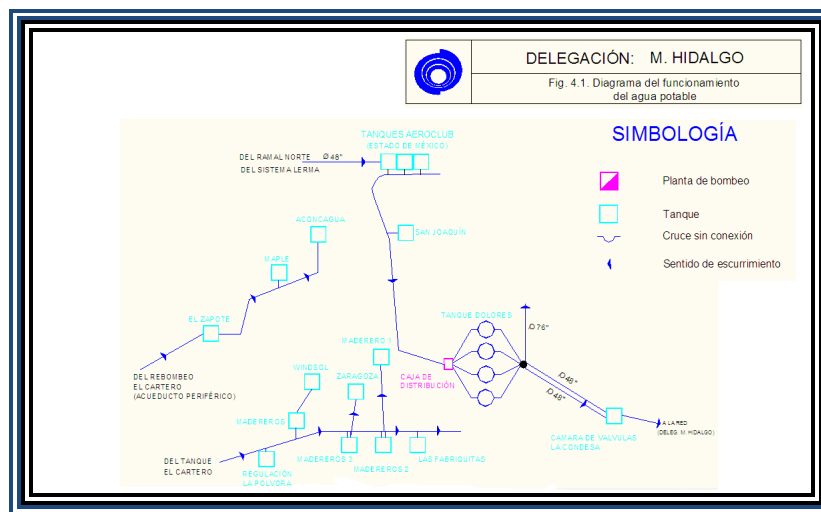


Figura 1. 9. Tomas domiciliarias.

En la figura 1.9 se muestran las tomas domiciliarias, en las tablas 1.36 los consumidores domésticos, en la 1.37 los consumidores no domésticos y en la 1.38 las estaciones medidoras de presión.

Tabla 1. 36. Consumidores domésticos de agua potable por hogar

<i>No. de habitantes por hogar</i>	<i>No. de hogares</i>	<i>No. total de habitantes</i>
1	11,599	11,599
2	16,530	33,061
3	18,985	56,955
4	20,610	82,440
5	14,110	70,548
6	7,555	45,330
7	4,029	28,206
8	2,065	16,523
9	1,036	9,327
10 y más	1,376	19,156
TOTAL	97,896	373,144

Fuente: “Distrito Federal, Censo de Población y Vivienda 95, Resultados Definitivos, Tabuladores Básicos”, INEGI (datos calculados)

Tabla 1. 37. Consumidores no domésticos de agua potable por subsector

<i>Clave del subsector</i>	<i>Descripción</i>	<i>No. de tomas mayores o iguales a 2"</i>	<i>Densidad de tomas por km² *</i>
22	Petróleo y gas natural	2	0.04
31	Productos alimenticios, bebidas y tabaco	7	0.15
32	Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	3	0.06
34	Papel y productos de papel imprenta y editoriales	2	0.04
35	Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	15	0.32
36	Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón	2	0.04
37	Industrias metálicas básicas	1	0.02
38	Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión	5	0.11
41	Electricidad y distribución de gas natural	1	0.02
50	Construcción	2	0.04
61	Comercio al por mayor	16	0.34
62	Comercio al por menor	9	0.19
63	Restaurantes y hoteles	9	0.19
71	Transporte y servicios conexos, incluso agencias de viaje	1	0.02
81	Servicios financieros, seguros y fianzas	5	0.11
83	Servicios de alquiler y administración de bienes inmuebles	9	0.19
84	Servicios prestados a las empresas, excepto los agropecuarios y forestales	4	0.09
85	Servicios de alquiler de bienes muebles	1	0.02
91	Servicios de administración pública, defensa y saneamiento	29	0.62

<i>Clave del subsector</i>	<i>Descripción</i>	<i>No. de tomas mayores o iguales a 2"</i>	<i>Densidad de tomas por km² *</i>
93	Servicios educativos, de investigación, médicos y de asistencia social	52	1.11
94	Servicios de esparcimiento, culturales, recreativos y deportivos	14	0.30
95	Servicios profesionales técnicos, especializados y personales. Incluye los prestados a las empresas	20	0.43
TOTAL		209	4.45

Fuente: "IX Censo Industrial, 1990", "IX Censo Comercial, 1990", "IX Censo de Servicios, 1990", INEGI.

1.3.1.4 Mediciones y reportes en el sistema de agua potable

Tabla 1. 38. Estaciones medidoras de presión

<i>No. econ.</i>	<i>Nombre</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Origen de la línea</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Presión media en 2000(kg/cm²)</i>
12	Ahuizotla	Calz. San Bartolo Naucalpan entre Ingenieros Militares y Calz. Santiago Ahuizotla	Tanques Aeroclub	91	1.066
13	Ingenieros Militares *	Av. Ingenieros Militares esq. Transmisiones Militares, Col. Transmisiones	Tanques Aeroclub	122	0.401
14	Tacuba *	Calz. México-Tacuba esq. Calz. Mariano Escobedo, Col. Tacuba	Tanques Aeroclub	91.4	0.904
15	Homero *	Homero esq. Hegel, Col. Chapultepec Morales	Tanques Dolores	51	1.136

Fuente: Dirección Técnica, DGCOH, GDF 1999.

En las figuras 1.10, 1.11, 1.12 y 1.13, se muestran las presiones en las estaciones de Ahuizotla, Ingenieros Militares, Tacuba y Homero durante un año de agosto de 1999 a julio de 2000, respectivamente.

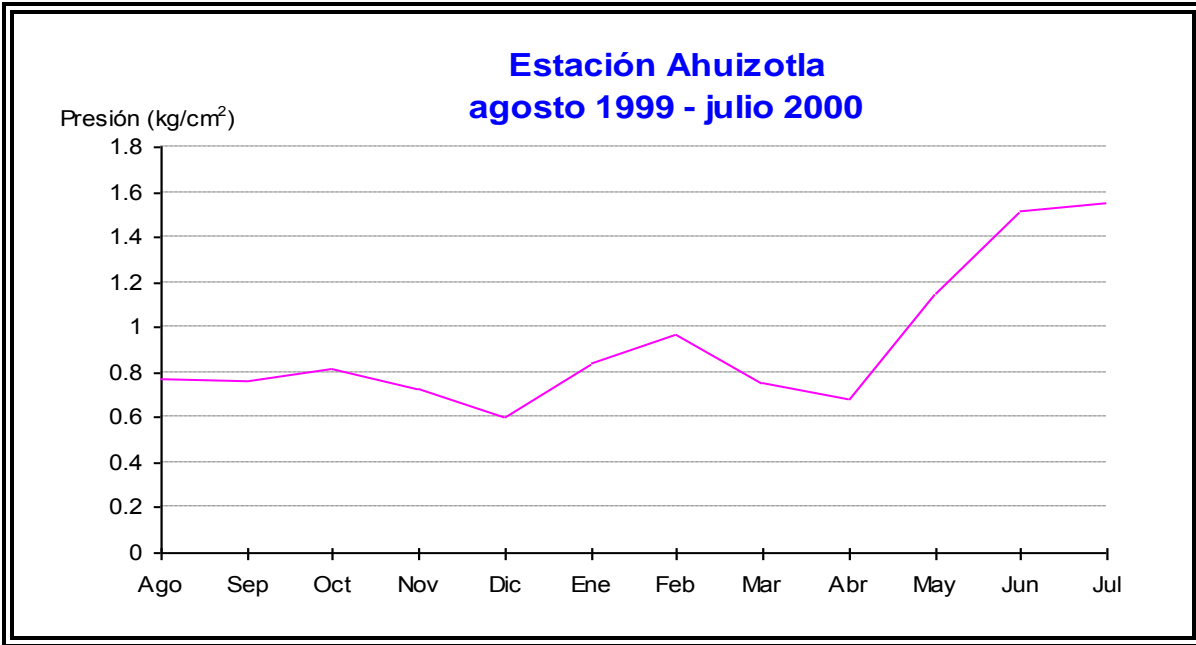


Figura 1. 10.Estación Ahuizotla

	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
MEDIA	0.77	0.76	0.82	0.73	0.60	0.84	0.97	0.75	0.68	1.15	1.52	1.55

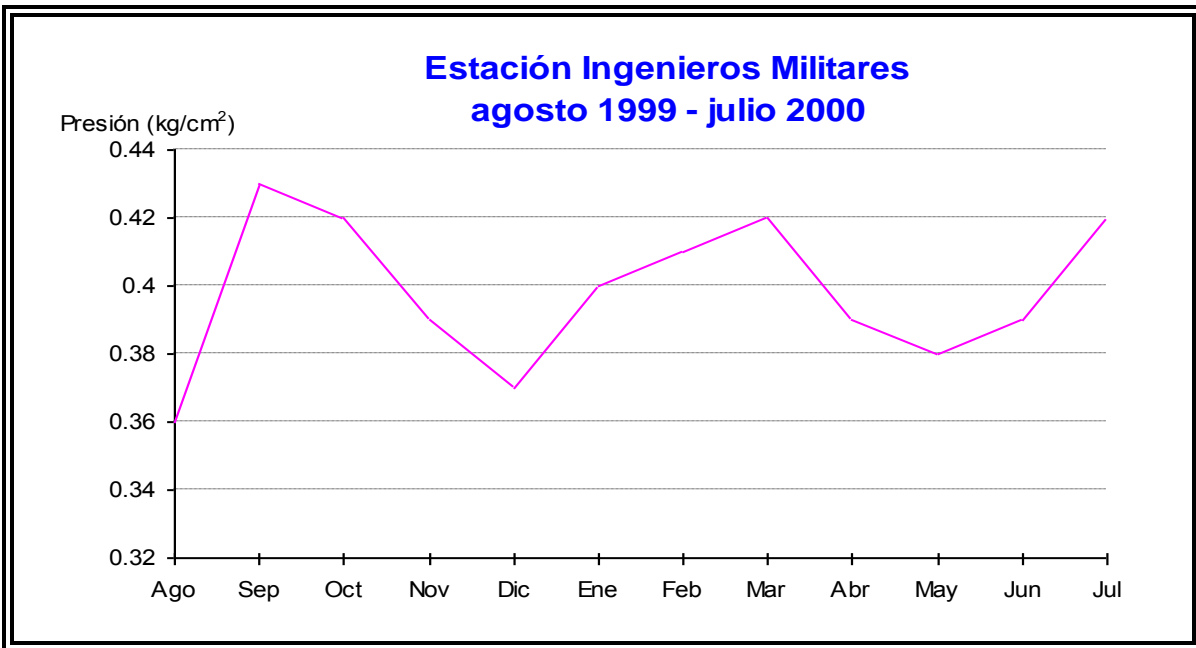


Figura 1. 11.Estación Ingenieros Militares

	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
MEDIA	0.36	0.43	0.42	0.39	0.37	0.40	0.41	0.42	0.39	0.38	0.39	0.42

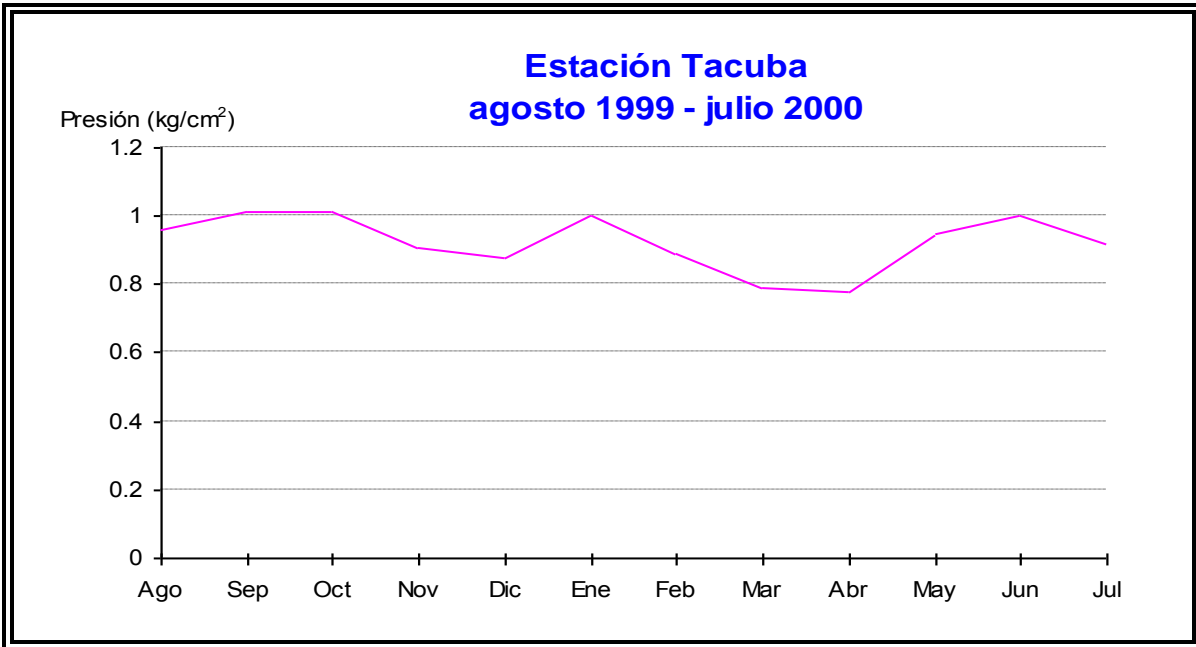


Figura 1. 12. Estación Tacuba

	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
MEDIA	0.96	1.01	1.01	0.91	0.88	1.00	0.89	0.79	0.78	0.95	1.00	0.92

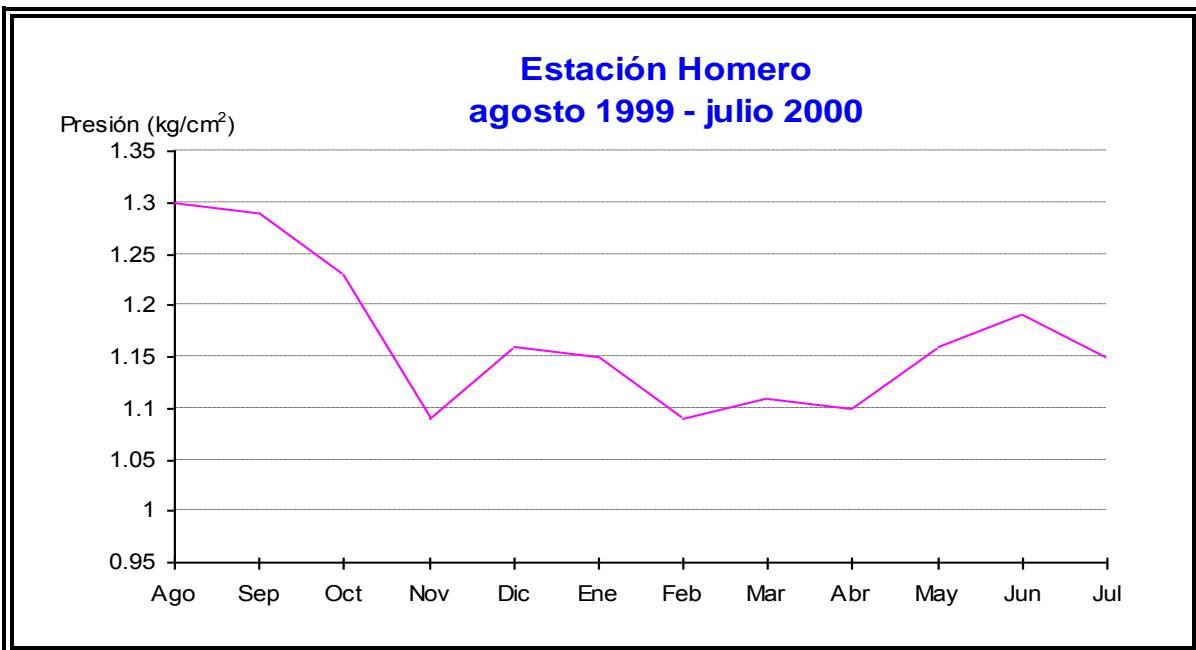


Figura 1. 13. Estación Homero

	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
MEDIA	1.30	1.29	1.23	1.09	1.16	1.15	1.09	1.11	1.10	1.16	1.19	1.15

II SELECCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

2.1 INTRODUCCION

En una localidad, como lo es la Ciudad de México se requiere suministrar el agua potable a sus habitantes con la cantidad, presión y constancia adecuadas; es decir, que se cuente con el caudal necesario para cubrir la dotación y necesidad de cada habitante, además de que este caudal esté disponible durante las 24 horas del día y que el agua llegue con la presión adecuada para su uso.

En una red de distribución tan extensa como la del Distrito Federal, se presentan una cantidad considerable de fugas y fuertes variaciones de presión, de acuerdo a las interconexiones y formas de operación entre tuberías, además de la topografía de la zona. Ante esta situación se requieren tomar medidas y desarrollar acciones que lleven a una mayor eficiencia y control en el servicio de abastecimiento de agua potable.

Una forma adecuada para mejorar la eficiencia de la red, es dividirla en sectores (uno de los objetivos del presente trabajo) que permitan controlar los gastos, reducir fugas, bajar altas presiones, ubicar válvulas reguladoras de presión y rehabilitar la infraestructura existente.

2.2 DEFINICIÓN DE SECTOR

Dentro del subsector de agua potable, el término sectorización es conocido como la formación de zonas de suministro autónomas, más no independientes, dentro de una red de distribución; en otras palabras, es la división o partición de la red en muchas pequeñas redes, con el fin de facilitar su operación. De este modo, será mucho más sencillo controlar los caudales de entrada en cada sector, las presiones internas de la tubería, la demanda y el consumo, así como las pérdidas de agua, tanto en fugas como en usos no autorizados. Aun más, puede conducirse el agua por la red primaria, sin exceso de conexiones con la secundaria, desde la fuente de alimentación hasta los puntos más lejanos, generalmente sacrificados en la distribución del agua.

Distrito hidrométrico = sector hidrométrico = sector

Esto es una sección de la red de distribución de agua potable, perfectamente delimitada por medio de válvulas de seccionamiento, adecuadamente instrumentada para aforar el caudal de entrada, para medir y controlar la presión de operación, a fin de brindar la misma calidad de servicio de suministro a la totalidad de los usuarios contenidos en esta red.

Debe contarse con la información completa del sistema de distribución (catastro), y la forma de operación real, a fin de estar en posibilidades de utilizar un software o modelo numérico que permita simular el funcionamiento hidráulico del sistema,

mismo que deberá verificarse a través de algunas mediciones estratégicas, y realizar así una calibración del modelo.

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

Al contar con un modelo confiable, debidamente calibrado, se podrán simular con varias formas de operación, y sobre todo, la red puede dividirse en varios sectores mediante la conformación de los llamados “distritos hidrométricos”, que no es más que el establecimiento de sectores a fin de controlar y mantener presiones adecuadas, y realizar la auditoria del agua por zonas; es decir, conocer realmente lo que sucede con el agua en cada zona.

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

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

De este modo, se hace necesaria una evaluación de la conveniencia de llevar a cabo la sectorización, pues debe garantizarse, que el servicio se mantenga en el mismo nivel de calidad. Por lo anterior, cobra mayor importancia la confiabilidad de la información y la actualidad del catastro, así como la simulación del funcionamiento del sistema con un modelo calibrado.

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

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

2.3 Etapas de la sectorización

El proceso de esta acción es largo y absorbe una importante cantidad de recursos humanos y económicos, por lo que debe partir de una planeación bien definida y sobre todo comprometida por parte de los responsables de la prestación del servicio de agua potable a una localidad (referencia 4).

Etapas que deben seguirse durante la sectorización:

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

2.4 Definición de sectores y puntos de alimentación

Los criterios a seguir para llevar a cabo la división en sectores, parten de la infraestructura existente y de las diferentes zonas de presión en operación normal antes de iniciado el proceso, lo que resulta una primera propuesta de sectorización, las adecuaciones a ésta, pueden realizarse con la ayuda de las siguientes recomendaciones generales.

- 1) Generalmente se puede considerar de 1 a 5 sectores por cada 100 hectáreas (1 km²); en zonas con alta densidad de población, los sectores pueden ser de 10 a 15 hectáreas. Algunos expertos dimensionan los sectores en función del número de usuarios o de tomas.
- 2) Cualquiera de las recomendaciones que haya sido seleccionada para definir el tamaño de los sectores, deberá ajustarse a la geometría de la red, sobre todo a

la adaptación de las condiciones de operación actuales y la facilidad de contar con un punto de suministro, aunque siempre será prudente contar con una alimentación de respaldo, aunque ésta se mantenga cerrada y sólo se utilice en contingencias.

- 3) Minimizar las variaciones de presión de servicio al interior del sector; esto es, mantener una cierta uniformidad de presiones entre los 15 y 50 mca, correspondientes a la dinámica mínima y estática máxima, respectivamente.
- 4) Siempre será conveniente verificar las velocidades del agua, las que podrán estar comprendidas entre 0.6 y 2.0 m/s.

Algunos de los problemas más comunes se refieren a la delimitación de los sectores, la caída de la presión en algunos puntos, la presencia de altas velocidades y la elevación de la presión durante las horas de menor consumo. Generalmente, este tipo de inconvenientes se reducen al considerar dos puntos de alimentación o al incluir la instalación de dispositivos reductores de presión, aunque en varias ocasiones será necesaria la construcción de líneas de interconexión adicionales.

Actualmente, la sugerencia se basa en la separación de la red primaria y la secundaria, de modo que no decaiga la presión interna de la conducción principal. De este modo, se ha dado paso a la construcción de redes en bloques que van sustituyendo las redes secundarias convencionales, tal y como se ilustra en las figuras 2.1 y 2.2.

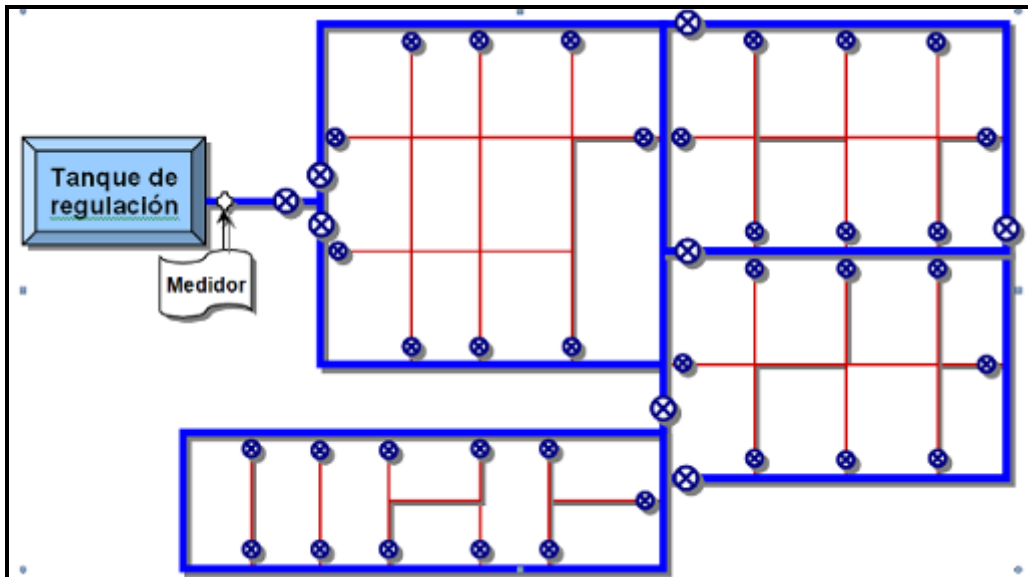


Figura 2. 1. Sector con un punto de alimentación y red secundaria convencional.

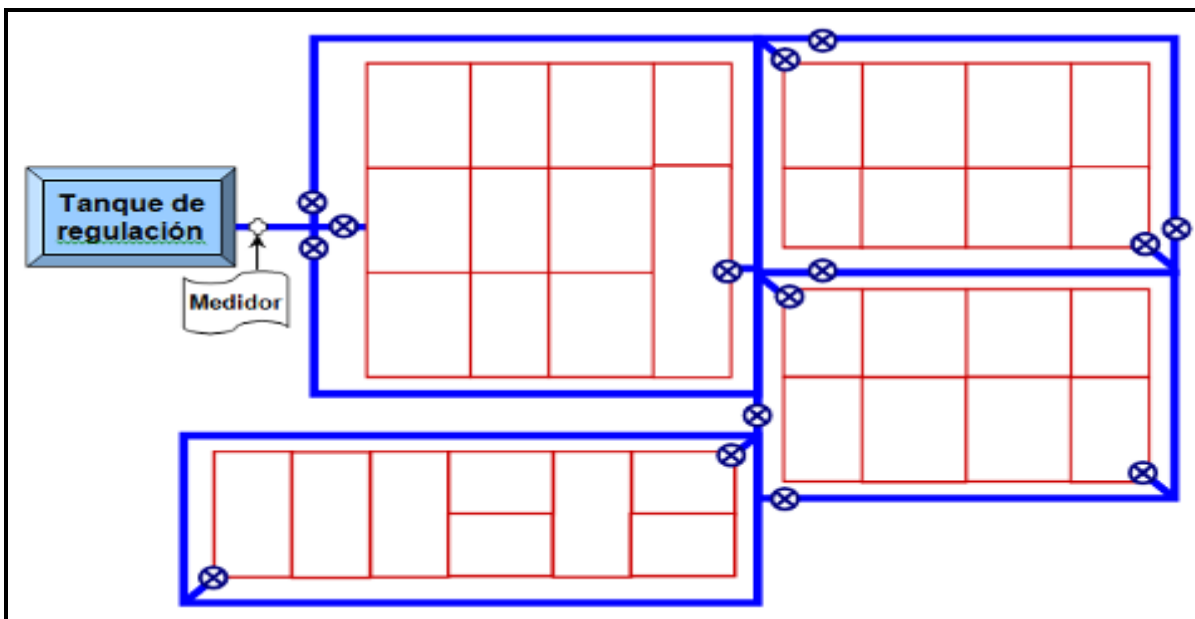


Figura 2. Sector con un punto de alimentación y red secundaria en subsectores.

Probado y elegido el esquema de sectorización, se procede entonces a la selección de los elementos de control, que representan los medios para operar el funcionamiento del sistema, para aislar alguna zona de la red, reducir o mantener la presión del agua y permitir el flujo entre sectores.

Algunas recomendaciones complementarias que buscan contar con un sistema de distribución confiable, son las siguientes:

- Mantener interconexiones entre sectores y entre fuentes de suministro, con válvulas cerradas, de modo que puedan derivarse caudales en casos extraordinarios.
- Verificar la capacidad de conducción de las líneas principales, considerando las situaciones de emergencia en las que deban alimentar a otros sectores. De ser necesario, incrementar el diámetro de esta tubería.

Finalmente, la selección del esquema de sectorización idóneo será aquél que mejor se adapte a las necesidades propias de cada sistema de distribución, pero ante todo, evaluar el costo en la construcción de nuevas líneas de conducción y tanques de regulación, cortes, instalación de válvulas, etcétera. El mejor esquema será el que ofrezca un adecuado y confiable funcionamiento hidráulico al menor costo posible.

Los beneficios que ofrecen la sectorización se extienden al área comercial, pues de la misma forma que se generan sectores autónomos, también se crean zonas de consumos que, a través de la medición o estimación en la tomas de los usuarios, se establecen las demandas domésticas, comerciales e industriales,

realizando así un balance que apoye los aspectos técnicos para la derivación de caudales a las diferentes zonas de demanda.

De este modo, se puede llevar a cabo una sectorización comercial, en armonía con los distritos hidrométricos o sectores, a partir de la facturación de los consumos por ciclos, facilitando el control de los usuarios y el pago de los servicios.

Para definir la zona de estudio del presente trabajo, se considero la red secundaria de la Ciudad de México, y en particular en la “**Delegación Miguel Hidalgo**” y de esta el sector MHO-31, considerando además las conexiones existentes a la red primaria y sus zonas de influencia.

Al conocer las características hidráulicas de los sectores, se pueden ir aislando del resto del sistema, lo que permitirá conocer su funcionamiento hidráulico, posteriormente, proponer mejoras en el uso de la infraestructura, tener control de las presiones y pérdidas, y una administración del agua de acuerdo al costo del servicio.

2.5 Antecedentes de la Zona de Estudio

La red de distribución de agua potable de la Ciudad de México a través de los años ha aumentado su tamaño y capacidad de respuesta, al mismo tiempo que su manejo se volvió sumamente complejo. Como en otras ciudades del país y del mundo, el desarrollo de una gran red es acompañado de fuertes problemas relacionados con el deterioro de la infraestructura y las pérdidas, la inequidad en la distribución, el déficit del suministro, la disponibilidad futura y otros más. Las pérdidas representan el **37%** del caudal suministrado, que asciende a **33 mililitros por segundo** y ocurren en la totalidad de la red.

La búsqueda de una solución integral y definitiva que considerase el fundamento social e hidráulico del problema del abasto de agua en la ciudad de México, encontró respuesta en el proyecto de la Sectorización, que constituye la estrategia de eficiencia física más aceptada en la experiencia internacional por su efectividad para distribuir grandes caudales en áreas extensas y simultáneamente controlar y reducir las pérdidas con un bajo costo de inversión en comparación a otras alternativas. En contraste con las respuestas tradicionales tomadas en otras ciudades con base en la explotación exhaustiva de los recursos con graves pérdidas económicas y ambientales.

De acuerdo a los estudios previos realizados para el control de presiones en la zona poniente del Distrito Federal, en los que la Región Poniente y parte de las Regiones Centro y Sur se dividieron en cuatro zonas, se delimitaron y analizaron alrededor de 80 sectores que representaron estudiar alrededor de 110 km².

El estudio de presiones abarcó la zona de la reserva ecológica de Fuentes Brotantes en la Delegación Tlalpan al sur de la ciudad, hasta los límites del Estado de México y la **Delegación Miguel Hidalgo**, pasando por las Delegaciones Magdalena Contreras y Álvaro Obregón. Se abarcó de forma completa la Región Poniente y la zona de Jardines del Pedregal y Tizapán correspondientes a la Región Centro, también las colonias Héroes de Padierna y Miguel Hidalgo correspondientes a la Región Sur (referencia 11).

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), recurrió al Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México con la finalidad de obtener información referente a los sectores estudiados, en la investigación se obtuvieron aspectos como su constitución, límites, su abastecimiento, y funcionamiento. En cuanto a la infraestructura hidráulica, se empleó información obtenida de planos provenientes de levantamientos elaborados por la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF). La información proporcionada por el Instituto de Ingeniería, se resume en la tabla 2.1, denominada sectores de control de gasto.

Como resultado del análisis de los sectores a través de planos, simulaciones, recorridos de campo y el total de la información recabada, en lo que respecta a fuentes de suministro o en general al funcionamiento hidráulico de los sectores, se presenta la siguiente alternativa de sectorización en la **Delegación Miguel Hidalgo** la cual se ha modificado desde la propuesta preliminar; pero con la que se pretende lograr una mejor forma de control de abasto de agua en la región (referencia 1).

Tabla 2. 1. Sectores de Control de Gasto.

SECTOR DE GASTO	SECTORES DE PRESIÓN	ÁREA (KM ²)	FUENTE DE ABASTECIMIENTO
MHO31 Lomas	Maple	8.46	Tanque Cumbres
MHO32 Paloalto		1.59	Tanque El Cartero
MHO33 Zapote	Maple y Zapote	4.24	Tanque El Cartero
MHO34 Madereros	Madera y Zaragoza	1.14	Tanque Maple
CUJ01 Cumbres	Cumbres y Laurel	2.11	Tanque El Cartero
AOB04 Tacubaya		1.04	Tanque Madereros 2 y 3
AOB05 Tacubaya 3		0.20	Pozo Tacubaya 3
AOB06 Sta. Fe		2.11	Tanque La Curva
AOB07 Plateros	Plateros y Tarango	1.94	Tanque Sta. Lucía 3
AOB08 S. Lucía 3		2.03	Tanque Sta. Lucía 3 y 2
AOB09 S. Lucía 1		1.91	Tanque Sta. Lucía 4
AOB10 S. Lucía 5	Lucía 2 (poniente) y Lucía 5	1.21	Tanque Sta. Lucía 5
AOB11 Tamaulipas		1.34	Tanque Tamaulipas
AOB12 Alfonso XIII		1.62	Tanque Batallón de San Patricio
AOB13 Fabriquita		0.90	Tanque Fabriquita
AOB14 Centenario	Centenario y Tarango 2	2.41	Tanque Villa Verdún
AOB15 S. Lucía 4	Lucía 4, Centenario 2 y Lucía 2 (oriente)	2.91	Tanque Sta. Lucía 4
AOB16 Águilas		3.97	Tanques Águilas 6, 5, 4, 3 y 2
AOB17 Villa Verdún	V. Verdún y Portal 29	2.43	Tanque Villa Verdún
AOB18 Cam. al Desierto		1.81	Tanque Alcantarilla

SECTOR DE GASTO	SECTORES DE PRESIÓN	ÁREA (KM ²)	FUENTE DE ABASTECIMIENTO
AOB19 Av. Toluca		2.36	Tanque Mimosa
AOB33 Becerra		4.50	Tanque Rompedor 1 y 2
MCO01 Contreras 7	MC-7, Huayatta y Pueblo N.	1.52	Tanque La Mesita
MCO03 Reynaco		2.44	Bombeo La Cañada
MCO04 Contreras 8	MC-8, MC-10 y Pájaros	2.64	Tanque el Judío
MCO05 Judío	Judío, Judío 3, Presa R., Magdalena1, Magdalena 2	3.85	Trifurcación El Judío
MCO08 San Jerónimo	San Jerónimo y Anzaldo	0.65	Pozo San Jerónimo 3
MCO10 San Francisco		0.69	Trifurcación El Judío
MCO11 Padierna		0.20	Pozo Padierna 4
MCO12 Claveles		1.00	Trifurcación El Judío

Nota: Los cuadros vacíos en la tabla son debido a que no se cuenta con lainformación.

En la tabla anterior, se presenta la disposición de los sectores, nombrando los Sectores de Gasto que se analizaron, así como los sectores de presión estudiados en el control de presiones. También aparece la superficie que abarca cada sector, este dato es muy importante ya que para algunos sectores fue un factor determinante para definir su extensión, ya que como recomendación se tomó un valor de área máxima para cada sector de entre 2 a 3 km², finalmente también se muestra la fuente de abastecimiento de cada uno de los sectores.

Con la finalidad de lograr mayor certidumbre en los datos de entrada para las simulaciones en el programa, se ha recurrido para determinar la población de cada sector lainformación de INEGI por medio de Áreas Geográficas de Estadística Básica (AGEBS). Posteriormente con esta información se obtuvo el consumo para cada sector considerando una dotación de 200 l/hab/día. En la tabla 2.2 se muestran los sectores de la región poniente así como su población y sus gastos de consumo para cada uno.

Con la ayuda de la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF), organismo que apoyo al estudio, proporcionando datos de su padrón de usuarios, en la tabla antes citada se muestran los datos con la actualización de los de consumos calculados a partir del censo de población 2000 de INEGI y los datos de consumo obtenidos de la información proporcionada por CADF.

Con relación a la **demanda**, para determinar el agua que recibe la red de distribución, es igual al **consumo**, para el agua que reciben los usuarios en sus domicilios más las **fugas**.

$$\text{Demanda} = \text{consumo} + \text{fugas}$$

La influencia que tienen las presiones sobre el nivel de fugas se puede ver en una gráfica determinada por el British Wáter Council a partir de un estudio en varias redes del Reino Unido (ver figura 2.3). En esta gráfica influyen tanto los gastos de fugas debidos a la presión como la incidencia de roturas de la red.

La lectura de esta gráfica es la siguiente:

- 1) Para 30 m de presión media nocturna se tiene un índice de 20
- 2) Para 60 m de presión media nocturna se tiene un índice de 45.
- 3) Es decir, la expectativa de fugas sería de más del doble si la presión de la red es de 60 m en vez de 30 m.

Tabla 2. 2. Población y Consumos obtenidos con datos de INEGI y CADF.

SECTOR	POBLACIÓN (HAB)	CONSUMO AGEBS (L/S) D=200 L/H/D	CONSUMO CADF (L/S)
MHO31-Lómas	30,636	71	152.7
MHO32-Paloalto	3,968	9	21.5
MHO33-Zapote	11,415	26	61.0
MHO34-Madereros	21,856	51	52.7
CUJ01-Cumbres	7,974	18	19.2
AOB04-Tacubaya	12,202	28	36.4
AOB05-Tacubaya 3	5,291	12	11.4
AOB06-Sta. Fe	36,935	85	55.7
AOB07-Plateros	31,898	74	72.5
AOB08-Lucía 3	56,652	131	68.8
AOB09-Lucía 1	33,899	78	58.0
AOB10-Lucía 5	13,390	31	27.1
AOB11-Tamaulipas	17,178	40	13.5
AOB12-Alfonso XIII	29,210	68	77.4
AOB13-Fabriquita	17,428	40	36.8
AOB14-Centenario	31,770	74	32.0
AOB15-Lucía 4	37,867	88	70.2
AOB16-Águilas	40,741	94	111.5
AOB17-Villa Verdún	8,837	20	20.6
AOB18-C. al Desierto	12,422	29	32.2
AOB19-Av. Toluca	16,213	38	25.9
AOB33-Becerra	97,223	225	176.4
MCO01-Contreras 7	21,803	50	
MCO03-Reynaco	29,714	69	
MCO04-Contreras 8	51,866	120	183.7
MCO05-Judío	48,728	113	121.1
MCO08-San Jerónimo	3,033	7	16.8
MCO10-San Francisco	10,919	25	24.5
MCO11-Padierna	1,151	3	3.2
MCO12-Claveles	11,523	27	34.6

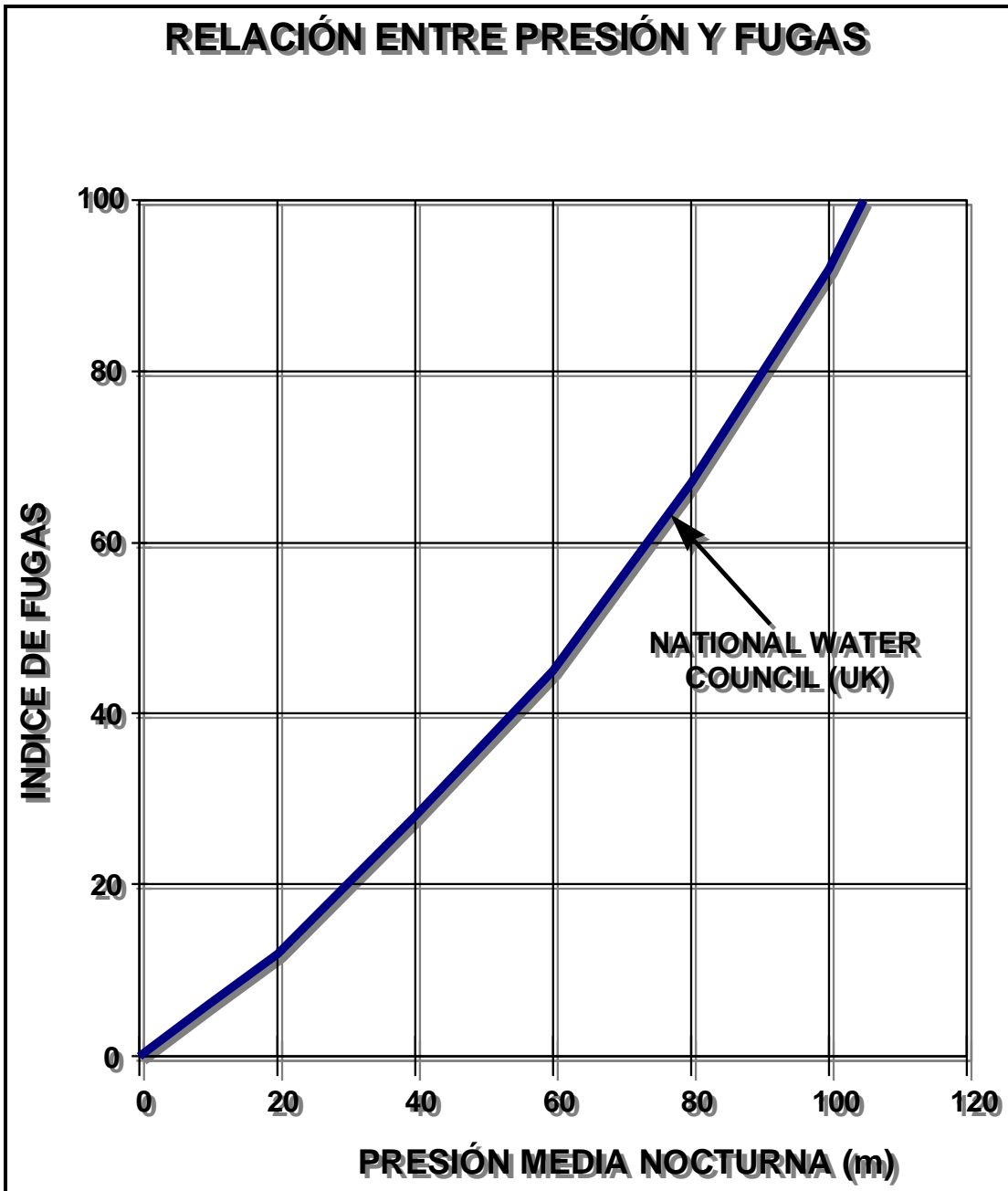


Figura 2. 3. Influencia de las Presiones sobre el nivel de Fugas. British Wáter Council, del Reino Unido

Los estudios más recientes realizados en la Ciudad de México por el Sistema de Aguas (SACM), dieron origen a un plan estratégico de división de la red de distribución de **336** sectores, como puede verse en la figura 2.4, para reorientar los criterios técnicos y la política hidráulica de la Ciudad hacia el uso eficiente y sustentable de los recursos hidráulicos y de la infraestructura instalada, antes que privilegiar la explotación de nuevas fuentes que representarían enormes costos, fuertes conflictos políticos y daños ambientales irreversibles. El caudal de pérdidas recuperado por la Sectorización, se estima en **3,000 litros por segundo**, que

capitalizaría la disponibilidad de agua para el servicio en zonas con déficit, como la Delegación Iztapalapa.

Desde el año **2004** a la fecha se ha logrado sostener la inversión anual y los trabajos de construcción de los primeros **117 sectores** en diversas delegaciones del Distrito Federal, a un costo de aproximadamente **300 millones** de pesos, los cuales representan el **35%** de la meta. Este esfuerzo constituye el más sólido precedente del uso eficiente del agua que ha emprendido la Ciudad, con un claro efecto el nivel de vida del Distrito Federal. No obstante en los años venideros será necesario mantener este ritmo, hasta alcanzar una inversión de aproximadamente **500 millones** de pesos.

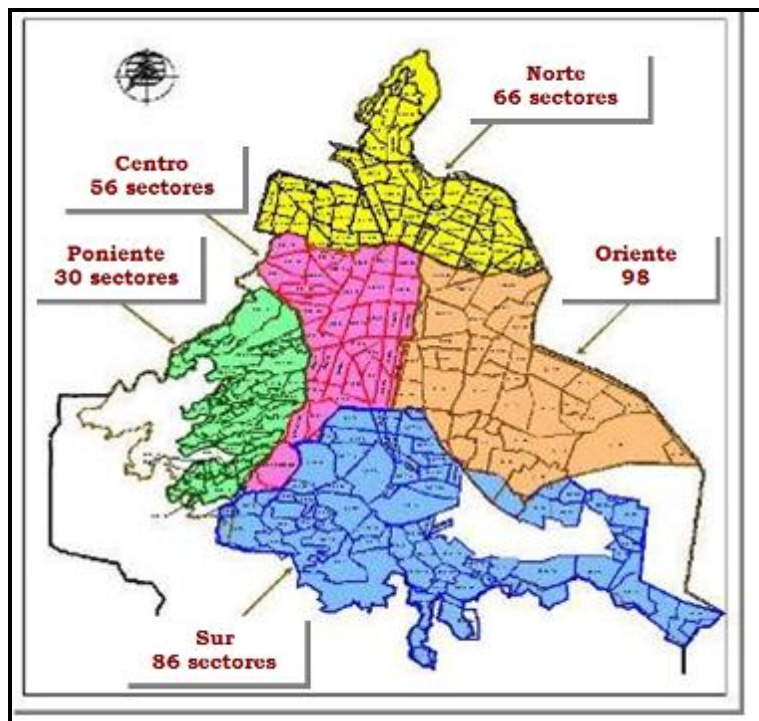


Figura 2. 4. Regiones del Sistema de Agua Potable del D.F.

Una vez consumada la construcción y puesta en operación de los Sectores, los objetivos de la Sectorización van más lejos del exclusivo control de las variables hidráulicas de presión y gasto; es decir se busca una reducción tangible de la magnitud de las pérdidas, para lo cual será necesario realizar diagnósticos por Sector, en los cuales el papel del Sistema Comercial será fundamental ya que permite acotar, la baja cobertura de la micro medición, el error en la precisión de los mismos y el clandestinaje, que resultan los componentes de las pérdidas mas difíciles de resolver.

La efectividad de la Sectorización no se ha limitado a la recuperación de caudales, ha mejorado también el desempeño operativo del sistema de distribución, lo que permitirá extender los beneficios del ahorro a la toda la población.

Ahora la Sectorización es la alternativa de mayor beneficio con la menor inversión y es la única que permite aumentar la disponibilidad de agua sin recurrir a fuentes externas ni aumentar la extracción del acuífero local.

Reconocer y valorar este problema, estudiarlo y atacarlo con una estrategia adecuada, ha evitado las graves consecuencias, de invertir valiosos recursos en obras ineficaces e injustificables como ya ha ocurrido en otras ciudades de la republica, e incluso en el Distrito Federal con el Acueducto Perimetral.

La demanda de una solución integral y definitiva que considere el fundamento hidráulico del problema, ha encontrado respuesta en el concepto de Sectorización, que se ha convertido en la estrategia de eficiencia física más aceptada en la experiencia internacional, por su efectividad para controlar y reducir las fugas.

Esta nueva política hidráulica ha permitido recuperar lo mejor del trabajo realizado en el pasado y establecer un nuevo enfoque, técnicamente idóneo, respetuoso del ambiente y coherente con el futuro que queremos para nuestra Ciudad de México.

Gracias a sus enormes ventajas de bajo costo de inversión y sustentabilidad ambiental, la Sectorización actualmente se ha consolidado como una alternativa competitiva versus el proyecto del Acueducto Perimetral propuesto en los años ochenta, que intentaría llevar agua de un extremo a otro de la ciudad, manteniendo el modelo de explotación de fuentes externas, desestimando los requerimientos de las poblaciones donantes y el equilibrio de las cuencas vecinas. Al evidenciarse que las fuentes que pretendía eran insuficientes, por este motivo, su construcción quedó inconclusa.

Construir un ducto de las características del Acueducto Perimetral hasta la delegación Iztapalapa para conducir más agua, lo cual disminuiría la disponibilidad en el poniente de la Ciudad, con las repercusiones sociales que esto ocasionaría, todo con el propósito de introducir caudales adicionales en el oriente de la Ciudad, hacia una red sumamente deteriorada que presenta índices de fugas de hasta el **67%** lo anterior debido a que fueron construidas sin una supervisión adecuada, mediante el programa de asistencia social denominado Solidaridad, en el cual las autoridades aportaban los materiales y los usuarios la mano de obra, lo que refleja un gran desconocimiento de la problemática.

El plan rector de los Macrosectores establece la conformación por delegaciones, el cual se presenta en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3. Número de Macrosectores por Delegación

MACROSECTOR	DELEGACIONES
I	Azcapotzalco y Gustavo A. Madero
II	Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza
III	Álvaro Obregón, Cuajimalpa y Magdalena Contreras
IV	Benito Juárez, Coyoacán e Iztacalco
V	Iztapalapa
VI	Tlalpan
VII	Tláhuac, Milpa Alta y Xochimilco

En la figura 2.5 se muestran los siete macrosectores en los que se divide el plan rector.

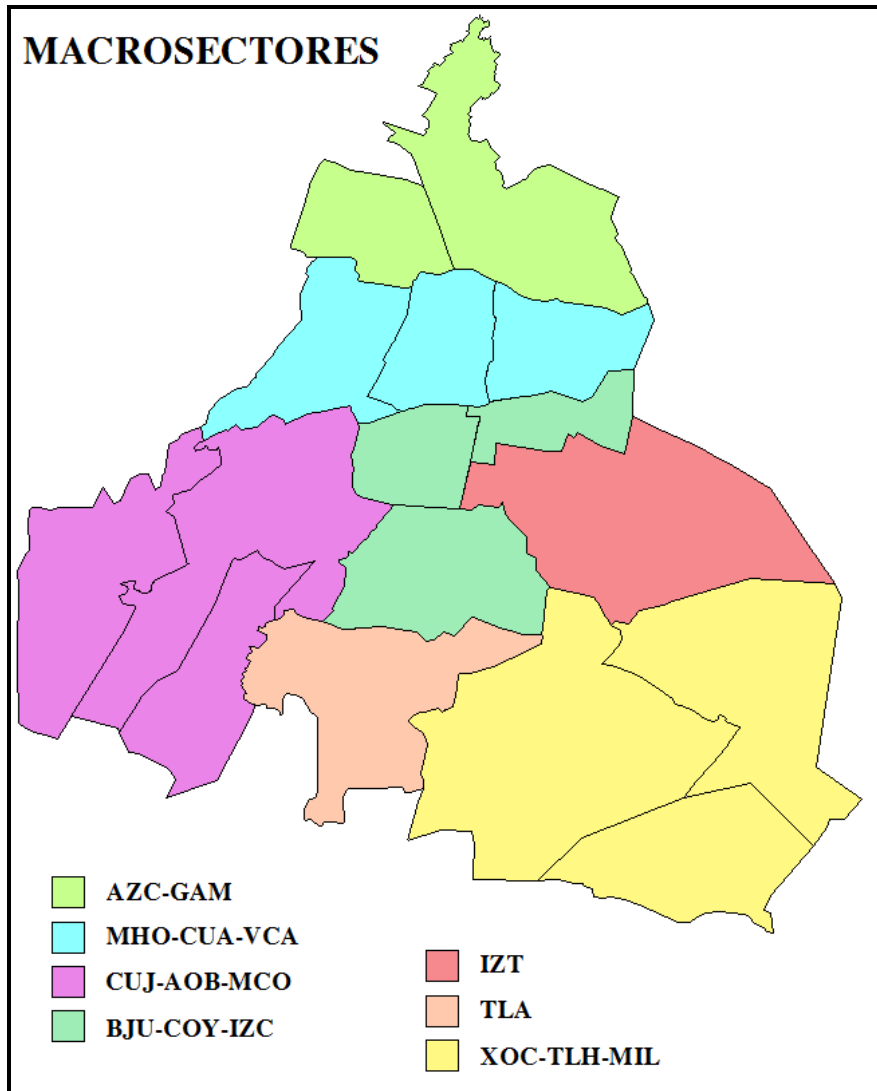


Figura 2. 5. Plan Rector con los siete Macrosectores

La Macrosectorización tiene la ventaja de conocer desde el inicio y en forma permanente los volúmenes entregados en bloque, aún las de aportaciones locales (como los pozos o manantiales) y los de transferencia de cada región (incluso al Estado de México), permitiendo calcular los balances de agua (suministro-consumo) en cualquier periodo, sin modificaciones sustanciales en el esquema operativo actual de la red.

En el 2009 con la construcción de los Macrosectores I, III y IV, el trabajo consistió en cancelar las transferencias de flujo de la red secundaria de distribución (de 12" de diámetro) y construir estaciones de medición de flujo en las transferencias de la red primaria entre Macrosectores (20" a 48" de diámetro), realizando este año la construcción de 25 estaciones. En el 2010 se trabajó en la construcción de los Macrosectores V y VII y en la delimitación de las fronteras Miguel Hidalgo-Cuauhtémoc y Cuauhtémoc-Venustiano Carranza de Macrosector II, construyendo para ello 33 estaciones. En el 2011 se delimitó la frontera Azcapotzalco-Gustavo A. Madero del Macrosector I, las fronteras Cuajimalpa-Álvaro Obregón y Álvaro Obregón-Magdalena Contreras del Macrosector III y la frontera Benito Juárez-Iztacalco del Macrosector IV; así como la construcción del Macrosector VII, construyendo para ello 45 estaciones.

Por otro lado, se ha construido la infraestructura que constituye la segunda etapa de subdivisión de los Macrosectores en las 16 Delegaciones, que en su conjunto consta de 103 estaciones de monitoreo de caudal que permitirá efectuar los balances por delegación. En este 2012 el trabajo se enfocará en la construcción de 16 estaciones propuestas en la primera etapa de ingeniería; con lo que se prevé tener a la conclusión de los Macrosectores 119 estaciones de medición de flujo en total.

Dentro de un Macrosector se calcula un balance hidráulico, el cual es el volumen disponible menos las pérdidas y el consumo, lo que permite determinar las proporciones de las pérdidas en fugas, en usos no autorizados y en submedición.

La contribución de la administración del Jefe de Gobierno del Distrito del Distrito Federal, es el que tuvo la visión de impulsar el proyecto de los Macrosectores, tarea que ninguna administración había contribuido con este nivel de inversión por la gran complejidad del problema.

Es un objetivo fundamental del Jefe de Gobierno del Distrito Federal medir la transferencia masiva de volúmenes en la red principal de la ciudad, tener ordenada y articulada la red para distribuir los volúmenes disponibles de acuerdo a las demandas, permitiendo también disminuir y confinar las zonas que pueden afectarse durante las contingencias o demandas extraordinarias.

La Sectorización nació como un proyecto, hasta crecer a nivel de Programa Institucional y desarrollar un área de especialización, que como en el resto de los grandes sistemas de abastecimiento del mundo, requirió de la fundación de una

unidad administrativa encargada de los trabajos de optimización y recuperación de caudales, llamada Subdirección de Sectorización en el SACM.

El Programa de Macrosectores concluirá este 2012 para continuar con la implementación del Programa de Sectorización, con el objetivo de que antes de concluir la actual administración se tengan construidas las estaciones de monitoreo en todos puntos de ingresos y salidas por delegación.

Este programa fue instituido por el Director General del SACM, e impulsado por el Jefe de Gobierno, de tal forma que a la fecha el avance del Proyecto de Macrosectores es del 90%, gracias a que desde el 2009 se ha logrado mantener la inversión anual, acumulando un monto de 156.55 millones de pesos. Así mismo, para la conclusión del proyecto en el 2012 se realizará una inversión de 9.5 millones de pesos, resultando una inversión total de 166.05 millones de pesos.

La construcción y puesta en marcha de un programa como este, no debe interrumpir la operación habitual del servicio, esto constituye su complejidad: seccionar y aun operar en paralelo fragmentos de la red sin afectar a los usuarios.

Los grandes sistemas de abastecimiento urbano alrededor del mundo, han desarrollado la estrategia de extensos distritos de medición para después convertirlos en grupos estructurados de sectores de control de presión, tal proceso es el que ahora se está llevando a cabo con la Macrosectorización.

El **SACM emplea tecnología de punta para la Macrosectorización** de la red de agua potable, como se realiza en países como **Inglaterra, Japón y Francia** que han mantenido orden en su red de agua potable.

Esta Macrosectorización, tiene como objetivo conocer el volumen suministrado a cada subsistema y determinar las pérdidas reales por comparación con los consumos micromedidos de los usuarios del servicio que permitirá la planeación correcta de los trabajos en la recuperación de caudales.

Para materializar la Sectorización de la red de distribución, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) ha empleado tecnologías y metodologías que tuvieron su origen en las naciones antes citadas o muy similares.

Todas las estaciones de monitoreo de caudal están preparadas para que en un futuro transmitan información en tiempo real al SACM. Además se instalan equipos de última generación que miden con gran precisión el gasto que pasa por las tuberías. Inicialmente se utilizaron algunos de procedencia estadounidense y actualmente otros de fabricación alemana.

Este es un trabajo silencioso, ya que las tuberías se encuentran enterradas, por lo que para la mayoría de los usuarios resulta imperceptible. Así mismo es una tarea que por su complejidad no se puede hacer en dos o tres años. Se proyecta que el

Programa de Sectorización culmine en 5 años, como mínimo, de acuerdo al SACM.

Considerando que una opción para mejorar el servicio es la sustitución de los casi 10,000 kilómetros de red secundaria de la ciudad, la alternativa de la Macrosectorización se consideró como la alternativa de mayor beneficio con la menor inversión, tomando en cuenta que cambiar un kilómetro de red cuesta alrededor de un 1.4 millones de pesos, es decir, para cambiar la red completa de la capital se requeriría una inversión de aproximadamente 14,000 millones de pesos.

Aún cuando este proyecto ha superado diversas dificultades operativas y de ejecución de obra, como lo es, la insuficiencia de caudales derivada de los cortes y restricciones del Sistema Cutzamala, o las molestias al tráfico peatonal y vehicular que implica abrir calles y avenidas, para construir las cajas subterráneas de las estaciones de monitoreo, realizar cortes y perforaciones en las tuberías de red primaria y colocar válvulas o tapas ciegas con fines de seccionamiento en red secundaria; el Gobierno del Distrito Federal culminará este año el proyecto de Macrosectorización de la red de distribución de agua potable.

La delegación Miguel Hidalgo tiene una superficie de 47 km², se encuentra ubicada en la zona poniente del Distrito Federal, limitando al Norte con la delegación Azcapotzalco, al Sur con las delegaciones Benito Juárez, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, al Este con la delegación Cuauhtémoc, y al Oeste con los municipios de Huixquilucan y Naucalpan, Estado de México.

El nivel de servicio de agua potable en la delegaciones del 100 por ciento, ya que toda la población cuenta con agua entubada dentro de su vivienda.

Los habitantes de la delegación Miguel HIDALGO se abastecen por los ramales sur y norte del Acueducto Lerma, 31 pozos municipales y 31 particulares para uso industrial, para distribuir el agua existen interconexiones que enlazan al sistema de tanques, los cuales se ubican en las partes altas para almacenar y regular el agua que se distribuye por gravedad a la población, en la tabla 2.4 se indican los diámetros y longitud de la red primaria.

Tabla 2. 4. Diámetros y Longitudes de la red primaria

DIÁMETRO(CENTÍMETROS)	LONGITUD (KM)
326	2.10
122	12.00
107	1.00
91	10.30
76	1.20
61	0.70
50	19.00
Longitud total	52.30

Fuente: Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), Informe final de Sectorización, SACM, México, 2009.

De acuerdo a los últimos estudios realizados en la sectorización de la red secundaria de agua potable, en la delegación Miguel Hidalgo, a continuación, en la tabla 2.5 se muestran los veinticuatro sectores propuestos para el control de presiones de la delegación en estudio.

Tabla 2. 5. Sectores propuestos para la Delegación Miguel Hidalgo

MHO-01 PANTEÓN ESPAÑOL	MHO-13 ANTROPOLOGÍA
MHO-02 Legaría	MHO-14 Thiers
MHO-03 Lago Ginebra	MHO-15 Chapultepec 1ra Sección
MHO-04 Popotla	MHO-16 Chapultepec
MHO-05 Normal de Maestros	MHO-17 Juanacatlan
MHO-06 Marina Nacional 3	MHO-18 Constituyentes
MHO-07 Marina Nacional 1	MHO-19 Tacubaya
MHO-08 Río San Joaquín	MHO-20 Escandón
MHO-09 Irrigación	MHO-31 Lomas
MHO-10 Ejercito Nacional	MHO-32 Paloalto
MHO-11 Cicerón	MHO-33 Zapote 1
MHO-12 Campos Elíseos	MHO-34 Madereros

Fuente: INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM, **Estudio de la problemática de las acciones de reducción de fugas en las redes de agua potable y propuesta para mejorar su eficiencia**, Convenio de colaboración CNA-SGIHU,-GEP-001/2006, proyecto 5125, México, 2005.

El sector que se estudiará en el presente trabajo es el **MHO-31 Lomas**

Finalmente la selección del sector MHO-31 fue acordado, porque se cuenta con las características hidráulicas en la alimentación a entrada de la red primaria del sector, por lo cual se propuso una división de la red de distribución de agua potable, lo que permite un control de caudales tanto en la entrega como en la distribución, haciendo más eficiente la operación de la red, lo cual permite aislarlo del sistema, y conocer su funcionamiento hidráulico, para proponer posteriormente las mejoras en el uso de la infraestructura hidráulica, controlar las presiones y las pérdidas de agua, así como mejorar la administración del agua de acuerdo al costo del servicio.

III PROYECTO, DISEÑO Y SIMULACION HIDRÁULICA DEL SECTOR.

3.1 TRABAJOS PRELIMINARES

3.1.1 Definición del entorno de la zona de trabajo

Para llevar a cabo la sectorización de la red de distribución en la delegación Miguel Hidalgo y en particular el sector MHO-31 de dicha demarcación, se utilizó el catastro existente, verificando en campo la infraestructura hidráulica real, sobre todo, los límites del sector, con el personal técnico del área de Operación del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM).

Con la información disponible de la red primaria y secundaria del SACM Y CADF, se procedió a proponer la definición de los sectores, tomando en cuenta:

- Área promedio del sector = 8.48 km².
- Población del sector = 30,638 hab.
- Límites Políticos Delegacionales y Estatales.
- Vialidades Primarias y Calles de Importancia.
- Infraestructura e Instalaciones Importantes como el Sistema de Drenaje Profundo, Metro, Bosques, Barrancas, etcétera.
- Operación de la red de distribución.

Considerando lo anterior se procedió a definir el Sector Lomas MH031, así como la propuesta de los subsectores en la Delegación Miguel Hidalgo, se realizaron los recorridos en la zona de estudio con el personal de Operación Hidráulica de la Zona Poniente, junto con la Supervisión Interna y el área comercial del SACM con la finalidad de que sea realmente un sector independiente y aislado.

3.1.2 Localización del área de trabajo Sector Lomas MHO-31

El sector MHO-31 se localiza en la Delegación Miguel Hidalgo al poniente de la Ciudad de México. Este Sector (MHO-31), comprende las colonias Lomas de Chapultepec, Lomas de Barrilaco, Lomas de Virreyes, Molino del Rey, Lomas de Reforma y Reforma Social. Este sector lo podemos observar en la Figura 3.1



Figura 3. 1. Localización del Sector MH0-31

3.1.3 Plano de la zona de trabajo.

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México por medio del área de Sectorización y Automatización, proporcionó el plano operativo y de construcción correspondiente

al sector MHO-31 Lomas, de la Región Poniente, en el cual se muestra la planimetría de la zona en estudio, así como la red dedistribución de agua potable con que cuenta el sistema de distribución (ver fig.3.2).

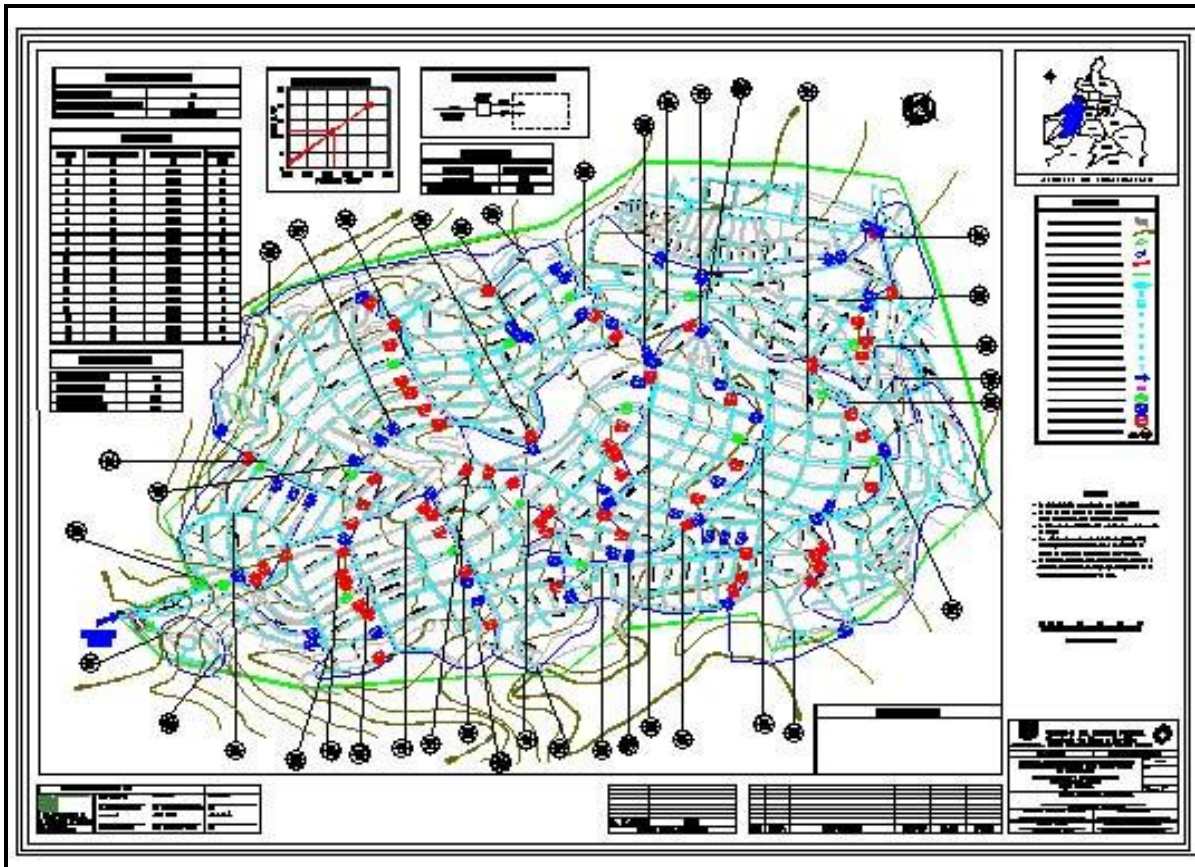


Figura 3. 2.Plano Operativo y de Construcción del Sector Lomas MHO-31

3.1.4 Descripción y datos básicos del Sector MHO-31

El Sector MHO-31, se ubica en la Delegación Miguel Hidalgo, al Noroeste de la Ciudad de México. Sus principales vialidades de este sector son las avenidas, Paseo de la Reforma y Paseo de las Palmas (referencia 16).

En la figura 3.3, se muestran los límites del sector Lomas MHO-31

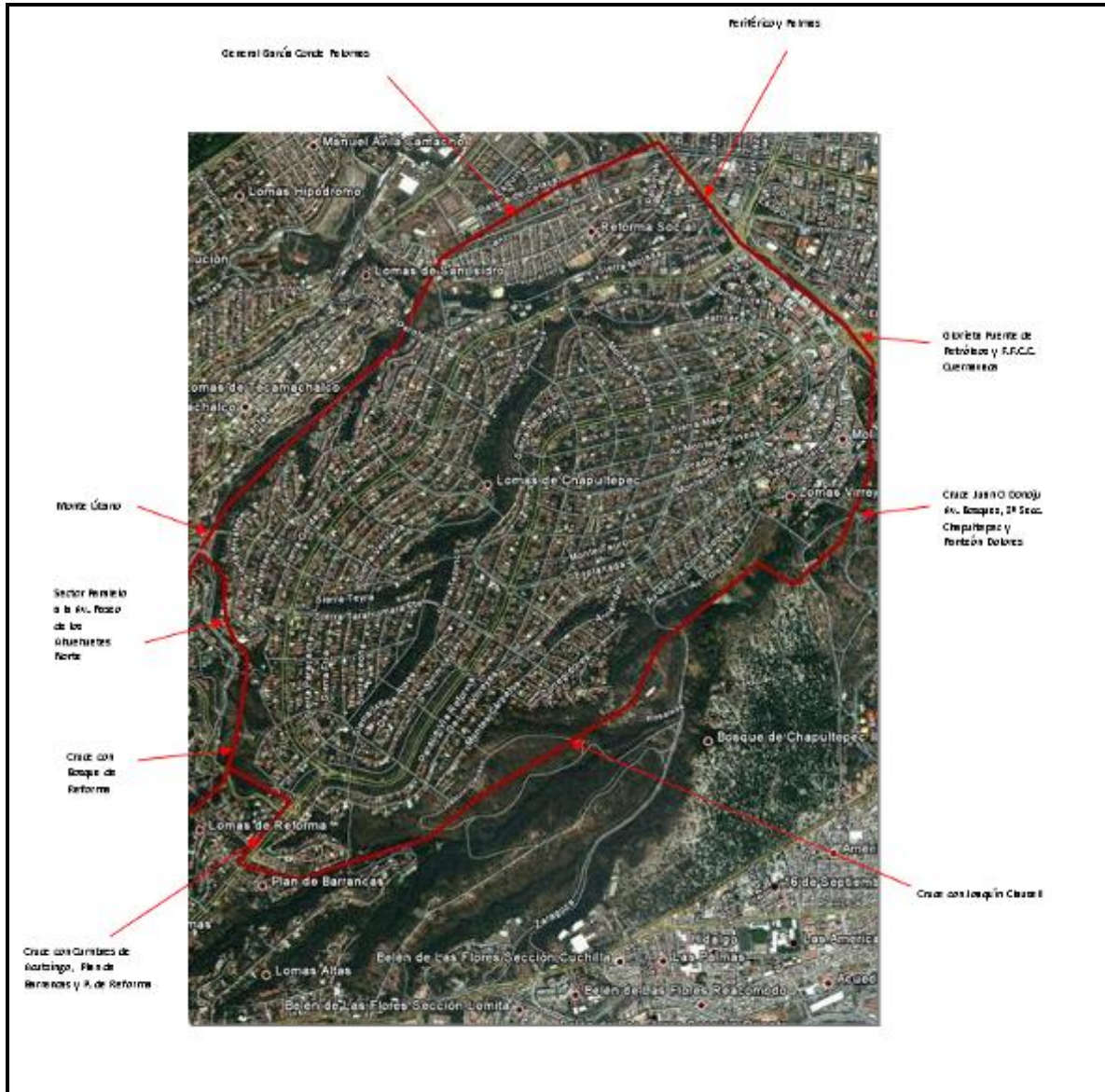


Figura 3. 3. Límites del sector Lomas MHO-31

El área del sector que es de 8.48 km², y cuenta con una población de 30,638 habitantes (al año 2000), la que se determinó considerando la información del INEGI, por medio de las Áreas Geográficas de Estadística Básica (AGEBS). La Dirección de Sectorización y Automatización del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, fijó el gasto de agua potable que requiere el Sector Lomas en base al número de habitantes, a la población de proyecto y a la dotación. En la figura 3.4 se muestra la gráfica de suministro del sector.



Figura 3. 4. Gráfica de Suministro, Sector Lomas MHO-31

En la tabla 3.1 se muestran los gastos de diseño del sector en estudio.

Tabla 3. 1. Gastos de diseño

Dotación	317 lts/hab/día
Población	30,638 hab.
Gasto mínimo	34 l/s
Gasto Medio	112 l/s
Gasto Máximo	180 l/s

Fuente: SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO (SACM), Informe final de Sectorización, SACM, México, 2009.

3.2 Topografía.

EL sector tiene un desnivel de 120m aproximadamente, como puede verse en la figura 3.5, los desniveles que se van acumulando entre cada uno de los subsectores del sector Lomas MHO-31, obligan a la instalación de V.R.P. para controlar el incremento de la presión.

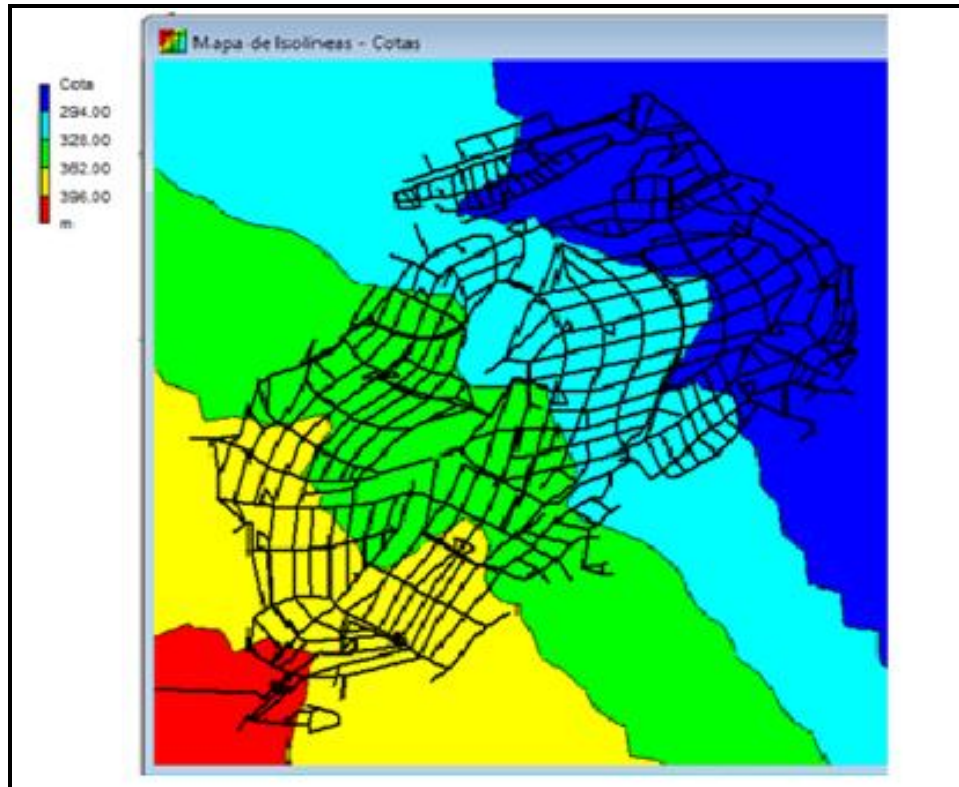


Figura 3. 5.Topografía

3.3 Reconocimiento del sector MHO-31

Se realizaron recorridos dentro y en los límites del sector, para verificar su funcionamiento, estos recorridos se realizaron con personal técnico de operación, sectorización, el área comercial del SACM y personal de la Delegación; con la finalidad de verificar sus límites y posteriormente realizar los levantamientos de las diferentes cajas de cruces, para conocer el estado actual de la infraestructura hidráulica, con la finalidad que sea realmente un sector independiente y aislado.

Uno de los puntos de encuentro para la realización de estos recorridos fue la zona conocida como los manómetros (figura 3.6), que se ubica en el cruce de Av. Paseo de la Reforma y Bosques de Reforma.



Figura 3. 6. Revisión de planos en el cruce de manómetros.

Una vez realizados los recorridos para el reconocimiento de la zona de estudio, y definidos los subsectores dentro del sector Lomas, se programaron y llevaron a cabo los levantamientos de las diferentes cajas de los cruceros, para conocer el estado actual de las mismas, como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3. 7. Inspección de las cajas de cruceros en el Sector Lomas

3.4 Toma de presiones del Sector Lomas

Una vez terminado con los trabajos relativos a los recorridos y levantamientos dentro del sector, se realizaron trabajos de toma de presiones (ver figura 3.8) en diferentes puntos del Sector para tener un escenario de las zonas que cuentan con presiones altas o bajas y así proponer alternativas de solución a las mismas.

Las presiones que se tomaron en el Sector Lomas, fueron en los cuadros de las tomas domiciliarias como se aprecia en la figura 3.8, con brigadas de trabajo, y con las cuales se detectaron aquellas zonas vulnerables a condiciones de alta o baja presión de la red de distribución de agua potable. Por otra parte en la misma figura se muestra un equipo data logger instalado en una toma domiciliar para tener también monitoreado las presiones en algunos puntos seleccionados y considerados problemáticos dentro del Sector.



Figura 3. 8. Toma de presiones en el Sector Lomas MHO-31

3.5 Análisis y procesamiento de la información recopilada en campo

Una vez realizado el levantamiento correspondiente al Sector Lomas, se realizó el procesamiento de la información recopilada. Esta información corresponde a los datos del trabajo de toma de presiones domiciliarias a lo largo de los subsectores.

La información correspondiente a la toma de presiones se graficaron, para determinar el comportamiento de la presión, en un sitio determinado y/o zona de un subsector, con el objeto de poder determinar las zonas con altas presiones y plantear propuestas de solución en conjunto con las divisiones de los subsectores propuestos en el Sector.

En la figura 3.9, se puede ver la gráfica correspondiente a la Calle Monte Líbano, en la cual se muestra el comportamiento de la presión de un día; en este Sitio se tiene un rango de 2.2 kg/cm^2 en el día y 5.0 kg/cm^2 en la noche.

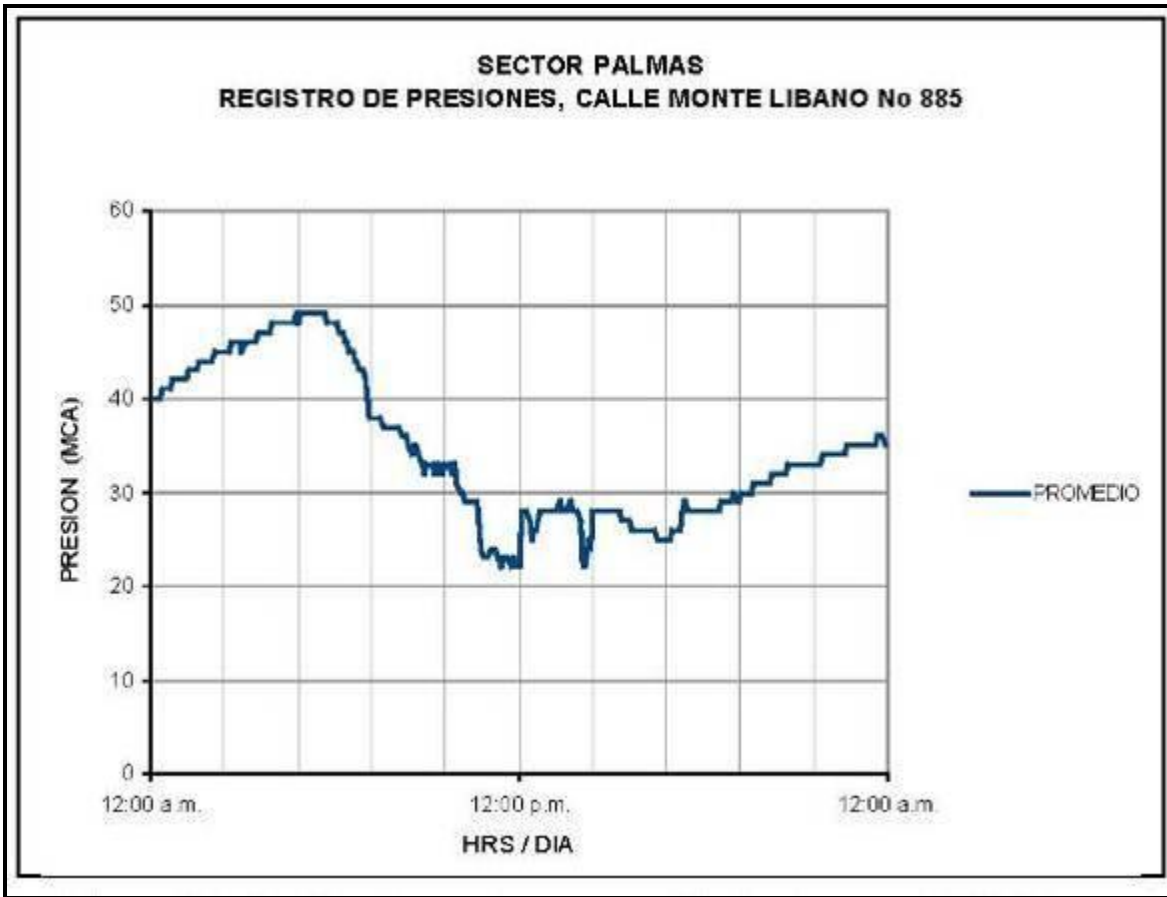


Figura 3. 9. Gráfica de presiones en el Sector Lomas MHO-31

Con respecto a los levantamientos realizados de las cajas de los cruceros de la red de distribución, dentro de los Subsectores Lomas, se realizó un formato de trabajo, donde se vaciaron los datos recopilados de todas las cajas verificadas en campo y el cual se divide en tres partes; la primera corresponde al croquis de localización del cruceo, es decir la ubicación física donde se encuentra la caja de válvulas, la segunda corresponde al despiece de esa caja y la tercera parte es para colocación de la fotografía correspondiente a la caja inspeccionada, complementando este formato con una serie de actividades que se llevaron a cabo en el momento de la inspección adicionando recomendaciones a la misma, con fines de mejorar el funcionamiento del cruceo, como puede verse en la figura 3.10.




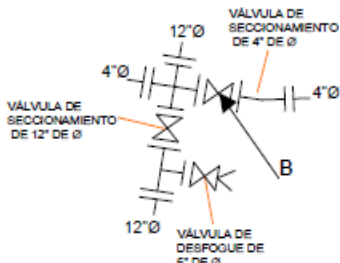

 Secretaría del Medio Ambiente Sistema de Aguas de la Ciudad de México		 VERIFICACIÓN DE VÁLVULAS	
SECTOR: MHO-31 LOMAS	CALLE: PASEO DE LAS PALMAS	ESQ. CON CALLE: SIERRA TARAHUMARA	COLONIA: LOMAS DE CHAPULTEPEC
ESTADO: EN BUENAS CONDICIONES		No. DE VUELTAS: CERRADA	FECHA: 16 de Julio de 2009
ACTIVIDADES REQUERIDAS: CALA DE VERIFICACIÓN: <input type="checkbox"/> DETECCIÓN DE CAJA: <input type="checkbox"/> DESASFALTAR: <input type="checkbox"/> ACHIQUE: <input type="checkbox"/> DESAZOLVE: <input type="checkbox"/> LIMPIEZA: <input checked="" type="checkbox"/> NO REQUIERE: <input type="checkbox"/>			
OBRAS ADICIONALES: CAMBIO DE VÁLVULA: <input type="checkbox"/> INSTALACIÓN DE TAPA CIEGA: <input type="checkbox"/> NO REQUIERE: <input type="checkbox"/>			192-B
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN 	DESPIECE 	FOTOGRAFÍA 	
RESIDENTE AMSA: ING. LUIS JORGE MORALES AVALOS		SUPERVISIÓN INTERNA: ING. JUAN MARTIN ARREOLA RAMIREZ	
FIRMA:		FIRMA:	

Figura 3. 10. Formato de verificación de cajas de válvulas.

Finalmente, después de contar con toda la información del levantamiento físico de la infraestructura de agua potable, se reunió el personal técnico de Operación, Sectorización, Área Comercial y Supervisión por parte del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), para definir la alternativa definitiva del sector, después de haber propuesto varias alternativas de solución para mejorar la eficiencia y control del sistema de distribución actual que se tiene en el Sector MHO-31 Lomas.

3.5.1 Fuente de abastecimiento al Sector MHO-31

Uno de los sitios de abastecimiento al Sector Lomas es el pozo llamado Chapultepec y abastece únicamente al subsector VIIIIP, como se muestra en la figura 3.13, en la figura 3.11 se muestra la curva de comportamiento de la bomba, en la 3.12 la curva de evolución del equipo de bombeo, sus datos de gasto durante un día, se muestran en la tabla 3.2. El otro punto de suministro, es el denominadomanómetros, donde se contempló realizar el cambio en el

funcionamiento hidráulico. Este sitio de alimentación puede verse en la figura 3.13 y su ubicación en la figura 3.14, y el arreglo de piezas especiales en la figura 3.15.

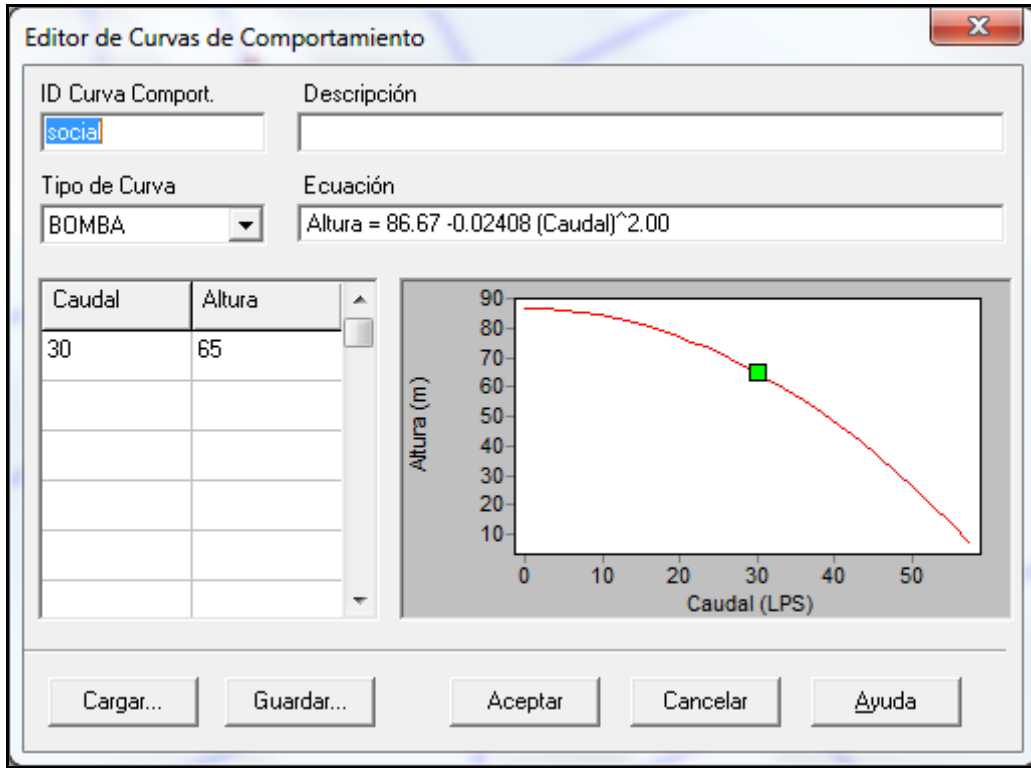


Figura 3. 11.Curva de comportamiento de la bomba.

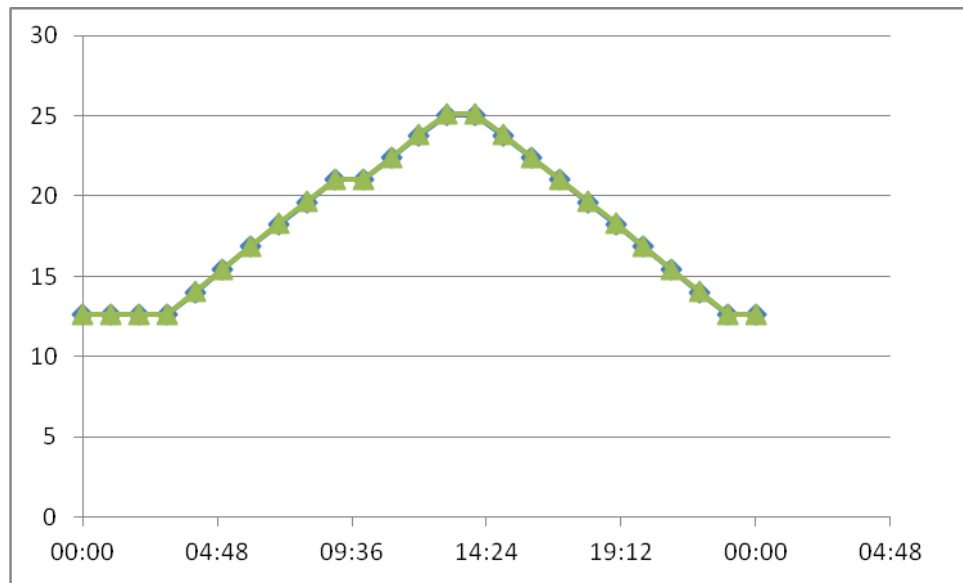


Figura 3. 12. Gastos que aporta la bomba durante el día.

Tabla 3. 2. Gastos que aporta la bomba durante el día

Evolución temporal – Válvulas abiertas		Evolución temporal – válvulas cerradas		Diferencias
Instante en horas	Caudal LPS	Instante en horas	Caudal LPS	
00:00	12.61	00:00	12.63	0.02
01:00	12.61	01:00	12.63	0.02
02:00	12.61	02:00	12.63	0.02
03:00	12.61	03:00	12.63	0.02
04:00	14.03	04:00	14.05	0.02
05:00	15.44	05:00	15.47	0.03
06:00	16.84	06:00	16.87	0.03
07:00	18.24	07:00	18.28	0.04
08:00	19.63	08:00	19.67	0.04
09:00	21.01	09:00	21.05	0.04
10:00	21.01	10:00	21.05	0.04
11:00	22.37	11:00	22.43	0.06
12:00	23.73	12:00	23.8	0.07
13:00	25.07	13:00	25.15	0.08
14:00	25.07	14:00	25.15	0.08
15:00	23.73	15:00	23.8	0.07
16:00	22.37	16:00	22.43	0.06
17:00	21.01	17:00	21.05	0.04
18:00	19.63	18:00	19.67	0.04
19:00	18.24	19:00	18.28	0.04
20:00	16.84	20:00	16.87	0.03
21:00	15.44	21:00	15.47	0.03
22:00	14.03	22:00	14.05	0.02
23:00	12.61	23:00	12.63	0.02
24:00	12.61	24:00	12.63	0.02

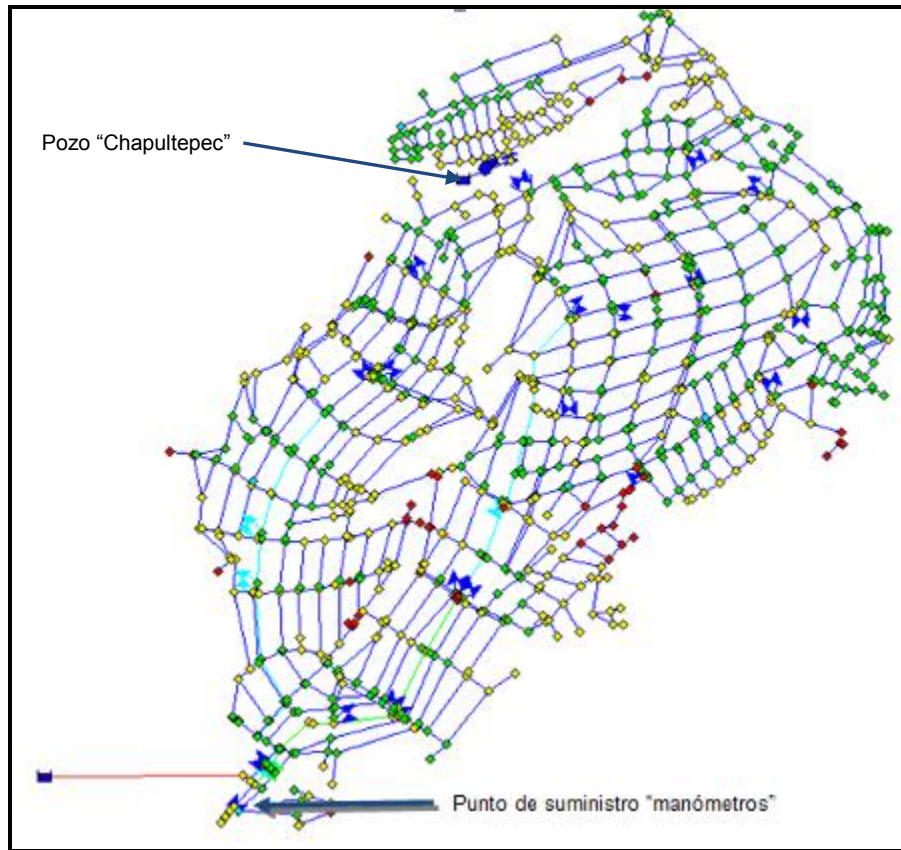


Figura 3. 13. Puntos de Suministro de Agua Potable al Sector MHO-31

3.5.1.1 Descripción de los puntos de alimentación.

El Sector Lomas MHO-31 se abastece del Tanque Maple con una línea de 914mm (36") de diámetro, conocida como los **manómetros**, de este punto se derivan cuatro líneas de alimentación que distribuyen el agua a la zona de proyecto, que son las que suministran el agua a los subsectores **Reforma, Palmas, Vertientes y Sierra Breña**, del sector **MHO-31**.

- Una línea de 305mm (12") de diámetro para el subsector **Reforma**.
- Una línea de 305mm (12") de diámetro para el subsector **Palmas**.
- Una línea de 150mm (6") de diámetro para el subsector **Vertientes**.
- Una línea de 100mm (4") de diámetro para el subsector **Sierra Breña**.



Figura 3. 14. Punto de Abastecimiento Manómetros

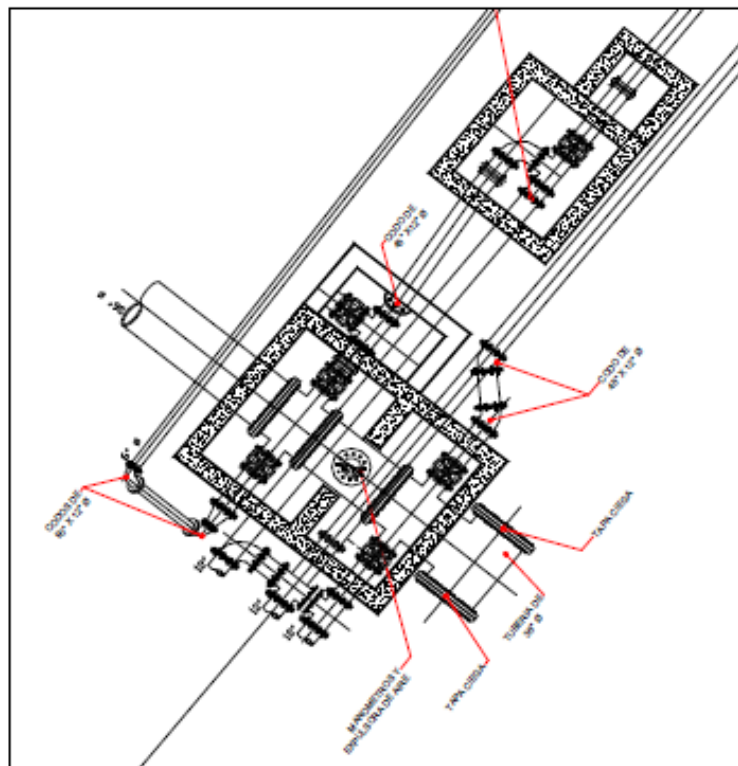


Figura 3. 15. Punto de suministro al sector Lomas MHO- 31

Se propusieron dos subsectores generales (Subsector Palmas y Subsector Reforma, que se abastecerán de forma independiente, con líneas de 305mm (12”)

Ø, una línea de 150mm (6")Ø para reforzar las zonas más cercanas en la entrada del sector, que corresponden al Subsector Vertientes y la última de 100mm (4") para Sierra Breña. Además en este sitio se construirá un centro de medición y uno de control, donde se albergaran las tres líneas con sus respectivos medidores de flujo de carrete y su válvula reguladora de presión (VRP). Estas propuestas se muestran en el diagrama de abastecimiento del sector lomas en la Figura 3.16.

De acuerdo a los resultados de los recorridos realizados y a la información recopilada en gabinete, como los datos topográficos, definición actual de la red de distribución existente y vialidades importantes dentro del sector, se definieron los subsectores, como puede verse en la tabla 3.3, y en la figura 3.17 se muestra la subdivisión del subsector MHO-31.

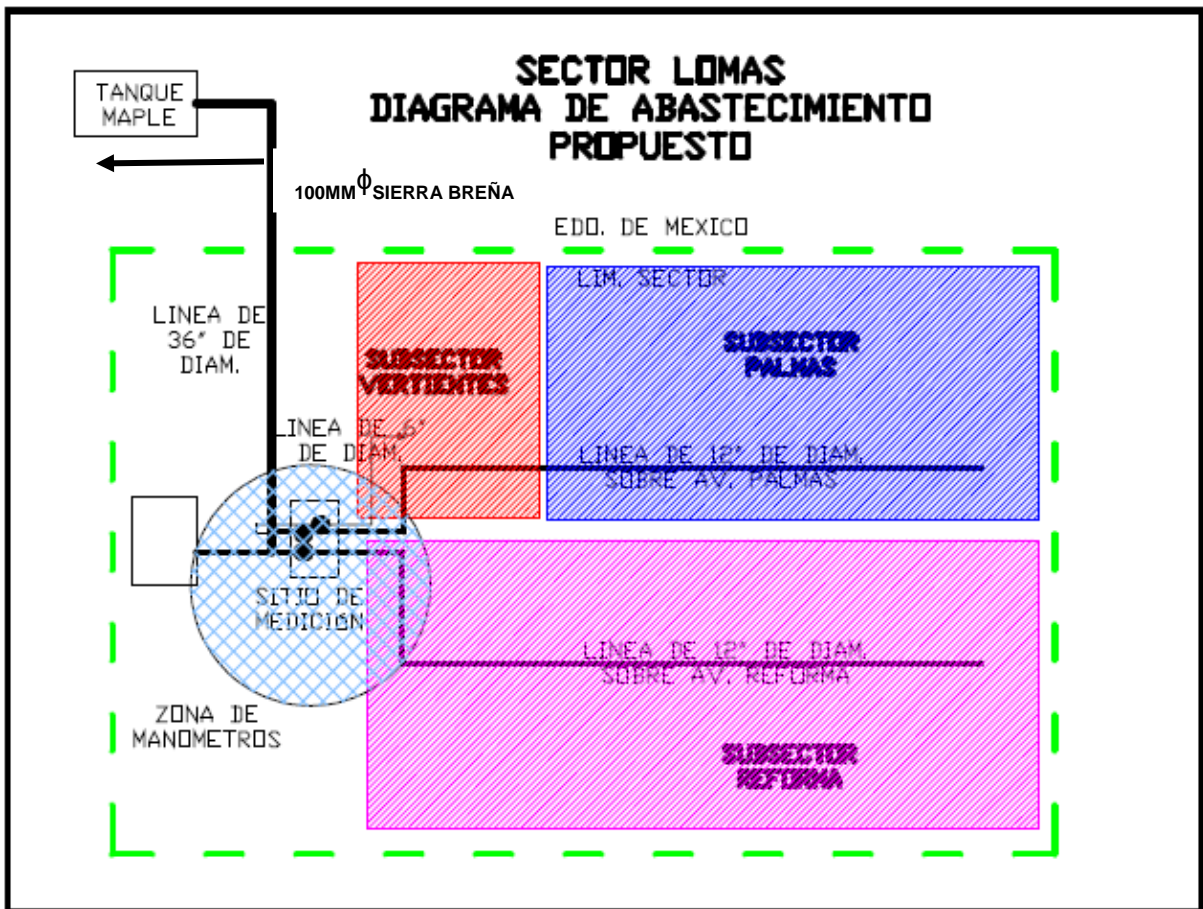


Figura 3. 16. Diagrama de Abastecimiento para el Sector Lomas.



Figura 3. 18.Figura georreferenciada de la zona de estudio.

Una parte fundamental del proyecto, es la modelación matemática del comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable de la zona de estudio, la cual se ha realizado con el programa EPANET (anexo “A”).

En la figura 3.19, se muestran las tuberías que conforman esta red de distribución, del sector MHO-31.

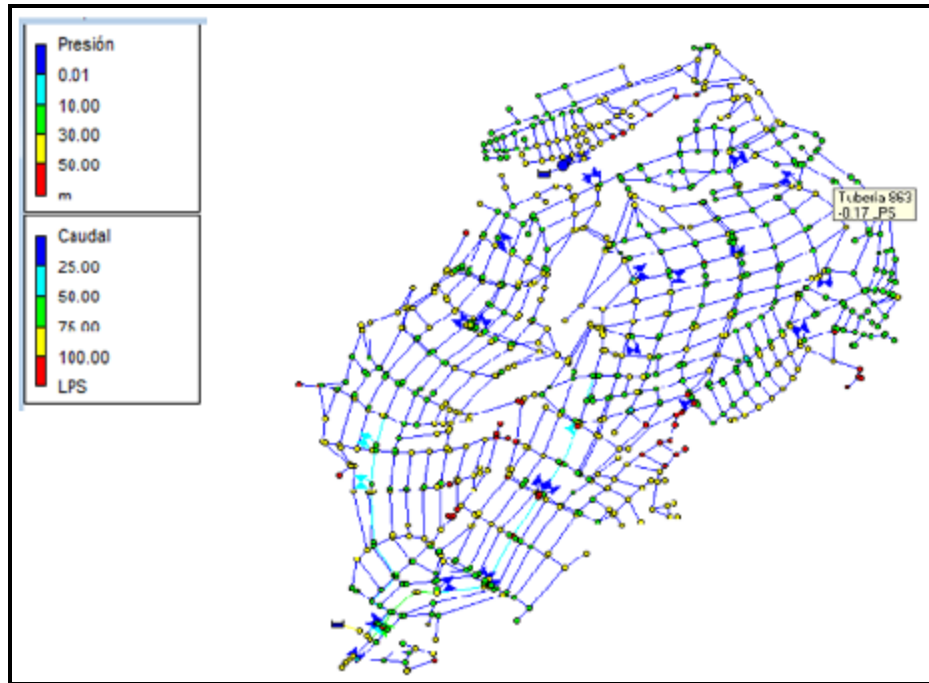


Figura 3. 19.Red de tuberías del Sector MHO-31.

El sector MHO-31 Lomas, está constituido por 719 nodos, 1037 tubos, el punto de alimentación principal se encuentra en la derivación del sistema Lerma, como se citó anteriormente en el sitio denominado **manómetros**, en la figura 3.20 se muestra la configuración con las elevaciones de la zona las cuales van desde la 2,628 m a la 2,507 m, por lo que se tiene un desnivel en promedio de 120 m.

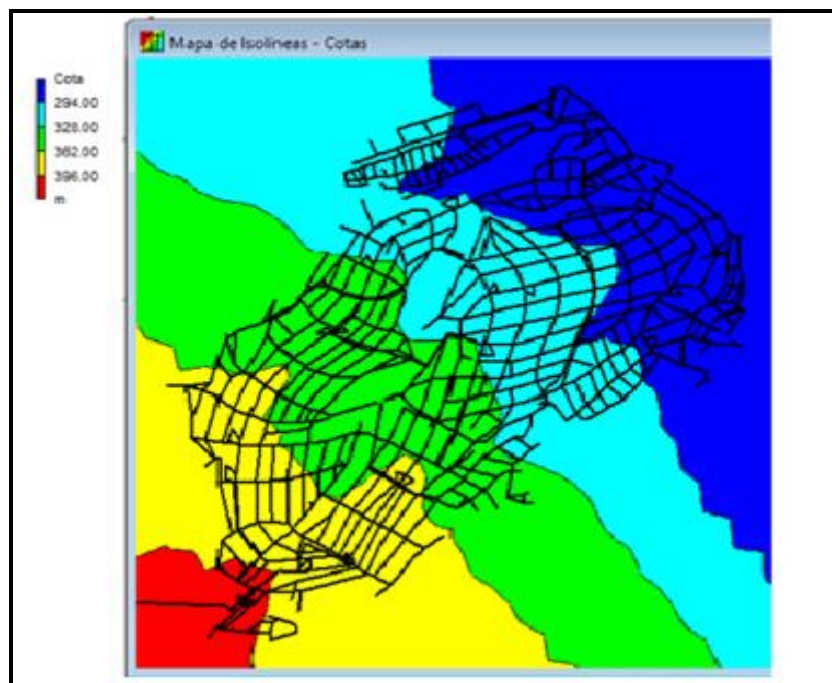


Figura 3. 20. Gráfica de elevaciones

Con base en las reuniones de campo y gabinete, y tomando en cuenta lo citado anteriormente en relación a los recorridos y a la información recabada de la zona de estudio, se definió con las áreas de operación y técnica, la división del sector en cuatro zonas, de acuerdo a los puntos de alimentación citados en la descripción de los puntos de alimentación.

Con los datos básicos tanto de demandas como de infraestructura y operación hidráulica, se efectuó la modelación de la red, con y sin control de presiones, obteniéndose los siguientes resultados y esquemas de la citada calibración.

3.6.1 Análisis Hidráulico

3.6.1.1 Calibración del Modelo

3.6.1.1.1 Determinación del porcentaje de Pérdidas

En el anexo "B", se muestran las tablas con la determinación del porcentaje de fugas, determinadas en el estudio realizado para el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), anteriormente Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), denominado Trabajos de Campo para la Recopilación de Información, y Encuestas para la Cuantificación de Caudales Perdidos en las Redes de Agua Potable del Distrito Federal, por la Empresa Planeación, Sistemas y Control, S.A. de C.V. en el año de 1990 (referencia 14).

En dichas tablas se desarrolla la calibración de las fugas con un valor inicial del coeficiente del emisor de $n=0.10$, arrojando un porcentaje de pérdidas del 70.96, hasta llegar a un valor de 0.0112, y un valor de las pérdidas del 37.19%, que se acerca al valor determinado anteriormente en el estudio citado en el párrafo anterior.

3.6.1.2 Calibración de la red con datos medidos en la zona de estudio

En la figura 3.21 se observa la red de distribución sin coeficiente del emisor y con las válvulas abiertas.

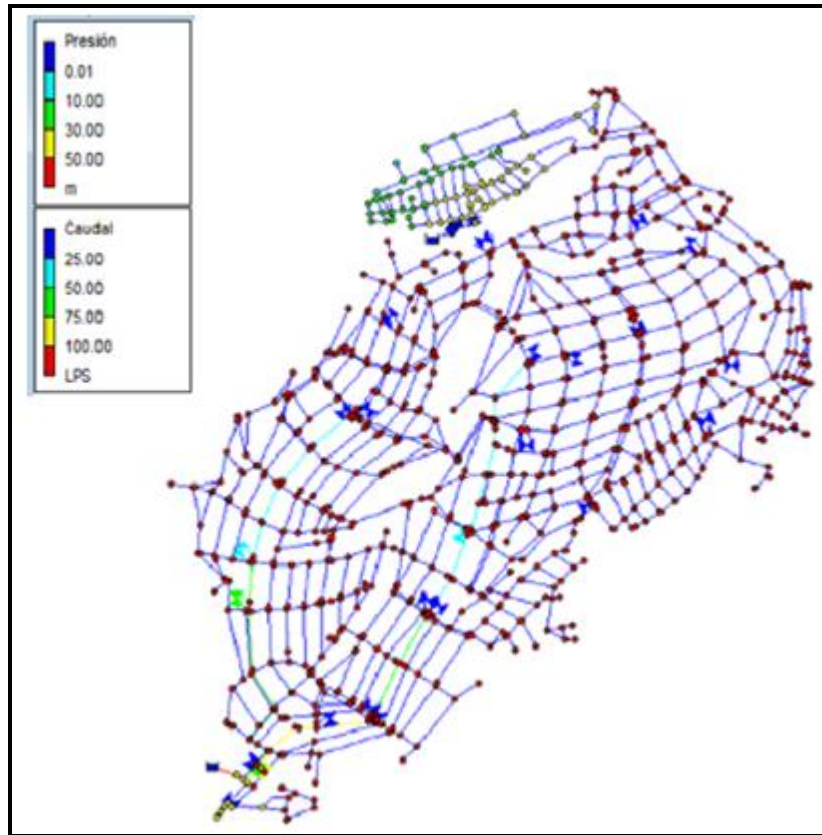


Figura 3. 21.Red de distribución sin coeficiente del emisor.

El inicio de la calibración del modelo se realizó mediante la curva de evolución del sistema, la cual se ve en la figura 3.22, en la cual no se consideran incluidos los datos del coeficiente del emisor. Los datos proporcionados por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) son 177.30, 177.25, 176.82 y 176.76, todos en l/s.

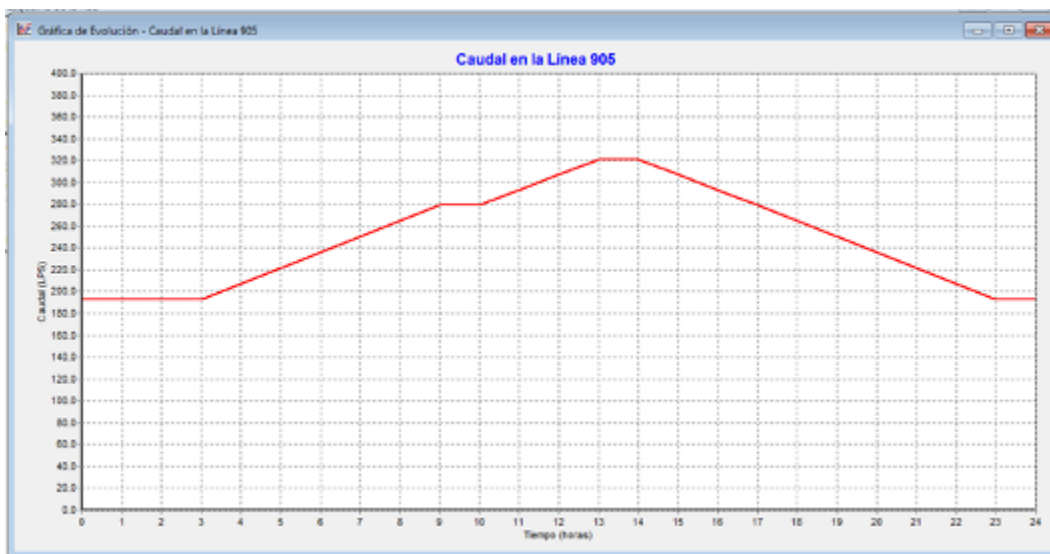


Figura 3. 22.Curva de evolución sin datos del coeficiente del emisor.

El cálculo referente a la inclusión del coeficiente del emisor se realizó en varias ocasiones hasta igualar los datos calculados con los proporcionados por el SACM.

El coeficiente con el cual se inicio el diseño fue de 0.10 y con el coeficiente del emisor que sellegó a la calibración del modelo es de 0.0089, los datos incluidos en la curva de evolución se aprecian en la figura 3.23, denominada curva de evolución con datos de calibración, como resultado final del diseño de la red de distribución de agua potable del sector MHO-31.

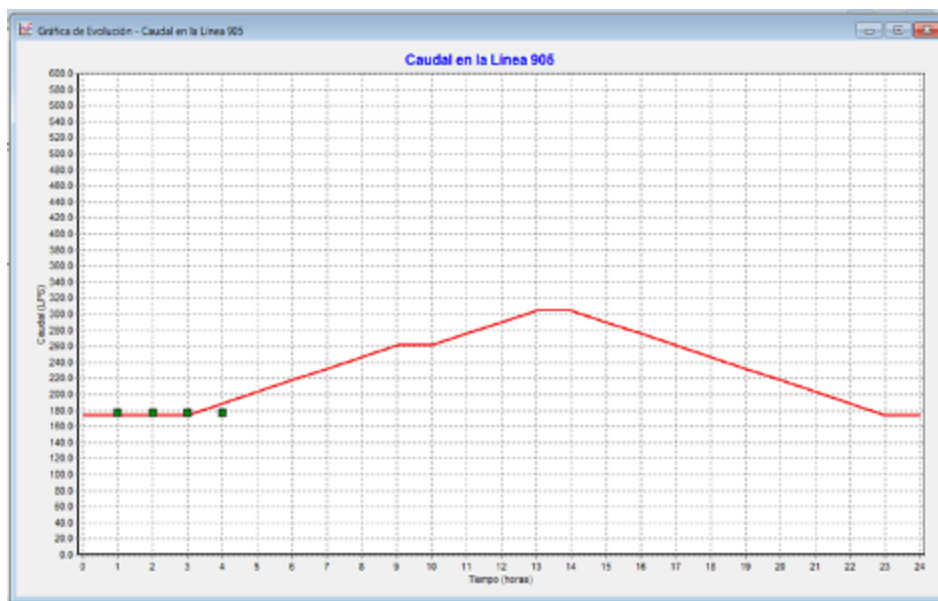


Figura 3. 23. Curva de EvoluciónFinal, con datos de calibración.

También, en la figura 3.24, se muestra la gráfica de comparación de valores en la cual se aprecia que ambos rectángulos son prácticamente iguales, por lo cual la red de distribución está calibrada.

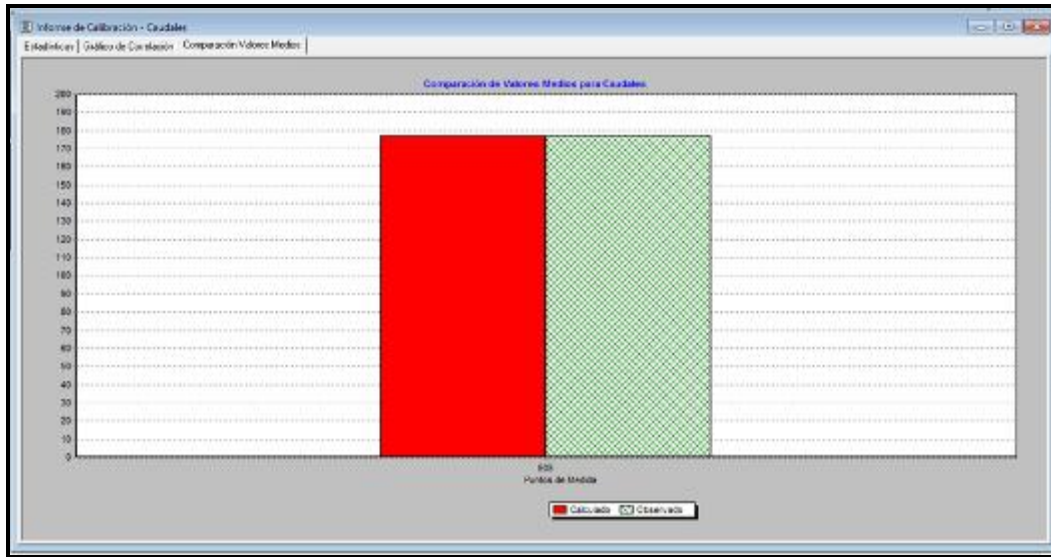


Figura 3. 24.Comparación de valores de la red de distribución del sector MHO-31

Finalmente en la figura 3.25, se muestra el informe de la calibración de la red de distribución del Sector Lomas MHO-31, donde se aprecia que los valores medios son 177.03 l/s los observados y 177.15 l/s los valores calculados, resultando el coeficiente de correlación con un valor de 0.987.

Pto. Medida	Mín. Obs	Media Obs	Media Calc	Error Medio	Desv. Típica
955	4	177.03	177.15	0.120	4.254
Red	4	177.03	177.15	0.120	4.254

Correlación entre Valores Medios: 0.987

Figura 3. 25. Comparación de valores de la red de distribución del sector MHO-31

3.7 Control de Presiones

En la figura 3.26, se muestra la red de distribución del sector en estudio con las Válvulas Reguladoras de Presión en operación, en la cual se aprecia que las zonas con problemas de alta presión son mínimas en relación con el sistema trabajando con válvulas abiertas (referencia 23).

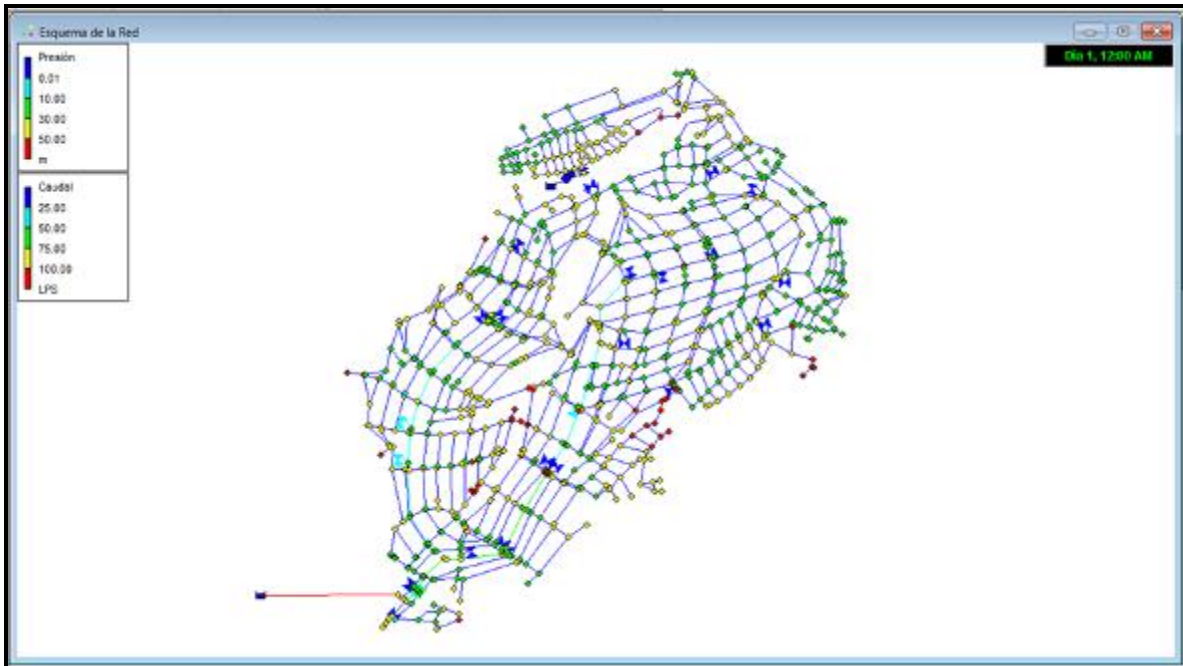


Figura 3. 26.Sector Lomas MHO-31 con válvulas en operación

En las figuras 3.27 y 3.28, se muestra la variación de las presiones dentro del sector, a las dos de la mañana y a las 13 horas respectivamente, sin control, es decir con las válvulas abiertas.

Como puede observarse en las citadas figuras en la mayor parte del área de la zona de proyecto del sector en estudio, se observan presiones mayores a 5 kg/cm^2 , únicamente en el subsector ocho en Palmas y en la zona cercana a la alimentación se observan presiones menores de los 3 kg/cm^2 .

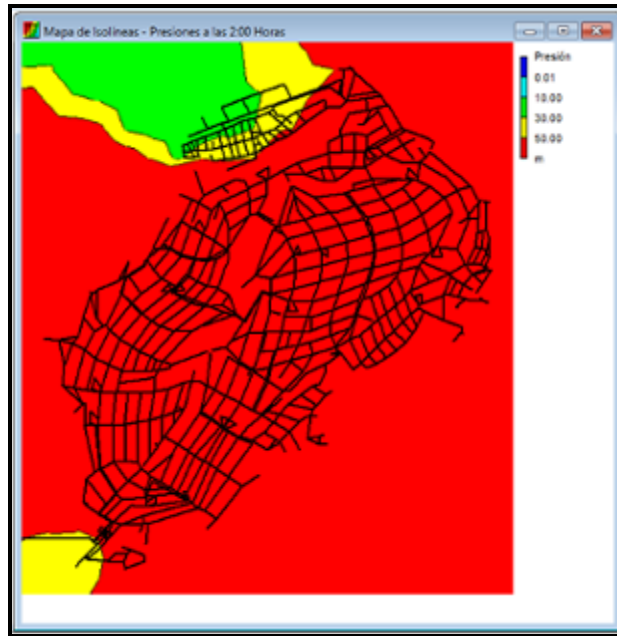


Figura 3. 27. Presiones a las 2:00 a.m. sin control.

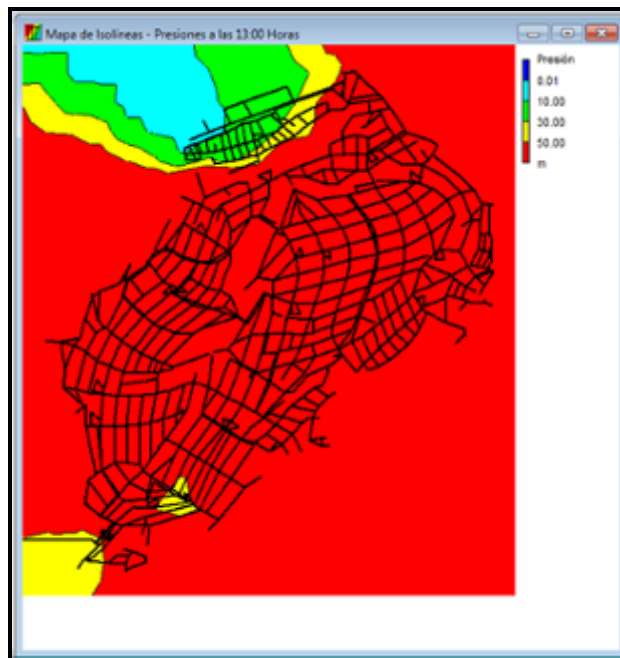


Figura 3. 28. Presiones a las 13:00 p.m. sin control.

Para mejorar la operatividad del sector se propuso realizar subsectores tanto para el control de consumos, como de presiones y con esto mejorar las condiciones de operación de la red de distribución. A continuación en la figura 3.29, se presenta el patrón de demandas del Sector Lomas MHO-31.

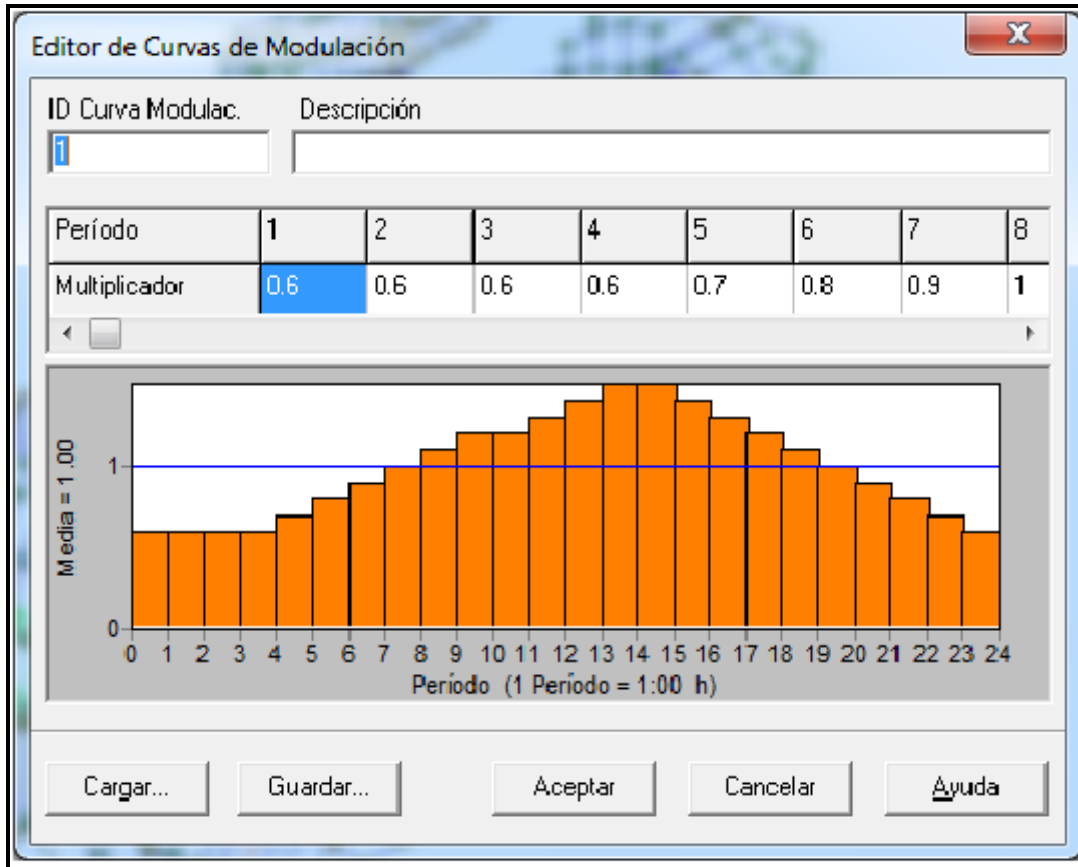


Figura 3. 29. Patrón de Demandas.

De acuerdo a lo anterior, se propusieron válvulas reguladoras de presión, para controlar las altas presiones y evitar con esto la ruptura de las tuberías, así como el incremento de fugas, considerando estas válvulas después de aprobar la división del sector en los subsectores Reforma, Palmas, Vertientes y Sierra Breña, citados al inicio del presente capítulo, a continuación, se procedió a analizar los diferentes escenarios del sistema de distribución de agua potable con las válvulas reguladoras de presión en operación, y para diferentes horas del día, arrojando los siguientes resultados, los cuales se pueden ver en las figuras 3.30, 3.31 y 3.32, en las que aparecen las presiones para las 2:00, 7:00 de la mañana y para las 13 horas del día.

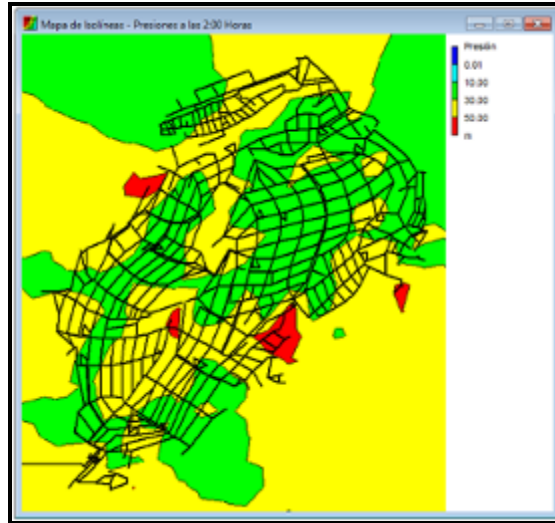


Figura 3. 30. Presiones a las 2:00 a.m. con control.

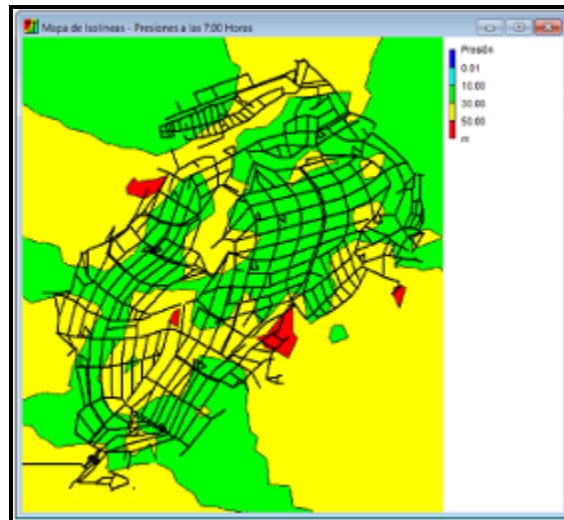


Figura 3. 31. Presiones a las 7:00 p.m. con control

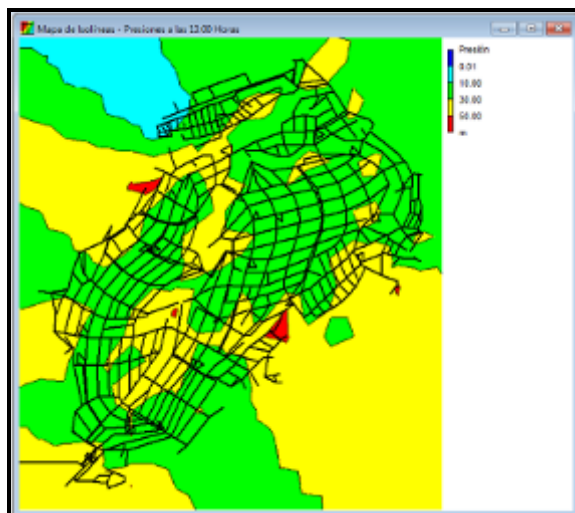


Figura 3. 32.Presiones a las 13:00 p.m. con control.

Como se puede apreciar en las tres figuras anteriores, las condiciones de operación del sector, mejoraron de manera importante, es decir, disminuyeron las presiones anteriores (con válvulas abiertas), superiores a los 5 kg/cm² y únicamente aparecen presiones entre 10 y 40 m.c.a., presentándose únicamente pequeñas áreas con algunos problemas de presión.

En las mismas figuras se observa que son realmente pequeñas las zonas con presiones mayores a 5 kg/cm², en las figuras se observa que la mayor parte de la zona tiene una presión entre 1 y 3 kg/cm², otra pequeña franja al centro de la zona de estudio tiene una presión que va de 3 a 5 kg/cm².

En la figura 3.33 se puede apreciar la zona de estudio georreferenciada, con la red de distribución ya calibrada, mediante el programa EPANET.



Figura 3. 33. Zona de estudio calibrada y georreferenciada.

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN RECUPERADO EN EL SECTOR MHO-31

Como resultado de la calibración de la red de distribución en la delegación Miguel Hidalgo y en particular del sector MHO-31, el volumen total recuperado durante un día es de 14,262.01 m³ y el gasto medio diario es de 165.07 l/s, como puede verse en la tabla 3.4, junto con la gráfica de la figura 3.34, donde aparecen las curvas con los volúmenes recuperados y analizados con las válvulas abiertas y cerradas.

Finalmente la sectorización de las redes de distribución de agua potable es realmente recomendable, considerando los resultados anteriores, además de considerar el porcentaje de fugas, cuyo resumen se puede ver en la tabla 3.5.

Tabla 3. 4. Volumen total recuperado en un día (m³)

Válvulas abiertas		Válvulas funcionando			Volumen en una hora
Evolución temporal - Línea 905		Evolución temporal - Línea 905			
Instante	Caudal	Instante	Caudal	Diferencias	
En horas	LPS	En horas	LPS		
00:00	173.46	00:00	49.24	124.22	447.19
01:00	173.46	01:00	49.24	124.22	447.19
02:00	173.46	02:00	49.24	124.22	447.19
03:00	173.46	03:00	49.24	124.22	447.19
04:00	188.25	04:00	54.93	133.32	479.95
05:00	202.98	05:00	60.63	142.35	512.46
06:00	217.66	06:00	66.32	151.34	544.82
07:00	232.28	07:00	72	160.28	577.01
08:00	246.84	08:00	77.68	169.16	608.98
09:00	261.34	09:00	83.35	177.99	640.76
10:00	261.34	10:00	83.47	177.87	640.33
11:00	275.78	11:00	89.33	186.45	671.22
12:00	290.15	12:00	95.18	194.97	701.89
13:00	304.46	13:00	101.02	203.44	732.38
14:00	304.46	14:00	101.02	203.44	732.38
15:00	290.15	15:00	95.18	194.97	701.89
16:00	275.78	16:00	89.33	186.45	671.22
17:00	261.34	17:00	83.47	177.87	640.33
18:00	246.84	18:00	77.68	169.16	608.98
19:00	232.28	19:00	72	160.28	577.01
20:00	217.66	20:00	66.32	151.34	544.82
21:00	202.98	21:00	60.63	142.35	512.46
22:00	188.25	22:00	54.93	133.32	479.95
23:00	173.46	23:00	49.24	124.22	447.19
24:00:00	173.46	24:00:00	49.24	124.22	447.19
PROMEDIO	229.6632	PROMEDIO	71.1964	VOLUMEN TOTAL EN UN DIA (m³)	14262.01
PORCENTAJE	72%	PORCENTAJE	232%	GASTO MEDIO DIARIO (l/s)	165.07

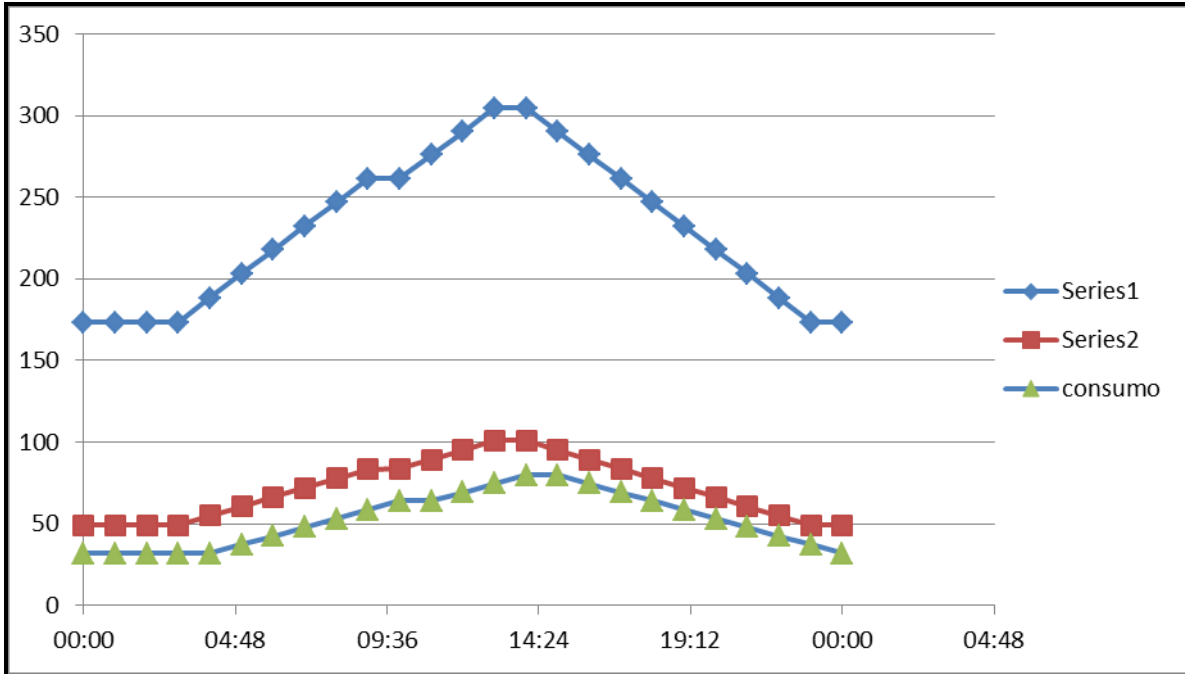


Figura 3. 34. Volumen total recuperado en un día y determinación del porcentaje de fugas.

Tabla 3. 5. Volumen recuperado y porcentaje relacionado con las fugas.

	Antes de regular la presión	Después de regular la presión
Demanda	229.66 l/s	71.20 l/s
Consumo	53.19 l/s	53.19 l/s
Fugas	176.47 l/s	18.01 l/s
	76.8 %	25.3 %

3.8 Selección de las Válvulas Reductoras de Presión (VRP).

En esta parte del trabajo se realizan las revisiones de los diámetros de cada una de las válvulas para los casos de gasto mínimo y gasto máximo. Para la selección de las válvulas reguladoras de presión, se utilizó el programa de la empresa BERMAD, el cual se encuentra disponible en su respectiva pagina web (www.bermad.com).

Condiciones hidráulicas y revisión del diámetro en la VRP número 851, para gasto mínimo de 17.32 l/s (23 hrs), las cuales se muestran en la figura 3.35.

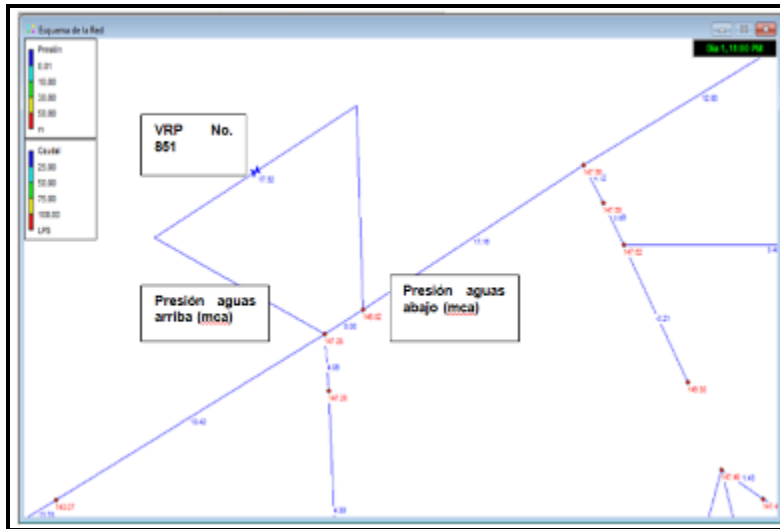


Figura 3. 35. Condiciones hidráulicas de la VRP 851 para gasto mínimo.

En las figuras 3.36y 3.37, se muestran las características hidráulicas de la VRP No. 851, como resultado de la aplicación del programa de BERMAD para gasto mínimo.



Figura 3. 36. Datos hidráulicos para la selección de la VRP No.851 para gasto mínimo.

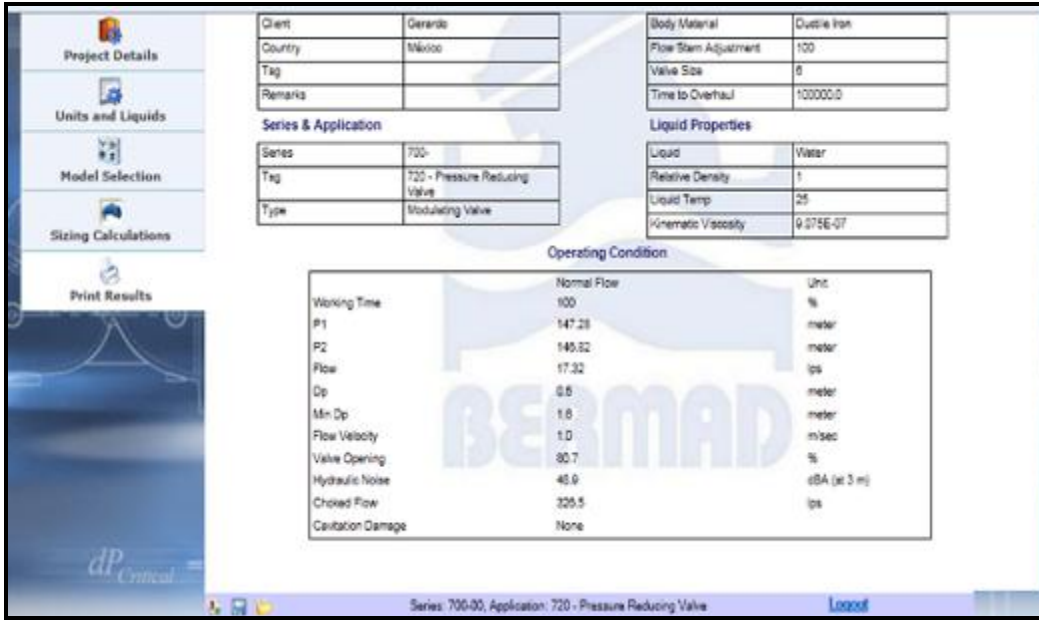


Figura 3. 37.Datos hidráulicos de la VRP 851 para gasto mínimo.

Condiciones hidráulicas y revisión del diámetro en la VRP número 851, para gasto máximo de 28.66 l/s (13 hrs), las cuales se muestran en la figura 3.38.

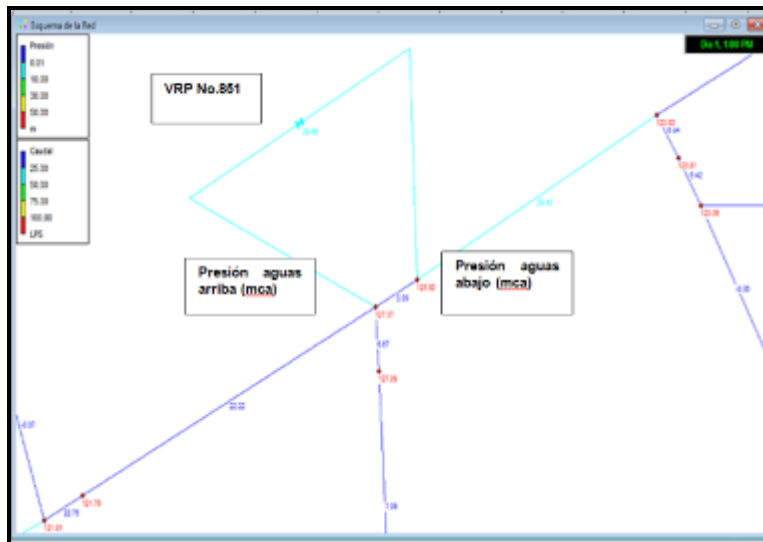


Figura 3. 38.Condiciones hidráulicas de la VRP 851 para gasto máximo.

En las figuras 3.39y 3.40, se muestran las características hidráulicas de la VRP No. 851, como resultado de la aplicación del programa de BERMAD para gasto máximo.



Figura 3. 39. Datos hidráulicos para la selección de la VRP No.851 para gasto máximo.

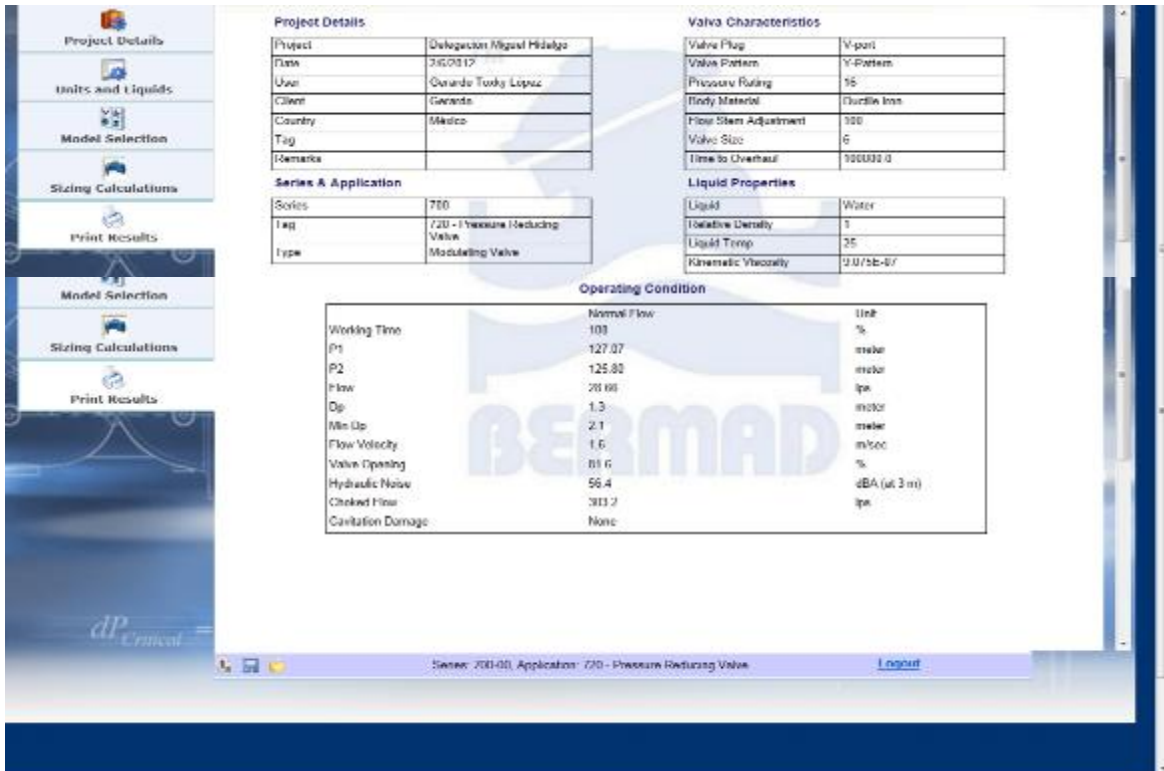


Figura 3. 40. Datos hidráulicos de la VRP 851 para gasto máximo.

Condiciones hidráulicas y revisión del diámetro en la VRP número 386, para gasto mínimo de 3.84 l/s (2hrs), las cuales se muestran en la figura 3.41.

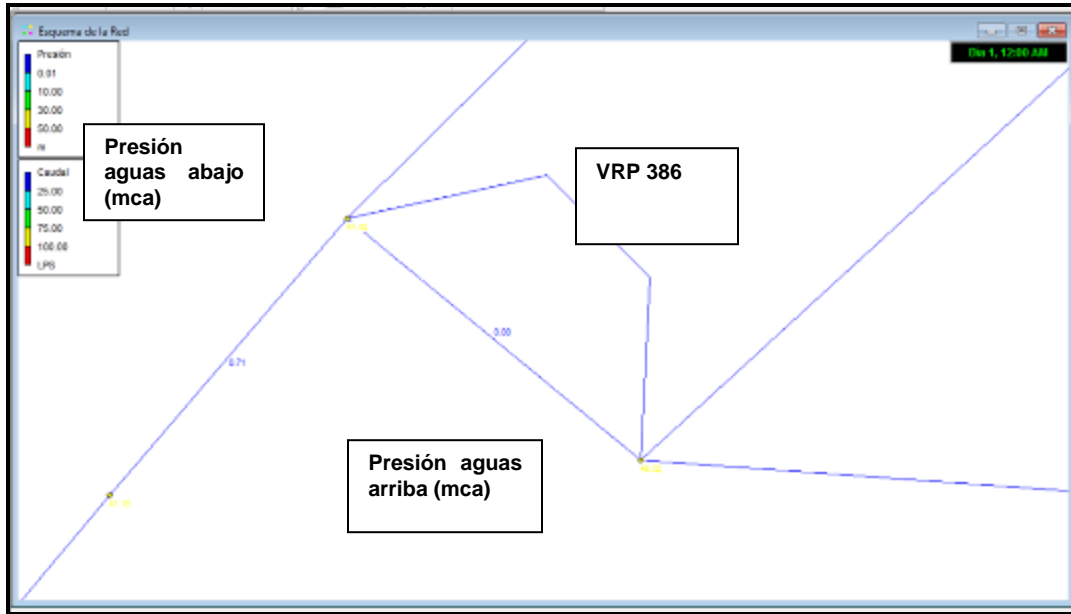


Figura 3. 41. Condiciones hidráulicas de la VRP 386 para gasto mínimo.

En las figuras 3.42 y 3.43, se muestran las características hidráulicas de la VRP No. 851, como resultado de la aplicación del programa de BERMAD para gasto mínimo.



Figura 3. 42. Datos hidráulicos para la selección de la VRP No.386 para gasto mínimo.

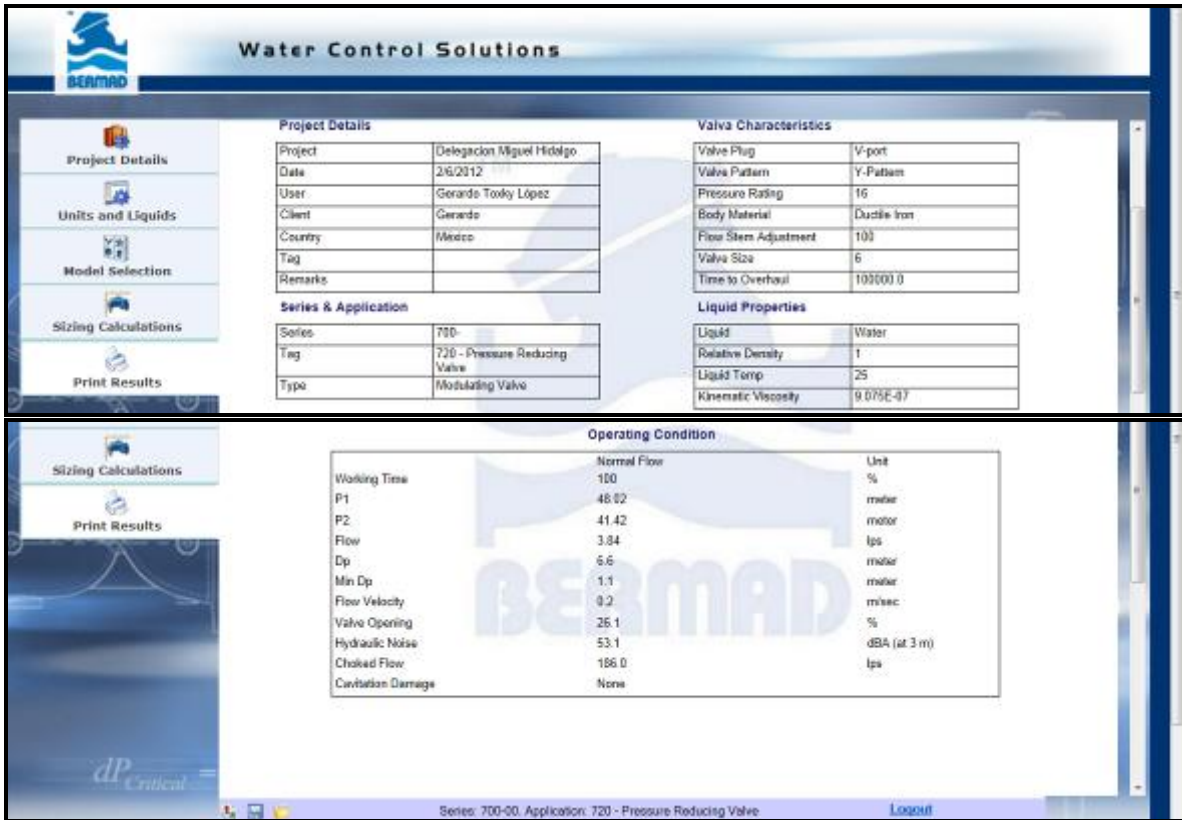


Figura 3. 43. Datos hidráulicos de la VRP 386 para gasto mínimo.

Condiciones hidráulicas y revisión del diámetro en la VRP número386, para gasto máximo de 7.23 l/s (14hrs), las cuales se muestran en la figura 3.44.

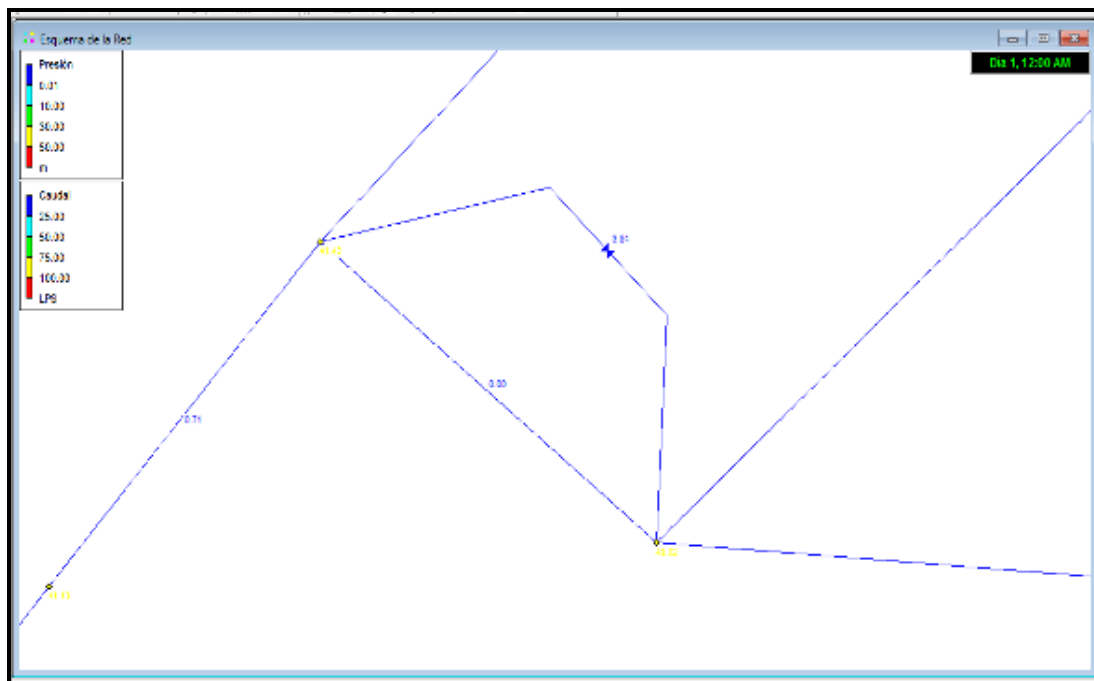


Figura 3. 44. Condiciones hidráulicas de la VRP 386 para gasto máximo.

En las figuras 3.45 y 3.46, se muestran las características hidráulicas de la VRP No. 386, como resultado de la aplicación del programa de BERMAD para gasto máximo.

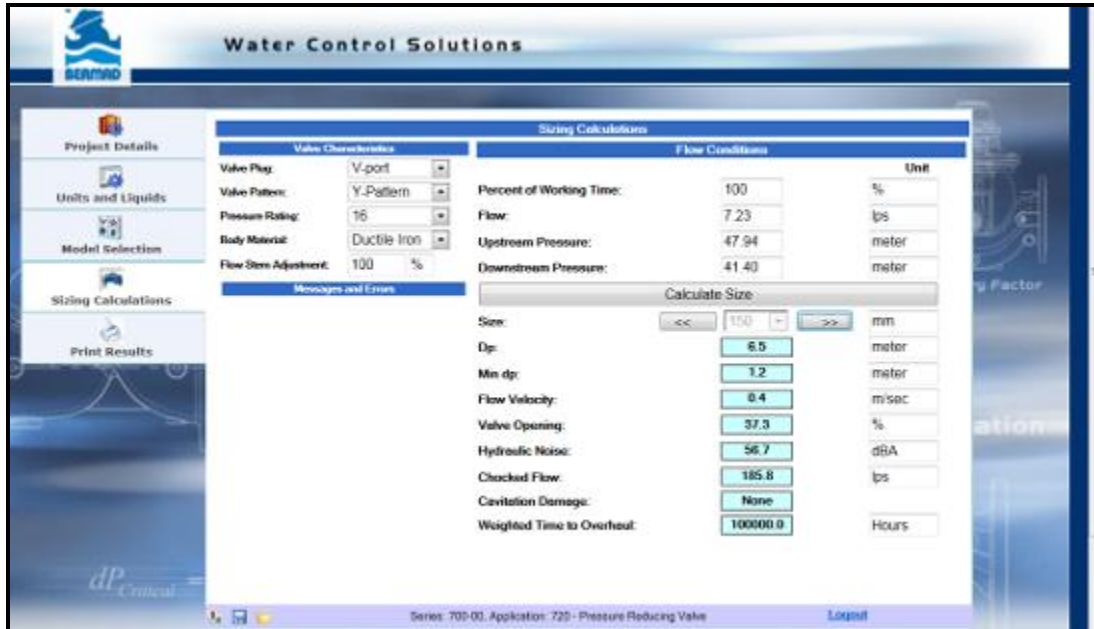


Figura 3. 45.Datos hidráulicos para la selección de la VRP No.386 para gasto máximo.

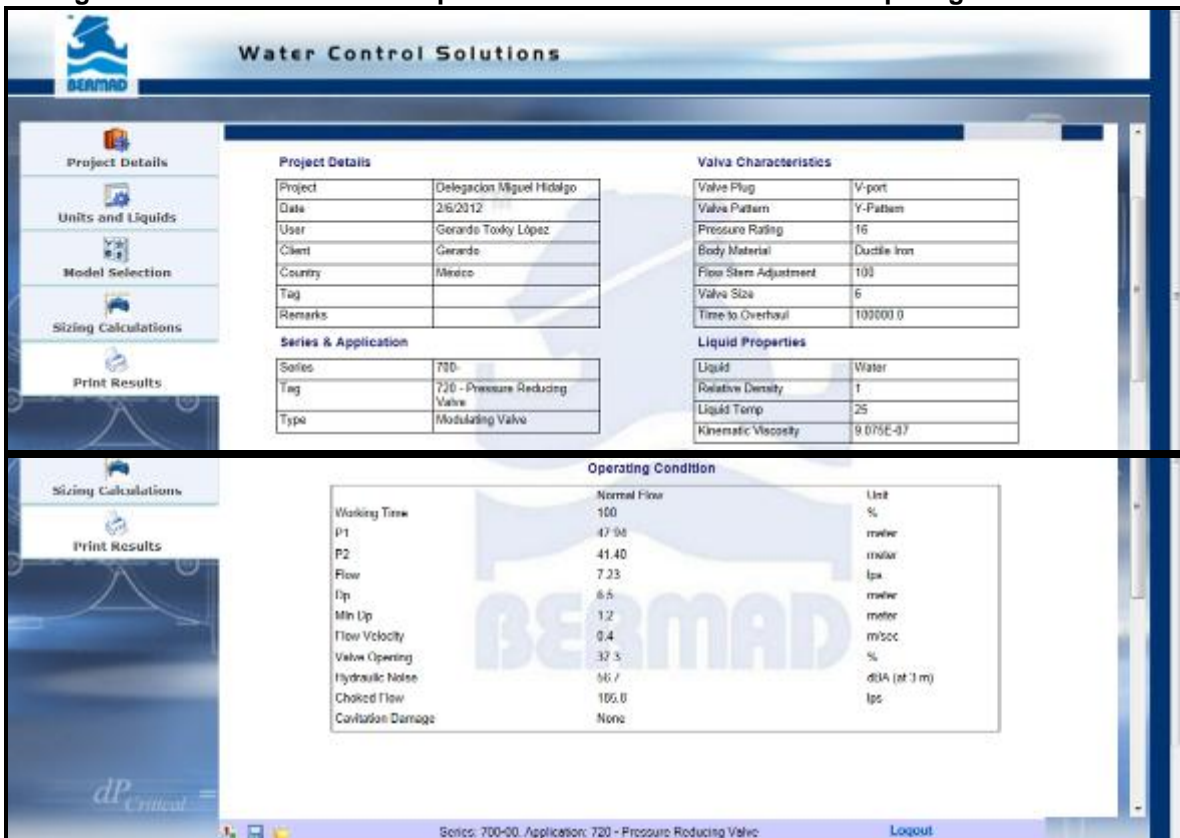


Figura 3. 46. Datos hidráulicos de la VRP 386 para gasto máximo.

Para llevar a cabo la división del sector Lomas MHO-31, en subsectores fue necesario realizar la rehabilitación de los siguientes tramos, los cuales se pueden ver en la tabla 3.6, en número de válvulas de seccionamiento pueden verse en la tabla 3.7 y las válvulas reguladoras de presión en la tabla 3.8.

Tabla 3. 6. Tubería Rehabilitada.

Tramos Rehabilitados			
No.	Ubicación	Diámetro	Longitud (8m)
1	Monte Líbano	254mm (10")	406
2	Monte Antuco	254mm (10")	395
3	Av. de los Alpes	254mm (10")	176
4	Sierra Grande y Paseo de la Reforma	305mm (12")	443
5	Sierra Grande y Paseo de la Reforma	150mm (6")	233
Total de tubería rehabilitada			1420

Fuente: SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO (SACM), Informe final de Sectorización, SACM, México, 2009.

Tabla 3. 7. Válvulas de seccionamiento.

Válvulas de seccionamiento		
100mm (4")	150mm (6")	305mm (12")
8 piezas	7 piezas	2 piezas

Fuente: SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO (SACM), Informe final de Sectorización, SACM, México, 2009.

Tabla 3. 8. Válvulas reguladoras de presión (VRP).

No.	Ubicación	PRESIÓN AGUAS ARRIBA (kg/cm ²)	PRESIÓN AGUAS ABAJO (kg/cm ²)
1	Manómetros (Tres sitios)	4.50	1.50
2	Av. Palmas y Sierra Tarahumara	3.80	1.50
3	Av. Palmas y Monte Antuco	2.10	1.50
4	Av. Palmas y Monte Tabor	5.25	1.50
5	Av. Reforma y Sierra de la Breña	5.30	1.50
6	Av. Reforma y Montañas Rocallosas	2.10	1.50
7	Av. Reforma y Monte Blanco	2.85	1.50
8	Av. Reforma y Monte Altai	5.70	1.50
9	Av. Palmas y Sierra Gorda	4.70	1.50
10	Av. Explanada e Himalaya	2.90	1.50
11	Corregidores y B. de Gálvez	2.70	1.50
12	Escandinavos y Prado Sur	3.10	1.50
13	Prado Norte	1.95	1.50

Fuente: SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO (SACM), Informe final de Sectorización, SACM, México, 2009.

IV CONSTRUCCIÓN DEL SECTOR

4.1 Construcción de Sitios de Medición del Sector Lomas

Se construyeron en esta zona cuatro sitios de Medición, los cuales se mencionan a continuación.

En este Sector, la zona denominada de los manómetros (Figura 4.1), se tienen 4 sitios de medición, los cuales derivan hacia el Subsector Vertientes a través de una tubería de 150mm(6") Ø, al Subsector Palmas con una tubería de 305mm (12") Ø, Subsector Reforma también de 305mm (12")Ø, al Subsector Sierra Breña con tubería de 100mm (4")Ø para la parte poniente de este sector.

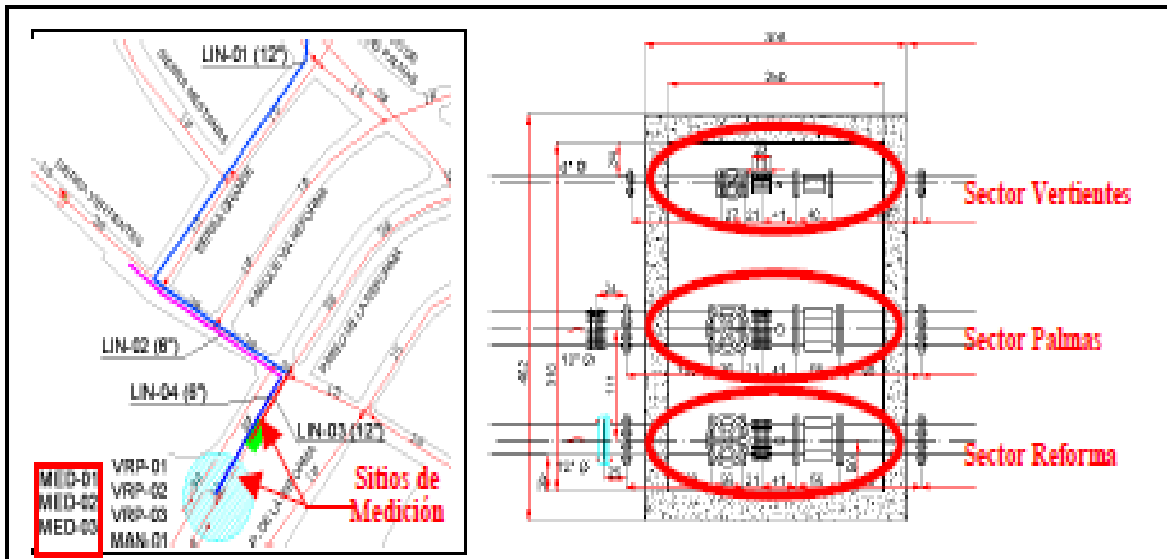


Figura 4. 1. Sitios de Medición en la zona de Manómetros

En la figura 4.2, se muestran los trabajos de construcción de la caja que alojara tres de las cuatro líneas, una de 150mm (6") Ø y dos de 305mm (12") Ø, cada uno con su respectivo sitio de medición, en la zona denominada **Manómetros**.



Figura 4. 2. Construcción de caja de Medición en la zona de Manómetros

Una vez terminada la caja de medición, se realizó la instalación de la fontanería y de los medidores de flujo correspondientes de 150mm (6") \varnothing y dos de 305mm (12") \varnothing , como lo muestra la figura 4.3.



Figura 4. 3. Tren de piezas en la caja de Medición, Sector Lomas

Una vez terminada la fontanería, se realizó el armado y colado en situ de las losas tapa, como puede verse en la figura 4.4.



Figura 4. 4. Armado de losa tapa para la caja de medición

Por otro lado en avenida Paseo de las Palmas, se construyó otro sitio de medición, el cual se localiza en la esquina con Sierra Vertientes, la ubicación se aprecia en la figura 4.5.

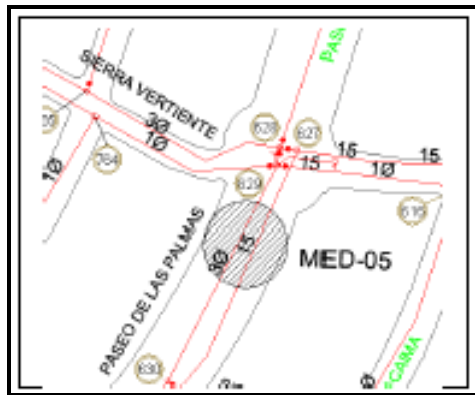


Figura 4. 5. Sitio de Medición entre Av. Palmas y Sierra Vertientes

En la imagen (A) de la Figura 4.6 se muestra el inicio de la excavación para la construcción del sitio de medición de 254mm (10")Ø, mientras que en la imagen (B) se aprecia la caja de medición ya construida, faltando solamente la construcción de la losa tapa.



Figura 4. 6.Excavación y caja terminada para el sitio de Medición en Av. Palmas

Una vez terminada la caja, se procedió a realizar la instalación del tren de piezas especiales y medidor de 254mm (10")Ø, como se muestra en la figura 4.7.



Figura 4. 7. Tren de Piezas Especiales y Medidor en el cruce de av. Paseo de las Palmas y Sierra Vertientes.

4.2 Construcción de los sitios de regulación del Sector Lomas MHO-31

De acuerdo a la topografía del lugar, se construyeron 15 sitios reguladores de presión, la distribución como puede verse en la figura 4.8, estos sitios se construyeron en diámetros de 100mm(4")Ø, 150mm (6)Ø y 305mm (12")Ø.



Figura 4. 8. Distribución de Válvulas Reguladoras de Presión.

Por cuestiones de espacio en el sitio denominado los manómetros se construyó una caja especial, para las líneas de alimentación de los Subsectores Vertientes (6"Ø), Palmas (12"Ø) y Reforma (12"Ø), que conforman en conjunto el Sector Lomas MHO-31, ver figura 4.9.

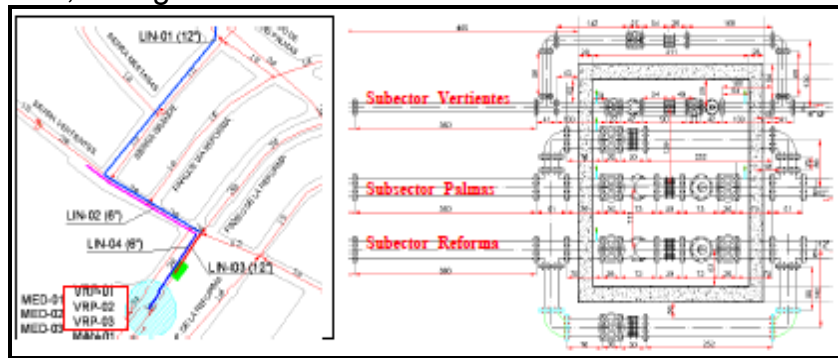


Figura 4. 9. Arreglo Hidráulico en el punto de Control en el Sitio Manómetros

Una de las actividades preliminares de trabajo en la zona de los manómetros, para la construcción del sitio de regulación correspondiente a los tres subsectores es la excavación de la caja, como puede verse en la figura 4.10.



Figura 4. 10. Excavación para la zona de Control en el sitio Manómetros

Terminado los trabajos de excavación de la caja, se realizó la construcción de los muros de la caja de regulación (ver figura 4.11), iniciando conjuntamente con los trabajos de fontanería, de los trenes de piezas especiales.



Figura 4. 11. Construcción de caja y trabajos de fontanería de Piezas Especiales en el sitio de Regulación en la zona de Manómetros

En la Figura 4.12, se muestra la instalación de las válvulas reguladoras de presión (VRP), así como la regulación de esta a 1.50 kg/cm² aguas abajo, para cada una de las válvulas instaladas, para los subsectores Vertientes, Palmas y Reforma.



Figura 4. 12.Instalación de VRP, en el sitio de Regulación Manómetros.

En la figura 4.13 se aprecia una perspectiva en 3D con la ubicación de los quince sitios de control que conforman el Sector Lomas MHO-31.

Dentro del subsector Palmas sobre la línea de alimentación de 305mm(12")Ø se construyó el sitio de control VRP-04,entre av. de Las Palmas entre Sierra Tarahumara y Monte Líbano, como se muestra en la figura 4.14.

En el sitio de regulación identificado como VRP-04, sobre Av. Paseo de las Palmas entre Sierra Tarahumara y Monte Líbano, Figura 4.15, se observan trabajos de excavación y retiro de material producto de la excavación

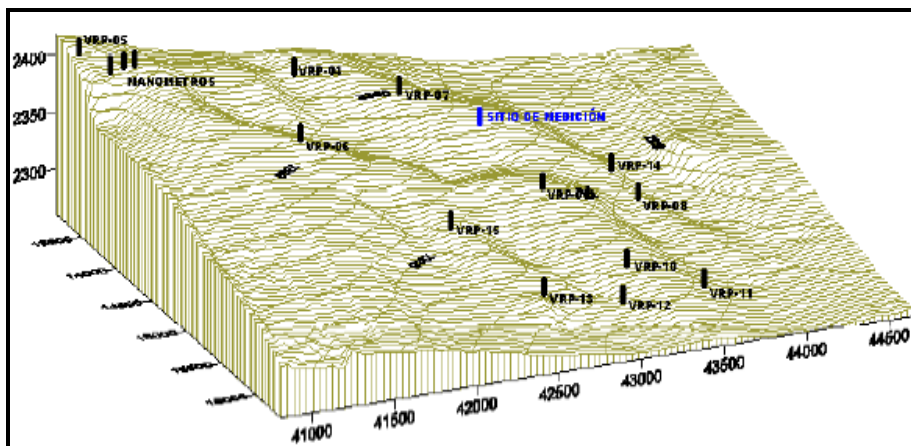


Figura 4. 13. Ubicación de los Sitios de Control en el Sector Lomas MHO-31

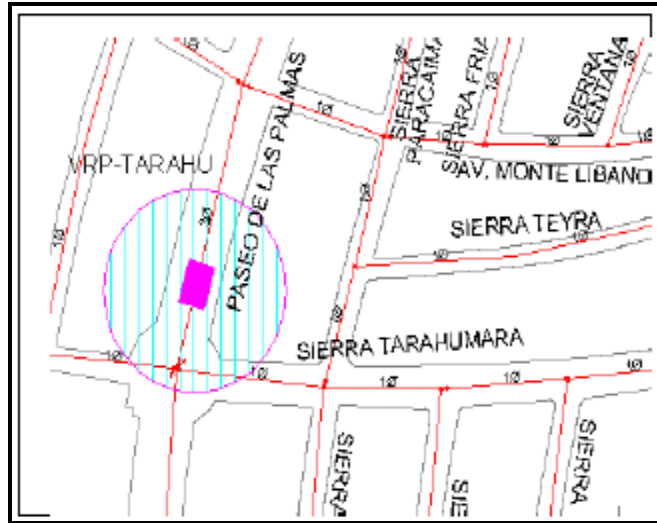


Figura 4. 14.Ubicación de VRP-04, Av. Palmas Entre Sierra Tarahumara y Monte Líbano.



Figura 4. 15. Retiro de material producto de la excavación para alojar la caja de la VRP-04.

En la figura 4.16 se aprecia el colado de la losa de fondo de la caja VRP-04 y el habilitado del acero para los castillos.



Figura 4. 16. Colado de losa de fondo de la VRP-04.

El sistema constructivo, para la construcción de los muros perimetrales de la caja que alojara la VRP de 305mm(12") Ø, se muestra en la Figura 4.17.



Figura 4. 17. Construcción de muros de la caja de VRP-04.

La caja terminada y lista para la instalación del tren de piezas especiales de 305mm(12") Ø se muestra en la figura 4.18.



Figura 4. 18. Caja que aloja la VRP de 305mm (12") Ø.

La instalación del arreglo hidráulico y de la válvula reguladora de presión, así como las maniobras y trabajos en la instalación del tren de piezas especiales de la VRP-04 se muestra en la Figura 4.19.



Figura 4. 19. Trabajos y maniobras para la instalación del tren de piezas de la VRP-04

En la Figura4.20, se muestra la terminación del arreglo hidráulico y la instalación de la válvula reguladora de presión de 305mm(12")Ø en el sitio de control de Av. Paseo de las Palmas entre Sierra Tarahumara y Monte Líbano.



Figura 4. 20.Tren de piezas especiales de la VRP-04

Para evitar posibles movimientos en el arreglo hidráulico del VRP, se construyeron los atraques de concreto en los cambios de dirección correspondientes, en el tren de piezas especiales, como puede verse en la figura 4.21.



Figura 4. 21. Atracos de concreto en el arreglo hidráulico de la VRP-04.

Al término de los trabajos de fontanería y albañilería en el sitio de control del la VRP-04, se efectuó el respectivo relleno y compactación de la excavación realizada (figura 4.22), donde se aloja la instalación del By Pass alrededor de la caja, y finalmente se colocó la losa tapa.



Figura 4. 22. Relleno y colocación de losa tapa de la VRP-04

Durante la construcción y ejecución de los trabajos en general dentro del Sector Lomas MHO-31, se realizaron cortes al suministro del servicio de agua potable y cierres parciales en los cruces y vialidades, donde se realizaron adecuaciones a la infraestructura hidráulica, por lo que por medio de mantas informativas (figura 4.23) en puntos perfectamente visibles y estratégicos se mantuvo informada a la población afectada de estos trabajos para que tomara sus precauciones y estuvieran informados.



Figura 4. 23.Mantas informativas en el sector MHO-31

4.2.1 Interconexiones en el Sector MHO-31.

Dentro del subsector Reforma se realizó la interconexión, la cual es la entrada a dos subsectores, independientes, esta interconexión es de la línea de 305mm (12") Φ con reducción a 100mm (4") Φ de cada lado, y se ubica en Av. De la Reforma y Montes Auvèrnia, como se muestra en la figura 4.24.

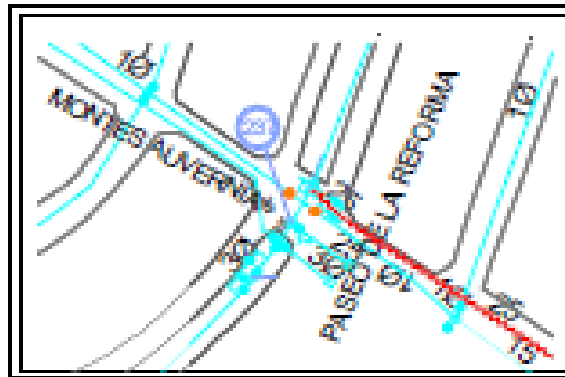


Figura 4. 24.Interconexión de tuberías en Av. Reforma y Montes Auvèrnia.

En este lugar, se construyó una caja para tener acceso y control de las válvulas de seccionamiento de dos subsectores, del subsector Reforma correspondientes a esta interconexión, la cual corresponde a un arreglo hidráulico de 305mm x 100mm(12" X 4") \emptyset . La Figura 4.25 muestra parte del proceso constructivo de la caja y el arreglo hidráulico de interconexión.



Figura 4. 25. Construcción de la caja y arreglo hidráulico de interconexión.

En la figura 4.26, se muestra el proceso constructivo de la losa tapa de la caja de interconexión.



Figura 4. 26. Construcción y colado de losa tapa del sitio de interconexión.

4.2.2 Cancelaciones de Cruceros en el Sector MHO-31

En los trabajos de sectorización de la red de distribución de agua potable se realizaron cancelaciones de cruceros (figura 4.27), mediante la instalación de comales o tapas ciegas (Figura 4.28) de acuerdo a los espacios para maniobrar dentro de las cajas de válvulas existentes en la zona, esto con la finalidad de aislar los subsectores y así garantizar su hermeticidad.

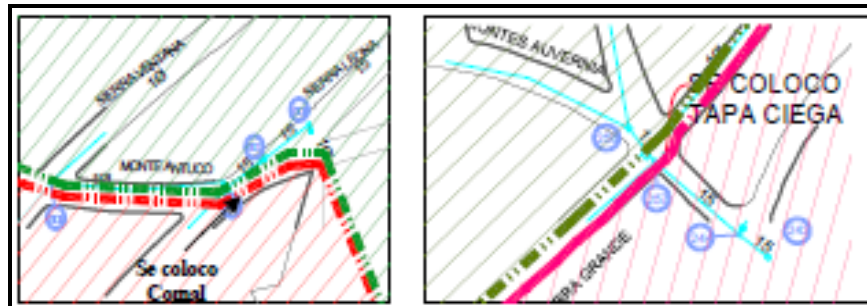


Figura 4. 27. Cruceros donde se instalaron tapas ciegas para aislar sectores.



Figura 4. 28.Colocación de tapas ciegas en cajas de crueros.

Como parte de la cancelación de los crueros, fue necesario realizar calas fuera de las cajas de válvulas, con la finalidad de encontrar una junta gibault o la localización de la tubería, y así poder seccionar el cruceo, como puede verse en la figura 4.29.



Figura 4. 29.Calas de verificación para localización de tubería en crueros.

Algunos de los trabajos que se realizaron en las cajas para operación de válvulas fueron limpieza, desazolve o achique (figura 4.30), ya que en muchos casos, las cajas se encontraron con agua y bastante sedimento, por lo que se limpiaron, para poder trabajar.



Figura 4. 30.Limpieza de cajas para operación de válvulas.

Otros de los trabajos preliminares para efectos de tener condiciones óptimas de espacio y maniobrabilidad, fueron la realización de ventanas o demolición de muros, como puede verse en la figura 4.31, en el interior de las cajas de válvulas, con el fin de instalar carretes de fo.fo. y así poder hacer la cancelación y colocación del comal o tapa ciega.



Figura 4. 31.Demolición de muros para instalación de tapa ciega.

Los trabajos relativos a las cancelaciones de tuberías, en los cruceros, no se concluían el mismo día por lo que era necesario colocar señalización (figura 4.32), en cada frente hasta que se concluyeran los trabajos de rellenos, para evitar accidentes de tránsito o con la gente que circunda la zona de afectación.



Figura 4. 32. Señalización en cruces, en el Sector Lomas.

En la figura 4.33, se muestra la cancelación en un cruce, en el cual dependiendo del funcionamiento del cruce básicamente se retira y/o corta la tubería existente para después colocar un carrete de medida variable y éste conectarlo a la tubería existente mediante una junta de tolerancia AVK; para posteriormente colocar un comal y una vez terminado esto, se procede a la reparación del muro, se rellena con tepetate la cala que se realizó y se asfalta el cruce.



Figura 4. 33. Cancelación de tubería con comal.

Dentro de los trabajos iniciales en las rehabilitaciones, la figura 4.34, muestra la ubicación del sitio, y en la figura 4.35 puede verse donde se realizaron los trabajos de excavación y demolición de asfaltos referente a estas cancelaciones en el sector Lomas.



Figura 4. 34. Rehabilitación a la entrada del Sector Lomas



Figura 4. 35. Ruptura de pavimentos para la instalación de tuberías.

La tubería para las rehabilitaciones fue de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) RD17, (ver Figura 4.36), en 305mm (12") \varnothing y 150mm (6") \varnothing . Se realizaron las termofusiones de los tramos de tubería para realizar la división de los subsectores, como se muestra en la figura 4.37, y posteriormente se programaron con personal de Operación y la supervisión Interna del SACM, las pruebas hidrostáticas para la aprobación de la tubería antes de colocarla.



Figura 4. 36. Tuberíade polietileno RD17 para separar los subsectores



Figura 4. 37. Termofusión de la tubería de polietileno RD 17

Otra actividad importante realizada en el Sector Lomas fue la efectuada conjuntamente con personal de Operación, la Delegación y la Supervisión Interna del SACM, se supervisaron las pruebas hidrostáticas en las tuberías (ver figura 4.38), cabe mencionar que las pruebas tuvieron el tiempo especificado para que fueran aprobadas y avaladas por parte del personal antes mencionado.



Figura 4. 38. Pruebas Hidrostáticas

Una vez aprobadas y avaladas las pruebas hidrostáticas de la tubería de PEAD, se procedió a colocar la tubería en las excavaciones como se observa en la figura

4.39, y posteriormente se iniciaron los rellenos de las zanjas con tepetate y su correspondiente compactación. La figura antes citada, muestra parte de estas actividades.



Figura 4. 39. Colocación de la tubería y relleno de las zanjas.

Finalmente se programó la realización del asfaltado de las vialidades en los tramos donde se realizó la instalación de tuberías, como se muestra en la figura 4.40.



Figura 4. 40. Colocación de asfalto en vialidades, donde se instalaron tuberías

4.3 PUESTA EN MARCHA DEL SECTOR MHO-31

Una vez concluidos los trabajos de construcción de los sitios, tanto de medición como de control, así como de las cancelaciones en los Sectores Palmas y Reforma, se proceden a realizar pruebas en los subsectores para verificar su funcionamiento.

4.3.1 Instrumentación de los sitios de medición.

Dentro de los trabajos que se realizaron para la instrumentación en los sitios de medición, se colocaron los gabinetes y los postes, para la telemetría como se muestra en la figura 4.41, cabe mencionar que en el sitio los manómetros se instaló el gabinete y se realizó la conexión del medidor con la unidad primo (display), una vez terminado de construir el sitio de medición, con la finalidad de tener información del gasto de entrada al Sector Lomas.



Figura 4. 41. Construcción de bases para gabinetes y postes de medición.

Una vez concluidas las bases, se colocaron los gabinetes en los sitios de medición, para posteriormente colocar el equipo de medición (display) dentro de ellos y así realizar las conexiones con los postes para la acometida eléctrica correspondiente, lo cual se puede ver en la figura 4.42.



Figura 4. 42. Colocación de gabinetes y equipo de medición en el Sector Lomas

Por otro lado se realiza la instalación del sistema de tierras (ver figura 4.43) en los sitios de medición, para protección de los equipos, ya que estos equipos son sensibles y requieren de protección por cualquier posible descarga eléctrica que se presente.



Figura 4. 43. Habilitado del sistema de tierras en el sitio de medición del Sector Lomas

Una vez colocados los gabinetes y realizadas las canalizaciones respectivas, se instalaron los postes (figura 4.44), se colocó la acometida eléctrica correspondiente y conexión de los equipos de medición para la transmisión de datos.



Figura 4. 44.Colocación de postes en el sitio de medición del Sector Lomas.

Ya colocados e instalados todos los instrumentos correspondientes en los sitio de medición se realizaron las pruebas preliminares de funcionamiento de los equipos, para medir los gastos de entrada a los tres subsectores de los que se forma el Sector Lomas. La figura 4.45, muestra una de las lecturas que nos proporciona el equipo de medición instalado en los sitios de medición.



Figura 4. 45.Vista de un medidor de gasto.

4.3.2 CALIBRACION DE LOS SITIOS DE REGULACION.

Con la medición de los gastos a la entrada de los Subsectores, se procedió a la calibración en los sitios de control construidos dentro del Sector Lomas, como ya se anotó. En la caja del sitio los manómetros se cuenta con tres sitios de control, los cuales se calibraron aguas abajo con una presión de 1.50 kg/cm² ya que esta es la presión de proyecto para el mejor funcionamiento de los subsectores.

En latabla4.1 se muestran las presiones existentes en los sitios de control antes y después de su respectiva calibración, cabe mencionar que todas las válvulas

reguladoras de presión se calibraron con una presión de proyecto de 1.50 kg/cm² aguas abajo.

Tabla 4. 1. Ubicación de las VRP en el Sector Lomas MHO-31.

No.	UBICACIÓN	PRESIÓN AGUAS ARRIBA (KG/CM2)	PRESIÓN AGUAS ABAJO (KG/CM2)
1	Manómetros (Tres sitios)	4.50	1.50
2	Av. Palmas y Sierra Tarahumara	3.80	1.50
3	Av. Palmas y Monte Antuco	2.10	1.50
4	Av. Palmas y Monte Tabor	5.25	1.50
5	Av. Reforma y Sierra de la Breña	5.30	1.50
6	Av. Reforma y Montañas Rocallosas	2.10	1.50
7	Av. Reforma y Monte Blanco	2.85	1.50
8	Av. Reforma y Monte Altai	5.70	1.50
9	Av. Palmas y Sierra Gorda	4.70	1.50
10	Av. Explanada e Himalaya	2.90	1.50
11	Corregidores y B. de Gálvez	2.70	1.50
12	Escandinavos y Prado Sur	3.10	1.50
13	Prado Norte	1.95	1.50

Fuente: SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO (SACM), **Informe final de Sectorización**, SACM, México, 2009.

Una vez terminadas las cancelaciones y teniendo bien definidos los subsectores dentro del sector Lomas, se realizaron recorridos de trabajo para verificar la hermeticidad y aislamiento de los subsectores. Se verificaron presiones en diferentes puntos de todos los subsectores que conforman el Sector MHO31, para verificar que operaban correctamente. De igual manera se realizó la verificación del gasto de consumo de cada subsector.

V RESULTADOS.

Derivado de los resultados obtenidos en el desarrollo de los trabajos ejecutados en los en los subsectores del Sector Lomas MHO-31, se concluye, lo siguiente:

- 1) Se tiene un mejor control de la red de distribución de agua potable, por medio de la construcción de los subsectores dentro del Sector Lomas MHO-31.
- 2) A través de la aplicación del programa EPANET se simuló la red de Distribución de Agua Potable del Sector MHO-31 Lomas, en la Delegación Miguel Hidalgo, para realizar su calibración, con la finalidad de probar que al aplicar la sectorización, se recupera un volumen importante de agua, así como se reduce el porcentaje de fugas en la red.
- 3) Con la propuesta de los subsectores, en los sitios de medición se tiene un mejor control del gasto que se suministra a los usuarios, en el Sector Lomas.
- 4) Con la construcción de los Sitios de Control, se regulan de mejor manera las presiones en zonas muy altas y que provocaban fugas en la red de distribución.
- 5) Con la ayuda de la sectorización, se tiene la facilidad de detectar y reparar una fuga, y solamente mediante el cierre de una válvula de entrada al subsector, afectando el suministro a una área pequeña, la cual está controlada.
- 6) Con la construcción de los sitios de medición se tiene el conocimiento del caudal de entrada y consumo en el sector y por subsector.
- 7) Con la sectorización se independizaron las fuentes de abastecimiento.
- 8) Se tiene un control operativo del recurso agua.
- 9) Se cuenta con un control administrativo del recurso agua disponible.
- 10) Generación de información del funcionamiento del sistema.
- 11) Con la sectorización se tiene un aprovechamiento de la infraestructura existente.

VI Conclusiones y Recomendaciones.

6.1 Conclusiones

- 1) De acuerdo a los resultados antes presentados, se comprobó la hipótesis de la tesis de partida, que a través de la sectorización de la red de distribución esta se optimiza. En el apartado 3.7 se aplicó el programa EPANET para realizar la simulación hidráulica del sistema y del cual se obtuvieron los siguientes resultados:
 - El volumen recuperado fue de $14,262.01\text{m}^3$, que representa un gasto medio diario de 165.07l/s.
 - El gasto por concepto de fugas antes de regular la presión es de 176.47l/s, que representa un porcentaje de 76.8%.
 - El gasto por concepto de fugas después de regular la presión es de 18.01l/s, que representa un porcentaje de 25.3%.
- 2) Los objetivos planteados al inicio del presente trabajo se cumplieron al lograr un mejor control del gasto suministrado y de las presiones en el sector Lomas, además de abatir de manera importante las pérdidas de agua ocasionadas por las constantes fugas, originadas por los marcados desniveles topográficos en la delegación Miguel Hidalgo, ver tablas 3.4 y 3.5 y figura 3.34.
- 3) En el Sector Lomas MHO-31, se obtuvo un mejor control de la red de distribución de agua potable, por medio de la construcción de subsectores dentro del mismo sector.
- 4) Con la propuesta de los subsectores, en los sitios de medición se tiene un mejor control del gasto que se suministra a los usuarios, en el Sector Lomas.
- 5) Con la propuesta final de sectorización, se obtuvo un diseño adecuado y confiable en su funcionamiento hidráulico.
- 6) Con la sectorización se tiene un mejor control de las fugas, al detectarlas de manera electrónica en tiempo real.

6.2 Recomendaciones

- 1) Se deberán implementar los programas de supervisión y de mantenimiento a los sitios de control y medición instalados en los subsectores, para eficientar su confiabilidad y operatividad en el tiempo.
- 2) De igual manera se deberán implementar programas para verificar que las válvulas en los sitios de control y entradas a los subsectores, no tengan movimientos o variaciones en su apertura para no afectar el funcionamiento del sistema.
- 3) Se deberá tener una buena comunicación con el personal de operación, ya que es la gente autorizada para realizar movimientos en la red, y a su vez tenga un

buen conocimiento del sistema en conjunto para que lo opere de manera correcta y eficaz.

- 4) Que el personal del Sistema de Aguas de la Ciudad de México tenga el conocimiento de los trabajos de mantenimiento que se realicen en la red por parte de la Delegación.
- 5) Se deben detectar y reparar las fugas.
- 6) Se deberán disminuir y eliminar los tandeos.
- 7) Se recomienda que cuando se cuente con más registros de los datos del sector, se realice nuevamente la simulación para verificar los resultados obtenidos en el presente trabajo.
- 8) Se recomienda como una línea de investigación, el tema referente a los diferentes tipos de válvulas, como son: válvulas de seccionamiento, válvulas reguladoras de presión (VRP), válvulas check, etcétera, así como su funcionamiento y selección.

BIBLIOGRAFÍA

1. CAPELLA VIZCAÍNO, A., **Control de presiones y reducción de fugas en el sector Sta. Lucía 1, D.F.**, informe de resultados alcanzados, México, 2002.
2. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, **Estadísticas del Agua en México**, SEMARNAT-CONAGUA, México, AÑO.
3. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, **Planeación de Acciones de Incremento y Control de la Eficiencia en Sistemas de Agua Potable**, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana, Unidad de Agua Potable y Saneamiento, Gerencia de Estudios y Proyectos. SEMARNAT-CONAGUA, México, 2008.
4. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, **Sectorización en Redes de Agua Potable**, SEMARNAT-CONAGUA, México, 2007.
5. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, **Sistema Cutzamala**, SEMARNAT-CONAGUA, México, 2001.
6. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, **Sistema Hidrológico del Valle de México**, SEMARNAT-CONAGUA, México.
7. DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL SECRETARIA GENERAL DE OBRAS, DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA, **Memoria Programa de uso Eficiente del Agua**, Departamento del Distrito Federal Secretaria General de Obras, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, México.
8. DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, **Memoria del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal**. Tomo II Departamento del Distrito Federal, México, 1975.
9. DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, SECRETARIA GENERAL DE OBRAS, DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA, **Plan de Acciones Hidráulicas**, Delegación Miguel Hidalgo Departamento del Distrito Federal, Secretaria General de Obras, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, México, 2001-2005.
10. Ecoportal. Net: **“Escasez de agua: ¿se avecina una crisis?”2004.**
11. INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM, **Estudio de la problemática de las acciones de reducción de fugas en las redes de agua potable y propuesta para mejorar su eficiencia**, Convenio de colaboración CNA-SGIHU,-GEP-001/2006, proyecto 5125, México, 2005.
12. Julian Thornton, Reinhard Sturm, George Kunkel, P.E. **Water Loss Control**, Second Edition, Editorial Mc. Graw Hill. 2008, 2002.
13. MATEOS DE VICENTE MANUEL, **Válvulas Reductoras de Presión, Clasificación, Descripción, Errores y Soluciones**, Editorial BELLISCO, Colección Obras Hidráulicas. España, 2000.
14. PLANEACIÓN, SISTEMAS Y CONTROL S.A. DE C.V., **Trabajos de campo para la recopilación de información y encuestas para la cuantificación de caudales perdidos en las redes de agua potable del Distrito Federal**. Departamento del Distrito Federal, Secretaría de Obras y Servicios, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, México, 1996.
15. ROSSMAN, LEWIS A., **EPANET 2 Manual de Usuario, Versión 2.0 vE**, U.S. Environmental Protection Agency EPA-GMF, traducción del Grupo

- multidisciplinar de modelación de fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia, USA, 2002.
16. SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO (SACM), **Informe final de Sectorización**, SACM, México, 2009.
 17. VACA BADILLO, ISAAC, **Investigación y Posgrado de la Ingeniería Hidráulica en México, Propuesta de Temas de Investigación e Indicadores**, Tesis de grado, IPN Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, México, 2004.
 18. [http://info@agualatinoamerica.com](mailto:info@agualatinoamerica.com)
 19. <http://waterportal@unesco.org>
 20. <http://www.mgar.net/var/aquada.htm>
 21. www.cna.gob.mx
 22. www.sacm.df.gob.mx
 23. www.bermad.com

ANEXOS

Anexo A. Simulación Hidráulica del Sector con el programa EPANET.

Calibración del Sector.

A continuación se hace una breve descripción de las principales características del Programa.

Programa Epanet

Epanet es un programa que realiza simulaciones en períodos estáticos extendidos del comportamiento hidráulico en redes de tuberías a presión. La red puede estar constituida por tuberías, nudos, bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. El programa permite seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías; la evolución de la presión en los nudos de demanda; y la del nivel del agua en los depósitos durante un período determinado de simulación.

Una característica distintiva del programa es la coordinación entre la modelación del comportamiento hidráulico de la red y de la calidad del agua. El programa se ha concebido para obtener simultáneamente la solución de ambos problemas. Sin embargo como alternativa, se puede emplear únicamente la parte hidráulica y almacenar los resultados en un archivo, o utilizar un archivo hidráulico previamente almacenado para llevar a cabo una simulación de la calidad del agua.

El programa ha sido escrito en lenguaje C y hace uso de la localización dinámica de memoria. En consecuencia el único límite del tamaño de la red es la memoria disponible en la máquina utilizada. Este programa puede ser utilizado en computadoras compatibles a IBM corriendo bajo DOS, este programa contiene dos módulos que son los siguientes; el primero es un simulador de redes que opera bajo DOS, el cual recibe los datos de entrada de un archivo y escribe los resultados en otro archivo. El usuario debe de utilizar un programa externo para editar los datos. El segundo programa es un módulo que se puede trabajar en Microsoft, el cual permite editar el archivo de entrada, y por consiguiente permite mostrar gráficamente los resultados en una gran variedad de formatos sobre el esquema de la red, en este caso se utilizará el segundo módulo del programa pues es una ayuda esencial para asimilar los resultados proporcionados por el programa.

Con el programa Epanet se determina:

- El caudal que circula por cada una de las conducciones.
- La presión en cada uno de los nudos.
- El nivel del agua en cada tanque.

- La concentración de diferentes componentes químicos a través de la red.
- El tiempo de permanencia del agua en las tuberías.

Algunas de las aplicaciones del programa Epanet.

- El diseño de programas de muestreo.
- La calibración de modelos hidráulicos.
- Análisis del cloro residual.
- Valoración de riesgo de contaminación de los consumidores.

Interpretación de los componentes de la red.

Se interpreta a una red de distribución de agua potable como el conjunto de líneas conectadas entre sí por sus extremos a los que llamaremos nudos. Los sistemas codificados en un archivo pueden ser de varios tipos, tales como, redes de hidráulicas alimentadas por bombas y reguladas en su funcionamiento por diferentes tipos de válvulas. Mientras que los nudos, los cuales constituyen el punto de unión de la tuberías, pueden ser de las siguientes características; puntos de consumo de agua (nudos de demanda), puntos de entrada de agua (nudos de suministro) y puntos de localización de depósitos y embalses (nudos de almacenamiento).

Una de las características del programa es que se puede proporcionar datos y a la vez los resultados en diferentes unidades por ejemplo, el caudal puede ser dado en pies cúbicos por segundo (cfs), galones por minuto (gpm), millones de galones por día (mgd), litros por segundo (lps), metros cúbicos por segundo (m³/s), etc., proporcionando esto grandes ventajas a los usuarios del programa.

Con respecto a las tuberías tenemos lo siguiente; las tuberías transportan agua de un punto a otro, la dirección del flujo es del extremo de mayor altura piezométrica que es la carga de posición, presión y velocidad, al extremo de menor altura. Por otra parte las pérdidas de carga por fricción asociadas con el gasto de paso puede expresarse de modo general, como $hL = aq^b$, donde hL representa la pérdida de carga expresada en pies, q es el gasto en pies cúbicos por segundo (cfs), a es un coeficiente de resistencia y b es un exponente del caudal. La ecuación anterior puede ser empleada en tres diferentes formas por el programa, por ejemplo puede ser utilizada en la fórmula de Hazen-Williams, en la ecuación de Darcy-Weisbach, o en la expresión de Chezy-Manning.

La fórmula de Hazen-Williams es la ecuación para el cálculo de pérdidas más utilizada en los sistemas de distribución. Mientras que la ecuación de Darcy-Weisbach es la más utilizada en flujos laminar y otros fluidos distintos del agua, finalmente la expresión de Chezy-Manning es empleada usualmente para el flujo de canales abiertos, como puede verse en la tabla 1.

En la tabla 1, se muestran los coeficientes de resistencia, exponente de caudal y en la 2, se indican los coeficientes de rugosidad en tuberías para las tres ecuaciones que maneja el programa, estos datos son de gran ayuda para la codificación de los armados, cabe mencionar que los diferentes coeficientes fueron determinados empíricamente.

Anexos tabla 1. Fórmulas para determinar pérdidas.

FÓRMULA	COEFICIENTE DE RESISTENCIA(A)	EXPONENTE CAUDAL (B)
Hazen-Williams	$4.72 C^{-1.85} d^{-4.87} L$	1.85
Darcy-Weisbach	$0.0252f(e,d,q)d^{-5}L$	2
Chezy-Manning (tubería llena)	$4.66 n^2 d^{-5.33} L$	2

Anexos tabla 2. Coeficientes de rugosidad para tubería nueva.

MATERIAL	HAZEN-WILLIAMS C, (ADIMENSIONAL)	DARCY-WEISBACH E, (MILÉSIMAS DE FT)	MANNING N, (ADIMENSIONAL)
Fierro fundido	130-140	0.85	0.012-0.015
Concreto o Concreto revestido	120-140	1.0-10	0.012-0.017
Fierro galvanizado	120	0.5	0.015-0.017
Plástico	140-150	0.005	0.011-0.015
Acero	140-150	0.15	0.015-0.017
Vitrocerámica	110		0.013-0.015

Las tuberías pueden incorporar válvulas de retención que restrinjan el sentido del flujo en una dirección, estas válvulas pueden estar abiertas o cerradas en el momento inicial cuando el nivel de un depósito descienda o sobrepase un determinado valor, o cuando la presión en un nudo pasa por encima o por debajo de un valor determinado.

En los tramos se puede colocar una bomba, la cual es un dispositivo para elevar la presión del agua, en el programa se deben dar los datos de la curva característica que es la relación que determina la alturaal fluido en función del caudal que pasa por la bomba, este caudal tiene una dirección única y las bombas deben de operar dentro de los límites del caudal y altura impuesta por sus curvas características. Si las características del sistema exigen una altura mayor que la correspondiente a válvula cerrada, el programa intentará parar la bomba y emitirá un mensaje de advertencia, para poder modificar la curva de la bomba.

- Representaciones diferentes de las curvas de las bombas
- Curvas de 1 punto de tres puntos y de varios puntos
- Inclusión de la curva de rendimientos
- Inclusión de la curva característica

Otra de las funciones de gran utilidad en el programa corresponden a los diferentes tipos de válvulas, las que pueden ser empleadas en el programa son las siguientes:

- Válvulas reductoras de presión.
- Válvulas sostenedoras de presión.
- Válvulas de ruptura de carga.
- Válvulas controladoras de gasto.
- Válvulas reguladoras por estrangulación.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de las válvulas.

Las válvulas reductoras de presión limitan la presión en su extremo aguas abajo para que no exceda de un valor determinado, siempre y cuando la presión aguas arriba sea superior a ésta. Si la presión aguas arriba es inferior a la de consigna, entonces la válvula permite el paso del caudal sin restricciones, por otra parte si la presión aguas abajo resulta superior a la presión de aguas arriba, entonces la válvula cierra para impedir el flujo inverso.

Las válvulas sostenedoras de presión tratan de mantener una presión mínima determinada aguas arriba, siempre y cuando la presión aguas abajo sea menor, si la presión aguas abajo fuera superior a la designada, entonces la válvula abre el paso al flujo sin restricciones, por otra parte si la presión aguas abajo fuera superior a la de aguas arriba, entonces la válvula cierra para impedir el flujo inverso.

Las válvulas de rotura de carga obligan a la caída de presión en la válvula al pasar el flujo a través de ella hasta llegar a un valor designado, en estas válvulas se puede presentar flujo en ambos sentidos.

Por otra parte las válvulas controladoras de gasto limitan el caudal a través de la válvula a un valor designado previamente, el programa emite un mensaje de advertencia si el caudal no puede alcanzar el valor fijado anteriormente sin aporte de presión aguas arriba de la válvula. Finalmente las válvulas reguladoras por estrangulación simulan una válvula parcialmente cerrada, ajustando adecuadamente el valor del coeficiente de pérdidas menores. Usualmente los fabricantes proporcionan la relación entre el grado de cierre de la válvula y el coeficiente de pérdidas resultante.

Dentro de los parámetros que se deben de alimentar al programa están las pérdidas locales, éstas pueden interpretarse como debidas al incremento de la turbulencia que se produce en los cambios de dirección, uniones, controladores y válvulas. La importancia de estas pérdidas depende de la importancia de la red. Las pérdidas se pueden calcular con la ecuación 1 de la siguiente manera.

$$h_L = \frac{0.0252kq^2}{d^4} \quad (1)$$

donde:

h_L= son las pérdidas locales.

k =el coeficiente de pérdidas menores.

q= el gasto de paso en pies cúbicos por segundo.

d =es el diámetro en pies.

En la tabla 3, se proporcionan coeficientes de pérdida (k) para diferentes tipos de accesorios.

Por otra parte todos los nudos poseen una cota determinada, la cual se debe tener en cuenta para el cálculo de las elevaciones piezométricas, para los nudos que son depósitos, embalses y constituyen un tipo especial de nudo en los que existen una superficie libre del agua, este nivel varía y dependerá de la cantidad de agua que sale o entra en ello

En resumen se necesitan los siguientes datos para poder construir un archivo de entrada y poder realizar las simulaciones que uno desee. Antes de ejecutar el programa es necesario verificar y realizar las siguientes operaciones.

Anexos tabla 3. Coeficientes de pérdidas para accesorios más comunes.

ACCESORIOS	COEFICIENTE DE PERDIDAS (κ)
Válvula de globo, totalmente abierta	10.0
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5.0
Válvula de retención, abierta	2.5
Válvula de compuerta, totalmente abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo a 45°	0.4
Codo cerrado con inversión del flujo	2.2
Té estándar - dirección de paso	0.6
Té estándar – dirección desvío	1.8
Entrada recta	0.5
Salida brusca	1.0

- Identificar todos los componentes de la red y sus conexiones. Los componentes de la red consisten en tuberías, bombas, válvulas, depósitos de almacenamiento y embalses. Por “nudo” se entiende la unión a través de la cual se conectan unos componentes de la red con otros. Al componente

(tubería, bomba o válvula) que conecta cualquier par de nudos entre sí se le denomina "línea".

- Asignar un único identificativo ID a todos los nudos, estos serán numéricos.
- Asignar un único identificativo ID a cada línea (tubería, bomba o válvula), está permitido repetir un mismo identificativo para una línea y un nudo.
- Contar con la información sobre los siguientes parámetros del sistema:

Diámetro, longitud, rugosidad y coeficiente de pérdidas menores para cada tubería.

- a) Curva característica en el rango de operación de cada bomba.
- b) Diámetro, coeficiente de pérdidas menores y presión o caudal para cada válvula de control.
- c) Diámetro y niveles máximos y mínimos para cada depósito.
- d) Leyes de control que determinan cómo el estado de las bombas, válvulas y tuberías se modifican con el tiempo, con los niveles en depósitos o con la presión en un nudo.
- e) Modulación de la demanda en cada nudo, a lo largo del período de simulación.
- f) Parámetros de calidad iniciales del agua en todos los nudos y evolución de los mismos con el tiempo en los puntos de entrada.

En resumen el Programa Epanet:

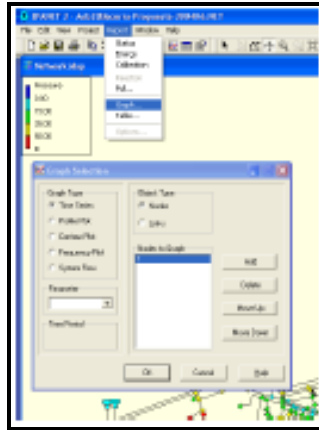
- Es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tubería a presión.
- No existe límites en el tamaño de la red que se desea analizar.
- Calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning.
- Incluyen pérdidas menores en elementos como codos, acoplamientos, etc.
- Modela bombas funcionando tanto a velocidad de giro constante como a velocidades de giro variables.

- Modela diferentes tipos de válvulas, incluyendo válvulas de regulación, válvulas de retención, válvulas de seccionamiento, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal.
- Permite el almacenamiento de agua en tanques que presenten cualquier geometría.
- La posibilidad de de establecer diferentes categorías de consumo en los nudos, cada una de ellas con su propia curva de modelación.
- Permite utilizar controles de tiempo o sistemas de regulación más complejos mediante consignas.
- Modelación del tiempo de permanencia del agua en la red (edad del agua).
- Capacidades de estudio de fenómenos de calidad, mezclado de aguas de diferentes fuentes, tiempo de permanencia del agua en el sistema, disminución del cloro residual.
- Modelación de tuberías, introducción datos, inclusión de pérdidas menores.
- Modelación de nudos de consumo, demandas constantes, categorías de demanda y patrones de consumo, descripción y funcionamiento de los emisores.
- Válvulas, explicación del funcionamiento de cada válvula y sus datos necesarios, siglas de representación de las válvulas en Epanet.
- Bombas, representaciones diferentes de las curvas de las bombas, curvas características, de 1 de 3 puntos, inclusión de la curva de rendimiento, inclusión de la curva característica.
- Modelación de depósitos, características de embalses y depósitos.

Análisis Hidráulico.

Visualización de Resultados.

Los resultados se pueden presentar a partir de informes organizados de dos formas; en Tablas y Gráficos. En los gráficos se encuentran curva de evolución temporal, perfil longitudinal, mapas de contorno (isolíneas), gráfica de frecuencia (estadísticas), Balance de caudales (ecuación de continuidad ver fig.1).



Anexos figura 1. Tablas y gráficos.

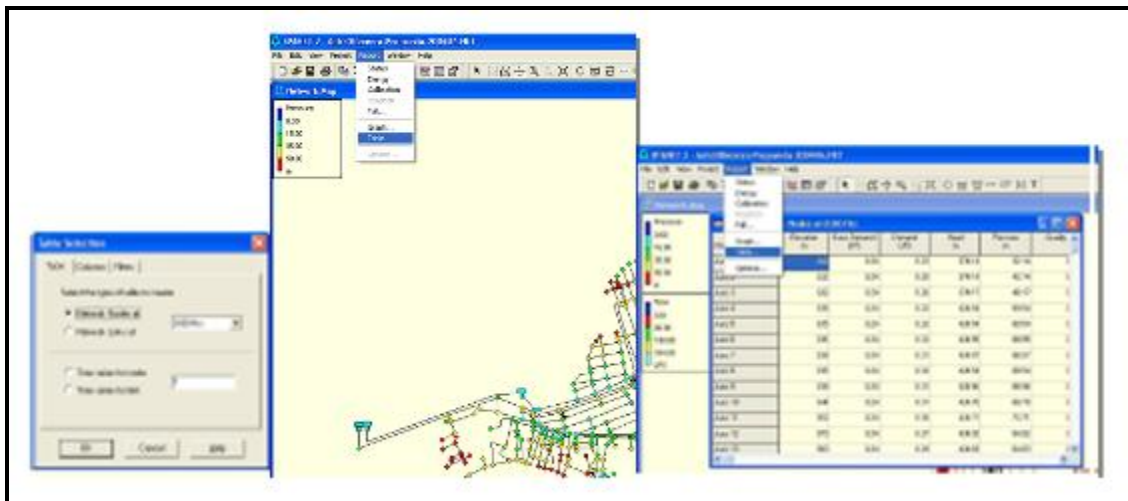
Tipos de tablas.

Clasificadas por sus variables. No se incluirá la variación con el tiempo, es necesario precisar la hora.

Clasificadas por elemento. Presentan en forma de tabla la evolución temporal de las variables elegidas en la pestaña “columna para todos los objetivos seleccionados.

En ambos casos se admiten filtros basados en los resultados y presenta sólo las líneas cuyo caudal sea mayor de 10 l/s.

Permite copiar y pegar en programas externos, como Excel, como puede verse en la figura 2.



Anexos figura 2. Visualización de redes y tablas.

Las Preferencias Generales del Programa, se enlistan en la tabla 4.

Anexos tabla 4. Preferencias Generales del Programa.

PREFERENCIA	DESCRIPCIÓN
Fuente en Negrita	Cambia el formato de todas las fuentes de texto a negrita
Marca de selección Intermitente	Determina que el nudo, línea o etiqueta seleccionado en el plano parpadee o no.
Mostrar etiquetas Flotantes	Muestra las etiquetas ID y el valor del parámetro actual sólo cuando el ratón se posiciona sobre un nudo o etiqueta en el plano de red.
Confirmar borrado	Aparecerá un mensaje de confirmación antes de borrar cualquier objeto.
Copia de Seguridad Automática	Guarda copia de seguridad de cualquier nuevo proyecto abierto bajo la extensión de *.bak
Directorio Temporal	Nombre del directorio (o carpeta) donde EPANET guarda sus archivos temporales

▪ **Preferencias de Formato**

- Controla el número de decimales con los que se presentan los resultados numéricos.
- Seleccionar uno de los parámetros de nudos o líneas y especificar el número de decimales, como se muestra en la figura 3.

▪ **Parámetros a Seleccionar**

• **Nudos:**

- Demanda
- Altura
- Presión
- Calidad

• **Líneas:**

- Caudal
- Velocidad
- Pérdida Unitaria
- Factor de fricción
- Velocidad de reacción
- Calidad

- La precisión de los cálculos es independiente del formato de presentación.

- El formato de datos debe seleccionarse conjuntamente con las unidades empleadas.



Anexos figura 3. Selección de nudos o líneas.

- **Edita las propiedades predeterminadas de un proyecto.**
- Etiquetas de identificación (ID) predeterminadas.

Estas etiquetas se emplean para la numeración e identificación automática de líneas y nudos cuando se crean por primera vez.

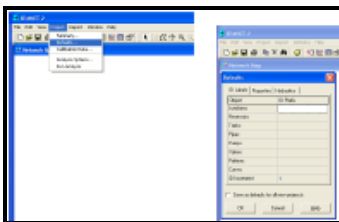
- Propiedades predeterminadas de nudos y líneas tales como: cota del nudo, longitud, diámetro y rugosidad por defecto de las tuberías.
- Opciones de análisis hidráulico predeterminadas tales como el sistema de unidades, la ecuación de pérdidas empleada, etc.

▪ **VALORES POR DEFECTO DEL PROYECTO**

▪ ETIQUETAS DE IDENTIFICACIÓN.

- Especifica la asignación automática de identidad de los componentes de la red al crearse por primera vez ver figura 4.
- Puede introducirse un prefijo diferente para cada tipo de elemento o bien dejar en campo blanco si se desea utilizar únicamente el número.
- También puede definirse un incremento numérico de las etiquetas de identificación de los elementos.
- Ejemplo: Si se emplea una J como prefijo de conexiones (nudos) y un incremento de 5, entonces las conexiones que se creen serán bautizadas (identificadas): J5, J10, J15 y así sucesivamente.
- La numeración automática tan solo distingue entre nudos y líneas.

- Ejemplo: Con un prefijo B para bombas y un prefijo T para tuberías, si se crea la tubería 1 (T1) y después se crea la bomba ésta será identificada automáticamente como B2.



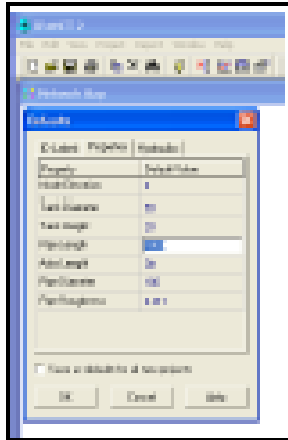
Anexos figura 4. Valores por defecto.

▪ PROPIEDADES DE NUDOS Y LÍNEAS

- Conjunto de los valores predeterminados de las propiedades de nuevos nudos y líneas que se crean ver figura 5.
- Cotas de los nudos.
- Diámetro de los depósitos.
- Longitud de las tuberías.
- Autodimensionado (calcula automático de la longitud) de las tuberías.
- Diámetro de las tuberías.
- Rugosidad de las tuberías.
- Al activar la propiedad de:

Autodimensionado, la longitud de las tuberías se calculará automáticamente a medida que éstas se retiran o se definen en el plano de la red.

- Cualquier nudo o línea creados con estas propiedades pueden modificarse posteriormente utilizando el editor de propiedades.



Anexos figura 5. Propiedades de nudos y líneas.

- **VALORES POR DEFECTO DEL PROYECTO**

- Opciones Hidráulicas. (i)

Unidades de Caudal.

- Unidad de las demandas en nudos y caudal en líneas.
- La elección de estas unidades implica las unidades del resto de las variables. (Ver apéndice A: Unidades de Medida).

- **Ecuación de pérdidas.**

- Ecuación utilizada para calcular las pérdidas en tuberías.
- Hazen- Williams.
- Darcy- Weisbach.
- Chezy- Manning.
- La elección de la ecuación de pérdidas supone un coeficiente de rugosidad diferente en las tuberías.

- **Peso específico.**

- Densidad relativa del fluido que circula por el sistema respecto de la densidad del agua a 4° C es un parámetro adimensional.

- **Viscosidad relativa.**
- Viscosidad Cinemática relativa del fluido que circula por el sistema respecto de la viscosidad cinemática del agua a 20° C. dicha viscosidad referencia es 10^{-6} m²/s. es un parámetro adimensional.

Interacciones Máximas.

- El máximo número de interacciones realizadas para resolver el sistema de ecuaciones recomendado por defecto es 40.
- **Precisión.**

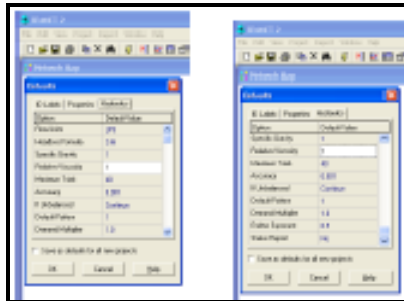
Tolerancia para el criterio de convergencia utilizado, las interacciones terminan cuando la suma de todos los caudales correctores divididos por la

- suma de todos los caudales de línea es menor que este número el valor por defecto es 0.001.

- **VALORES POR DEFECTO DEL PROYECTO (fig. 6).**

- Opciones Hidráulicas. (i)
- Sistema no equilibrado (indeterminación).
- Determina las acciones que es necesario emprender si no se alcanza la solución hidráulica en el número máximo de interacciones definido. Las opciones posibles son:
 - PARAR: detener la simulación en este punto.
 - CONTINUAR: iterar 10 veces más, sin que el estado de la línea cambie, en un intento de lograr la convergencia.
 - Patrón predeterminado.
 - Esta etiqueta de identificación del patón en tiempos que por defecto se asigna a todas conexiones que no tienen un factor de tiempo establecido.
- Factor de demanda.
- Factor general a aplicar a todas las demandas para conseguir aumentar o disminuir todas globalmente.
- Exponente Emisor.

- Representa el exponente de la presión en la ecuación de pérdidas que relaciona la presión en nudo con el caudal que sale a través del emisor. El valor teórico para aspersores y tuberías es 0.5, este exponente puede no ser 0.5 para el caso de representar fugas en el sistema.
- Informe de Estado.
- Elección de la información de estado a reflejar en el informe, las opciones son:
 - ✓ No se genera el informe.
 - ✓ Sí: se genera un informe estándar que contiene la lista de cambios de estado de los elementos a lo largo de la simulación.
 - ✓ Informe Completo: El Informe completo que contiene las mismas opciones que el informe estándar más el detalle de los errores de convergencia que se generan en cada una de las interacciones del análisis hidráulico. Solo se emplea para depurar errores o solucionar problemas.



Anexos figura 6. Valores por defecto del proyecto.

OPCIONES DE VISULIZACIÓN DEL PLANO.

- Seleccionar la opción ver opciones.
- Especificar las opciones de:
 - Nudos.
 - Líneas.
 - Etiquetas.
 - Notación.

- Símbolos.
- Flechas de caudal.
- Fondo.
- ✓ Cambia el color del fondo del plano.

GROSOR DE LAS LÍNEAS.

Tamaño de línea.

- Determina el grosor de las líneas en el plano.
- Selecciona si el grosor de la línea debe incrementarse en función del valor del parámetro representado en la misma mediante el código de colores.

ETIQUETAS DE IDENTIFICACIÓN DE LOS NUDOS Y LÍNEAS.

- Muestra las etiquetas de identificación de los nudos.
- Muestra el valor actual del parámetro de estudio en los nudos.
- Muestra las etiquetas de identificación de las líneas.
- Muestra el valor actual del parámetro de estudio en las líneas.
- Muestra el texto con un fondo transparente.
- Selecciona el zoom mínimo a partir del cual se ven las etiquetas.
- Indicar el tamaño de fuente con el que se representan las etiquetas.

SÍMBOLOS DE LOS DEPOSITOS, BOMBAS Y VÁLVULAS.

- Muestra el símbolo de los depósitos.
- Muestra el símbolo de las bombas.
- Muestra el símbolo de las válvulas.
- Muestra el símbolo de los emisores.
- Muestra el símbolo + para las fuentes de calidad de agua.
- Selecciona el zoom mínimo a partir del cual se ven los símbolos.

DISEÑO DE LAS FLECHAS DE DIRECCIÓN DEL CAUDAL.

- Selecciona el estilo (forma) de la flecha, si se selecciona ninguno se ocultarán.

- Determina el tamaño de flecha.
- Selecciona el zoom mínimo a partir del cuál se ven las flechas, éstas se ocultarán con zoom más pequeño que éste.

ANÁLISIS DINAMICO CON EPANET.

- Curva de modulación ver figura 7.
- Caudal instantáneo y caudal medio.
- Patrones de consumo.

VARIABLES EN LOS ELEMENTOS DE LA RED.

- Estado de las líneas.
- Velocidad de las bombas.
- Consignas en las Válvulas.

MODELACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL.

- Utilización de controles simples en EPANET.
- Utilización de controles programados en EPANET.

CONTROL SIMPLE DE UNA BOMBA. ANÁLISIS DINAMICO CON EPANET.

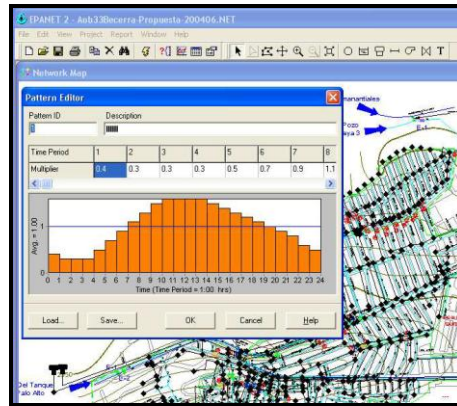
- Duración de la simulación.
- Intervalos de tiempo de cálculo.
- Valores iniciales de aquellas variables que pueden variar a lo largo del tiempo.

Patrones de variación temporal.

- Para las demandas.
- Para los niveles en los embalses.
- Para las velocidades de giro de las bombas.

Parámetros de calidad del agua.

- Velocidades de reacción.
- Concentraciones iniciales.
- Patrón de inyección de desinfectantes y contaminantes.



Anexos figura 7. Curva de modulación.

Desarrollo del modelo matemático de una red en servicio.

Definición del Sistema.

- Diámetros y rugosidades difieren de los valores de diseño (depósitos de sales y cal).
- Desconocimiento de las pérdidas en codos, T, y acometidas.
- Válvulas deterioradas que no cierran perfectamente y/o abren por completo.

Asignación de caudales.

- Desconocimiento de la distribución de consumos en un instante determinado.
- Desconocimiento del valor de y localización de las pérdidas y fugas de caudal.

Medición.

- Medida de la presión:
- En la cota del punto de medida
- En la magnitud a medir por la fluctuación del valor.

- Medida de caudales.

Falta de calibración de los medidores de caudal.

Definición del intervalo de medición.

En resumen, EPANET es una herramienta muy potente, ya que a través de ésta, se realizan simulaciones en período estático, como extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución de agua potable.

Este software, permite seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías, de la presión en los nudos de demanda, del nivel del agua en los depósitos, y de la concentración de cualquier sustancia a través del sistema de distribución durante un período prolongado de simulación. Además de las concentraciones, permite determinar los tiempos de permanencia del agua en la red y su procedencia desde los distintos puntos de alimentación.

En cuanto a Excel, se sabe de antemano que también es un potente software para manejar tablas y base de datos electrónicas de forma eficiente, pudiendo así, establecer en las casillas tanto rangos como fórmulas, de ahí su relación en la aplicación como una herramienta complementaria, en la aplicación de EPANET, lo anterior para el manejo y solución de redes de distribución de agua potable.

Finalmente se puede resumir de manera importante que el objetivo principal de un modelador hidráulico, es decir, el especialista en diseño y análisis de las redes de distribución de agua potable, aplique los recursos que brinda el programa EPANET, y dedique la mayor parte del tiempo en los proyectos de ingeniería y análisis de resultados, y no, que consuma ineficientemente los recursos en actividades como el ingreso de datos, verificación topológica, asignación de demandas, gestión de archivos y preparación de reportes, para hacer más eficientes los tiempos de ejecución de los proyectos de este tipo.

Anexo B. Determinación del porcentaje de fugas en el sector Lomas MHO-31

n=0.10 Estado de los Nudos de la Red a las 7:00 Horas			n=0.02 Estado de los Nudos de la Red a las 6:00 Horas			n=0.025 Estado de los Nudos de la Red a las 7:00 Horas			n=0.012 Estado de los Nudos de la Red a las 7:00 Horas			n=0.0112 Estado de los Nudos de la Red a las 7:00 Horas		
ID Nudo	Demanda Base LPS	Demanda LPS2	ID Nudo	Demanda Base LPS	Demanda LPS2	ID Nudo	Demanda Base LPS	Demanda LPS2	ID Nudo	Demanda Base LPS	Demanda LPS2	ID Nudo	Demanda Base LPS	Demanda LPS2
Nudo 2	0.15	0.59	Nudo 2	0.15	0.25	Nudo 2	0.15	0.36	Nudo 2	0.15	0.26	Nudo 2	0.15	0.26
Nudo 3	0.24	0.68	Nudo 3	0.24	0.33	Nudo 3	0.24	0.45	Nudo 3	0.24	0.35	Nudo 3	0.24	0.35
Nudo 4	0.2	0.67	Nudo 4	0.2	0.3	Nudo 4	0.2	0.42	Nudo 4	0.2	0.31	Nudo 4	0.2	0.31
Nudo 5	0.1	0.62	Nudo 5	0.1	0.21	Nudo 5	0.1	0.32	Nudo 5	0.1	0.22	Nudo 5	0.1	0.21
Nudo 6	0.16	0.68	Nudo 6	0.16	0.26	Nudo 6	0.16	0.38	Nudo 6	0.16	0.28	Nudo 6	0.16	0.27
Nudo 7	0.22	0.73	Nudo 7	0.22	0.32	Nudo 7	0.22	0.44	Nudo 7	0.22	0.34	Nudo 7	0.22	0.33
Nudo 9	0.23	0.75	Nudo 9	0.23	0.33	Nudo 9	0.23	0.46	Nudo 9	0.23	0.35	Nudo 9	0.23	0.34
Nudo 11	0.09	0.6	Nudo 11	0.09	0.2	Nudo 11	0.09	0.32	Nudo 11	0.09	0.21	Nudo 11	0.09	0.2
Nudo 12	0.18	0.74	Nudo 12	0.18	0.28	Nudo 12	0.18	0.41	Nudo 12	0.18	0.3	Nudo 12	0.18	0.29
Nudo 13	0.17	0.77	Nudo 13	0.17	0.28	Nudo 13	0.17	0.41	Nudo 13	0.17	0.29	Nudo 13	0.17	0.29
Nudo 14	0.06	0.66	Nudo 14	0.06	0.18	Nudo 14	0.06	0.3	Nudo 14	0.06	0.18	Nudo 14	0.06	0.18
Nudo 15	0.09	0.73	Nudo 15	0.09	0.21	Nudo 15	0.09	0.33	Nudo 15	0.09	0.22	Nudo 15	0.09	0.21
Nudo 16	0.08	0.75	Nudo 16	0.08	0.2	Nudo 16	0.08	0.33	Nudo 16	0.08	0.21	Nudo 16	0.08	0.2
Nudo 17	0.26	0.9	Nudo 17	0.26	0.36	Nudo 17	0.26	0.5	Nudo 17	0.26	0.39	Nudo 17	0.26	0.38
Nudo 18	0.11	0.78	Nudo 18	0.11	0.23	Nudo 18	0.11	0.36	Nudo 18	0.11	0.24	Nudo 18	0.11	0.23
Nudo 19	0.29	0.87	Nudo 19	0.29	0.38	Nudo 19	0.29	0.53	Nudo 19	0.29	0.41	Nudo 19	0.29	0.4
Nudo 20	0.27	0.78	Nudo 20	0.27	0.36	Nudo 20	0.27	0.5	Nudo 20	0.27	0.39	Nudo 20	0.27	0.38
Nudo 21	0.09	0.57	Nudo 21	0.09	0.2	Nudo 21	0.09	0.31	Nudo 21	0.09	0.21	Nudo 21	0.09	0.2
Nudo 22	0.19	0.87	Nudo 22	0.19	0.3	Nudo 22	0.19	0.44	Nudo 22	0.19	0.32	Nudo 22	0.19	0.31
Nudo 23	0.19	0.64	Nudo 23	0.19	0.29	Nudo 23	0.19	0.4	Nudo 23	0.19	0.3	Nudo 23	0.19	0.3
Nudo 24	0.01	0.44	Nudo 24	0.01	0.12	Nudo 24	0.01	0.22	Nudo 24	0.01	0.12	Nudo 24	0.01	0.12

n=0.10 Estado de los Nudos de la Red a las 7:00 Horas			n=0.02 Estado de los Nudos de la Red a las 6:00 Horas			n=0.025 Estado de los Nudos de la Red a las 7:00 Horas			n=0.012 Estado de los Nudos de la Red a las 7:00 Horas			n=0.0112 Estado de los Nudos de la Red a las 7:00 Horas		
Demanda Base		Demanda	Demanda Base		Demanda	Demanda Base		Demanda	Demanda Base		Demanda	Demanda Base		Demanda
ID Nudo	LPS	LPS2	ID Nudo	LPS	LPS2	ID Nudo	LPS	LPS2	ID Nudo	LPS	LPS2	ID Nudo	LPS	LPS2
Nudo 716	0.212	0.69	Nudo 716	0.212	0.27	Nudo 716	0.212	0.36	Nudo 716	0.212	0.29	Nudo 716	0.212	0.28
Nudo 717	0.212	0.68	Nudo 717	0.212	0.27	Nudo 717	0.212	0.36	Nudo 717	0.212	0.29	Nudo 717	0.212	0.28
Nudo 707	0	0.58	Nudo 707	0	0.15	Nudo 707	0	0.27	Nudo 707	0	0.15	Nudo 707	0	0.14
Nudo 719	0.212	0.71	Nudo 719	0.212	0.27	Nudo 719	0.212	0.36	Nudo 719	0.212	0.29	Nudo 719	0.212	0.28
Embal se624	Sin Valor	-551.64	Embal se624	Sin Valor	-242.83	Embal se624	Sin Valor	-345.76	Embal se624	Sin Valor	-257.04	Embal se624	Sin Valor	-250.78
Embal se718	Sin Valor	-31.49	Embal se718	Sin Valor	-17.63	Embal se718	Sin Valor	-22.7	Embal se718	Sin Valor	-18.99	Embal se718	Sin Valor	-18.73
	169.332	583.24		169.332	260.63		169.332	368.27		169.332	276.35		169.332	269.63

SUM INIS TRO	CON SUM O	PERDI DAS	SUM INIS TRO	CON SUM O	PERDI DAS	SUM INIS TRO	CON SUM O	PERDI DAS	SUM INIS TRO	CON SUM O	PERDI DAS	SUM INIS TRO	CON SUM O	PERDI DAS
583.24	169.332	X	260.63	169.332	X	368.27	169.332	X	276.35	169.332	X	269.63	169.332	X
	P=S-C			P=S-C			P=S-C			P=S-C			P=S-C	
	P=	413.908		P=	91.298		P=	198.938		P=	107.018		P=	100.298
		70.96701186			35.02973564			54.01960518			38.72552922			37.19838297

Anexo C. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Como seres que nos desenvolvemos en un ambiente multidimensional, estamos acostumbrados a pensar con referencia a la dimensión espacial. De esta manera, el arriba, a un lado o enfrente son conceptos que nos acompañan siempre y que comprendemos de inmediato. Ubicar en dónde se encuentra cierta persona o si determinada dirección postal está cerca o lejos, son tareas que hacemos casi sin meditar en las implicaciones de ubicación que llevan consigo.

Las cosas se complican cuando tenemos que revisar un croquis de ubicación en una plaza comercial o en una zona arqueológica; a algunos se nos dificulta encontrar la indicación de “usted está aquí”. Cuántas veces no nos ha pasado que queremos saber en dónde está el norte.

Todo esto viene a colación porque, cómo empezar a hablar del tema de los sistemas de información geográfica (SIG). **Qué son, cómo se estructuran, sus alcances, limitaciones u operación, “por qué existen” y “para qué sirven”.**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), cuyos antecedentes datan de varias décadas atrás (vid. Foresman, 1998), se han posicionado como una tecnología básica, imprescindible y poderosa, para capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y presentar datos espacialmente referenciados. Se trata por tanto de una categoría dentro de los sistemas de información que se especializa en manejar datos espaciales, con las particularidades y requerimientos que ello conlleva.

Es importante insistir que un SIG no es meramente un programa de cartografía por ordenador, ni un software de tipo CAD (Computer-aided design). Aunque hace mapas y tiene ciertas funciones para dibujar, lo específico de un SIG reside en rasgos tales como su capacidad para almacenar grandes masas de información geo-referenciada o su potencia para el análisis de la misma, que le hacen idóneo para abordar problemas de planificación y gestión, es decir, para la toma de decisiones.

La necesidad de información sobre el territorio es una constante histórica. Los fines para los que dicha información puede servir son inagotables, puesto que la persona no puede prescindir jamás de su dimensión espacial, como puede verse en la figura 46. Por tal razón casi ninguna de las actividades humanas puede ser ajena al uso de datos geográficos: de índole económica, política, social, familiar, militar, etc. Y por supuesto, de las científicas y las educativas, precisan, en mayor o menor grado de información geográfica.

En muchos casos, dicha información sirve de base para un proceso de toma de decisiones, a veces trivial como por ejemplo a donde ir a comer o al cine; a veces de mayor calado, como por ejemplo, donde ubicar un complejo de aerogeneradores o como ordenar el territorio; a veces conflictivo, como por

ejemplo donde desplegar la fuerza militar en un escenario bélico. En consecuencia, desde la gestión de actividades cotidianas, hasta las labores de planificación, precisan y recurren a información geográfica.

En algunos casos, los datos necesarios no requieren mucha elaboración, por lo que apenas basta de una presentación apropiada de los mismos, tras su recogida. En otros, sin embargo, la complejidad de los problemas exige análisis laboriosos y rigurosos. Por tal motivo, las actividades de creación de conocimiento, esto es, la investigación, se ven impelidas a sustentarse en datos geográficos.

Para toda una larga lista de intereses humanos resulta de utilidad la información geográfica. Lo novedoso de nuestro momento histórico radica en la capacidad creciente que tenemos de adoptar los SIG para satisfacer esa necesidad, en muchas ocasiones latente o deficientemente resuelta, de información geográfica de una manera económica, rápida, flexible, remota, comprensible y casi a medida para los fines de cualquier persona u organización, con tal de que sea capaz de preguntarla de manera apropiada al proveedor de dicha información.

Anexo D. Antecedentes de los SIG

Es importante citar a los Sistemas de Información Geográfica en el presente trabajo independientemente que no es el tema central, simplemente por la aplicación que tienen actualmente en el desarrollo de este tipo de estudios.

En el año de 1962, el Dr., John Snow vio la primera utilización real de los sistemas de Información de Geográfica (SIG) en el mundo, concretamente en Ottawa (Ontario, Canadá) y a cargo del departamento Federal de Silvicultura y Desarrollo Rural. Desarrollado por Roger Tomlinson, el llamado sistema de Información Geográfica de Canadá (Canadian Geographic Information System, CGIS) fue utilizado para almacenar, analizar y manipular datos recogidos para el inventario de Tierras de Canadá (Canadá Land Inventory, CLI) una iniciativa orientada a la gestión de los vastos recursos naturales del país con información cartográfica relativa a tipos y usos del suelo, agricultura, espacios de recreo, vida silvestre, aves acuáticas y silvicultura, todo ello escala de 1:50.000. Se añadió, así mismo, un factor de clasificación para permitir el análisis de la información.

El Sistema de Información de Canadá fue el primer SIG en el mundo similar a tal y como los conocemos hoy en día, y un considerable avance con respecto a las aplicaciones cartográficas existentes hasta entonces, puesto que permitía superponer capas de información, realizar mediciones y llevar a cabo digitalizaciones y escaneos de datos. Asimismo, soportaba un sistema nacional de coordenadas que abarcaba todo el continente, una codificación de líneas en "arcos" que poseían una verdadera topológica integrada y que almacenaba los atributos de cada elemento y la información sobre su localización en archivos separados.

Como consecuencia de esto, Tomlinson está considerado como “el padre de la SIG”, en particular por el empleo de información geográfica convergente estructurada en capas, lo que facilita su análisis espacial. El CGIS estuvo operativo hasta la década de los 90 llegando a hacer la base de datos sobre recursos del territorio más grande de Canadá. Fue desarrollando como un sistema basado en una computadora central y su fortaleza radicaba en que permitía realizar análisis complejos de conjuntos de datos que abarcaban todo el continente. El software, decano de los Sistemas de Información Geográfica SIG, nunca estuvo disponible de forma comercial.

En 1964, Howard T. Fisher formó en la universidad de Harvard el laboratorio de Computación Gráfica y Análisis Espacial en la Harvard Graduate School of Design (LCGSA 1965-1991), donde se desarrollaron una serie de importantes conceptos teóricos en el manejo de datos espaciales, y en la década de 1970 había difundido código de software y sistemas germinales, tales como SYMAP, GRID y ODYSSEY, los cuales sirvieron como fuentes de inspiración conceptual para sus posteriores desarrollos comerciales a las universidades, centros de investigación y empresas de todo el mundo.

Durante los años 60 y 70 se empezó a aplicar la tecnología del computador digital al desarrollo de tecnología automatizada, incluyendo cambios estructurales en el manejo de la información, la mayoría de programas estuvieron dirigidos hacia la automatización del trabajo cartográfico; algunos pocos exploraron nuevos métodos para el manejo de información espacial, y se siguieron básicamente dos tendencias:

- Producción automática de dibujos con un alto nivel de calidad pictórica.
- Producción de información basada en el análisis espacial pero con el costo de una baja calidad gráfica.

La producción automática de dibujo se basó en la tecnología de Diseño Asistido por Computador (CAD). EL CAD se utilizó en la cartografía para aumentar la productividad en la generación y actualización de mapas. El modelo de base de datos de CAD maneja la información espacial como dibujos electrónicos compuestos por entidades gráficas organizadas en layers o capas. Cada capa contiene la información de los puntos en la pantalla (o píxeles) que debe encender para la representación por pantalla. Estos conjuntos de puntos organizados por planos de visualización se guardan en un formato vectorial.

Las bases de datos incluyen funciones gráficas primitivas que se emplean para construir nuevos conjuntos de puntos o líneas en nuevas capas y definir un símbolo imaginado por el usuario. Posteriormente, a la simbología se le adicionó una variable “inteligente” al incorporar el texto.

El desarrollo de la tecnología CAD se aplicó para la manipulación de mapas y dibujos y para la optimización del manejo gerencial de información cartográfica. De

allí se desarrollo la tecnología AM/FM (Automated Mapping/Facilities Management). El desarrollo paralelo de las disciplinas que incluyen la captura, el análisis y la presentación de datos en un contexto de áreas afines como catastro, cartografía, topografía, ingeniería civil, geografía, planeación urbana y rural, servicios públicos, entre otros, ha implicado duplicidad de esfuerzos. Hoy en día se ha logrado reunir el trabajo en el área de sistemas de información geográfica multipropósito, en la medida en que se superan los problemas técnicos y conceptuales inherentes al proceso.

En la década de los años 70 y principios de los 80 se inicio en paralelo el desarrollo de dos sistemas de dominio público. El proyecto MapOverlay and Statistical System (MOSS) se inicio en 1977 en Fort Collins (Colorado, EE.UU.) bajo los auspicios de la Western Energy and Land Use Team (WELUT) y el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (US Fish and Wildlife Service). En 1982 el Cuerpo de Ingenieros del Laboratorio de Investigación de Ingeniería de la Construcción del Ejercito de los Estados Unidos (USA-CERL) desarrolla GRASS como herramienta para la supervisión y gestión medioambiental de los territorios bajo administración del Departamento de Defensa.

Esta etapa de desarrollo está caracterizada, en general, por la disminución de la importancia de las iniciativas individuales y un aumento de los intereses a nivel corporativo, especialmente por parte de las instancias gubernamentales y de la administración.

En la década de los 80, M&S Computing (mas tarde Intergraph), Environmental Systems Research Institute (ESRI) y CARIS (Computer Aided Resource Information System) emergerían como proveedores comerciales de software SIG. Incorporaron con éxito muchas de las características de CGIS, combinando el enfoque de primera generación de sistemas de información Geográfico relativo a la separación de la información espacial y los atributos de los elementos geográficos representados con un enfoque de segunda generación que organiza y estructura estos atributos en bases de datos.

Los 80 y 90 fueron años de fuerte aumento de las empresas que comercializaban estos sistemas, debido el crecimiento de los SIG en estaciones de trabajo UNIX y ordenadores personales. Es el periodo en el que se ha venido a conocer en los SIG como la fase comercial. El interés de las distintas grandes industrias relacionadas directa o indirectamente con los SIG crece en sobremanera debido a la gran avalancha de productos en el mercado informático internacional que hicieron generalizarse a esta tecnología.

En la década de los 90 se inicia una etapa comerciales para profesionales, donde los Sistemas de Información Geográfica empezaron a difundirse al nivel del usuario domestico debido a la generalización de los ordenadores personales o microordenadores.

Estos años se caracterizan por la madurez en el uso de estas tecnologías en los ámbitos tradicionales mencionados y por su expansión a nuevos campos (SIG en los negocios), propiciada por la generalización en el uso de los ordenadores de gran potencia y sin embargo muy esesquibles, la enorme expansión de las comunicaciones y en especial de Internet y el World Wide Web, la aparición de los sistemas distribuidos (DCOM, CORBA) y la fuerte tendencia a la unificación de formatos de intercambio de datos geográficos propician la aparición de una oferta proveedora (Open Gis) que suministra datos a un enorme mercado de usuario final.

A finales del siglo XX principios del XXI el rápido crecimiento en los diferentes sistemas se ha consolidado, restringiéndose a un número relativamente reducido de plataformas. Los usuarios están comenzando a exportar el concepto de visualización de datos SIG a Internet, lo que requiere una estandarización de formato de datos y de normas de transferencia. Más recientemente , ha habido una expansión en el número de desarrollos de software SIG de código libre, los cuales, a diferencia del software comercial, suelen abarcar una gama más amplia de sistemas operativos, permitiendo ser modificados para llevar a cabo tareas específicas.

En este sentido la aparición de productos como ARC-INFO en el ámbito del SIG o IGDS en el ámbito del CAD fue determinante para lanzar un nuevo mercado con una rapidísima expansión. La aparición de la Orientación a Objetos (OO) en los SIG (como el Tigris de Intergraph), inicialmente aplicado en el ámbito militar (DefenseMap Agency – DMA) (OO) permite nuevas concepciones de los SIG donde se integra todo lo referido a cada entidad (p.e. una parcela), (simbología, geometría, topología, atribución). Pronto los SIG, se comienzan a utilizar en cualquier disciplina que necesite la combinación de planos cartográficos y bases de datos.

El incremento de la popularidad de las tendencias de programación distribuida y la expansión y beneficios de la maquina virtual de Java, permiten la creación de nuevas formas de programación de sistemas distribuidos, de esta manera aparecen los agentes móviles que tratan de solucionar el trafico excesivo que hoy en día se encuentra en Internet. Los agentes móviles utilizan la invocación de métodos remotos y la realizaciónde objetos de Java para lograr transportar la computación y los datos.

Nace aquí un nuevo paradigma para el acceso a consultas y recopilación de datos en los sistemas de información geográfica, cuyos mayores beneficios se esperan obtener en los siguientes años. El Mapa del Futuro es una imagen inteligente.

A partir de 1998 se empezaron a colocar en distintas orbitas una serie de familias de satélites que traerán a los computadores personales, antes del año 2003, fotografías digitales de la superficie de la tierra con resoluciones que oscilaran entre 10 metros y 15 centímetros. Empresas como SPOT, Orblmage, EarthWatch, SpacImaging y SPIN-2 han iniciado la creación de uno de los mecanismos que

será responsable de la habilitación espacial de la tecnología informática. Curiosamente este “Boom” de los satélites de comunicaciones, está empujando la capacidad de ancho de banda para enviar y recibir datos, hasta el punto de que en este momento, la capacidad solo concebida para fibra óptica de T1 y T3, se está alcanzando de manera inalámbrica.

Por otro lado la frecuencia de visita de estos satélites permitirá ver cualquier parte del mundo casi cada hora. Las imágenes pancromáticas, multiespectrales, hiperespectrales, radar, infrarrojas, térmicas, crearan un mundo virtual digital a nuestro alcance. Este nuevo mundo cambiara radicalmente la percepción que tenemos sobre nuestro planeta.

Partes que componen un SIG

Información Alfanumérica

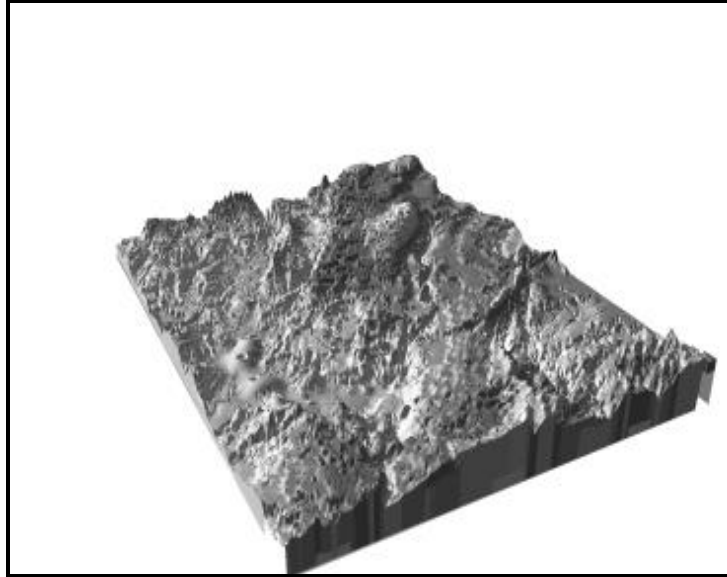
Esta parte proporciona información descriptiva sobre las características de las entidades gráficas. Se relacionan con dichas entidades a través de identificadores comunes que se almacenan tanto en el registro alfanumérico como en el gráfico. Un sistema SIG debe ser capaz de realizar consultas o análisis sobre los atributos alfanuméricos de forma independiente generar mapas basados en dichos atributos.

Atributos geográficos.

Los datos gráficos son descripciones digitales de las entidades del plano. Suelen incluir las coordenadas, reglas y símbolos que definen los elementos cartográficos en un mapa. El SIG utiliza esos datos para generar un mapa o representación gráfica en una pantalla de ordenador o bien sobre papel (fig. 8).

Los atributos Geográficos normalmente se encuentran contenidos en archivo de CAD Georreferenciados bajo un sistema de coordenadas específico.

De igual forma pueden ser elementos identificados un una imagen raster que es el resultado del escaneo de los negativo de un vuelo al cual se le asigna una identificación a cada pixel de la fotografía.



Anexos figura 8. Topografía de una zona de estudio.

Hardware es la computadora y los periféricos complementarios para el correcto uso de la información como periféricos podemos nombrar los siguientes y verlos en la figura 9.

- Escáner convencional.
- Escáner para negativos de fotografías aéreas.
- Impresoras de formato medio y grande (plotter).
- Tabletas de digitalización.
- Restituidor fotogramétrico digital.



Anexos figura 9. Periféricos complementarios.

Funciones de un SIG

Entrada de datos:

Un SIG debe tener la capacidad para recibir datos de distintas maneras:

Digitalización directa:

- Mapas en papel o más recientemente mediante el método “heads up digitizing”, en el cual el técnico usa una foto aérea o una reproducción escaneada de un plano y digitaliza los elementos que desee en ese plano o foto.

Entrada de coordenadas en archivos digitales:

- Se aplica en casos diversos donde existen tablas que tienen coordenadas, tales como los que existen en agrimensura y las que se reciben directamente de aparatos GPS de diferentes fabricantes

Teledetección:

- Aunque esta es una ciencia aparte, usualmente es complementaria con los SIG porque los productos que un procesador de imágenes suelen ser otras capas de información que pueden ser utilizadas por los SIG. Por ejemplo, un procesador de imágenes puede derivar índices de vegetación, de humedad, y otros además de derivar mapas de cubierta de terreno (algo análogo al concepto de uso del terreno, pero por lo general, menos específico).
- En otras ocasiones puede suceder que la imagen satelital se use como base para derivar otras capas de información en un SIG.

Salida:

- Representación gráfica, y cartográfica en papel y digital. Esta es una función importante pero no la primordial en un SIG. Es importante tener las herramientas para hacer mapas y reproducir gráficas de calidad, pero no es el eje central de un GIS.

Manipulación de los datos:

- Debe proveer herramientas para el manejo de esta información. Por ejemplo: Funciones para la transformación matemática de coordenadas:
- Proyecciones cartográficas, transformaciones de datum, transformaciones geométricas: Rotación, reducción o ampliación de tamaños (escala)
- Reformateo: Integración, generalización, depuración importación y exportación de datos.

Análisis:

- Es el componente más importante dentro de un SIG. Principalmente se trata de usar la información disponible para producir nueva información. Un SIG debe tener las siguientes funciones analíticas:

Selección geográfica:

Se basa en búsquedas simples o complejas tanto en el aspecto geográfico como en la base de datos. Por ejemplo: Seleccionar todos los suelos de tipo lómico y que a la vez no tengan uso de suelo urbano

Proximidad:

Determinar qué cosas están cerca de cuáles otras basado en distancias. El ejemplo más común es el uso de buffers, por lo general con radios determinados o cambiantes según categorías previamente definidas. Por ejemplo: Localizar todos los edificios que estén dentro del margen de 100 metros a lo largo de una alineación de carretera propuesta.

Sobre posición cartográfica (overlay&map algebra):

Esta encierra las funciones más poderosas y usualmente combina las anteriores además de añadir otras tales como:

- Reclasificación
- Funciones por celda, alrededores de una celda o por zonas grupos de celdas con igual valor dentro de un mismo layer.

Aplicación del SIG

Algunos de los primeros sistemas SIG fueron utilizados por las empresas encargadas del desarrollo, mantenimiento y gestión de redes de electricidad, gas, agua, teléfonos, alcantarillados, etc., en estas, los sistemas SIG almacenan información alfanumérica de servicios, que se encuentra relacionada a las distintas representaciones gráficas de los mismos.

Estos sistemas almacenan información relativa a la conectividad de los elementos representados gráficamente, con el fin de permitir realizar análisis de redes.

También permiten la elaboración de mapas, así como la posibilidad de elaborar otro diferente tipo de consulta, ya sea gráfica o alfanumérica, son las funciones más comunes de estos sistemas, también son utilizados en trabajos de ingeniería, inventarios, planificación de redes, gestión de mantenimiento, etc.

La aplicación de los SIG dirigidas a la gestión de entidades territoriales, permiten un rápido acceso a la información gráfica y alfanumérica, y suministran herramientas para el análisis espacial de la información. Facilitan labores de mantenimiento de infraestructuras, mobiliario urbano, etc., y permiten realizar una optimización en los trabajos de mantenimiento de empresas de servicios. Tienen la facilidad de generar, documentos con información gráfica y alfanumérica.

En la actualidad el campo de aplicación de los SIG es muy amplio, entre sus múltiples utilidades de estos, sobresalen el obtener información instantánea y actualizada, apoyo en la fase de diagnóstico, facilidad en el análisis de la información, agilidad en la manipulación de datos, facilidad en las consultas, mayor nivel de procesamiento, integración y calidad de datos, información detallada, confiable y georeferenciada, eficiencia en las respuestas (rápida, oportunas y confiables), y mayor velocidad de acceso a información tanto espacial como no espacial. Además de ser de suma importancia en múltiples aplicaciones tales como: catastro y territorio, planificación urbana (Gestión de inmuebles, transporte, tráfico, entre otros), Gestión de recursos naturales (Usos de suelos simulación de fenómenos naturales), Gestión de servicios, Planificación comercial y mercadeo (Localización de clientes, rutas más cortas, costos de distribución, entre otros), Estudio de impacto ambiental, y de trascendencia para los profesionistas ya que les brinda un mayor manejo y dominio de los sistemas en lo profesional, como es el caso del presente trabajo.

Metodología para el Desarrollo de un Proyecto SIG

Los pasos para desarrollar un SIG son los siguientes:

1. Definición del proyecto.
2. Análisis y diseño de la aplicación.
3. Desarrollo de la aplicación.
4. Implantación.

Definición del proyecto:

En esta fase se define la solución tecnológica que satisfaga una situación problemática o área sensible de una organización. Se divide en las siguientes sub-fases:

- Análisis del problema.
- Definición de soluciones tecnológicas.
- Elaboración del plan de trabajo.
- Elaboración de la propuesta técnica.

Análisis del Problema

Esta sub-fase busca establecer los requisitos para la solución del problema del cual el SIG forma parte. En esta sub-fase se deben identificar los objetivos, metas, misión y restricciones de la organización.

El analista debe abocarse a la identificación de problemas o situaciones problemáticas, sin caer en el intento de todo tipo de implementación previa a la culminación de esta identificación y su análisis global. Dentro de esta sub-fase se deben cumplir los siguientes objetivos:

- Identificación de Reglas de la Organización.
- Identificación de necesidades de la organización (información, procedimientos, estructura organizacional, etc.).
- Identificación de áreas la acción y funciones.
- Determinación de situaciones problemáticas y/o áreas sensibles para la implementación del SIG.

Definición de Soluciones Tecnológicas.

En esta sub-fase se define la solución tecnológica que se va a ofrecer al cliente, partiendo del análisis del problema se debe identificar.

Como es la información a procesar, funciones, restricciones y criterios de validación. Esta definición debe abordar la resolución de una, varias o todas las situaciones problemáticas identificadas. Se deben cumplir los siguientes pasos:

- **Objetivo y funciones de la solución tecnológica.**

El propósito de este paso es especificar claramente el objetivo de la solución tecnológica (que situación o situaciones problemáticas pretende apoyar o resolver) y las funciones que debe cumplir para lograr el objetivo.

- **Análisis de riesgos y factibilidad.**

Identificación del riesgo, ¿cuáles son los riesgos que pueden hacer que fracase el proyecto? Estos se pueden clasificar en:

- Riesgos Técnicos (diseño, implementación, etc.)

- Riesgos del Proyecto (presupuesto, gente, etc.)
- Riesgo de Negocio (cultura organizacional, etc.)

- **Definición de los requerimientos macros del SIG.**

En éste paso se debe determinar qué información ha de ser procesada, qué función y rendimiento se desea, qué interfaces han de establecerse, qué restricciones de diseño existen y qué criterios de validación se necesitan para establecer un sistema correcto.

- **Definición de las Herramientas Tecnológicas a utilizar.**

En este paso se deben especificar las herramientas y/o plataformas tecnológicas (hardware, software, equipamiento, etc.) necesarios para instalar la solución a ofrecer al cliente tomando en cuenta los requerimientos macros del SIG.

Elaboración del Plan de Trabajo.

En esta sub-fase se realiza la planificación del proyecto de manera de establecer claramente las etapas, actividades, tiempo y recursos necesarios para alcanzar el objetivo del proyecto que no es más que la implementación de la solución tecnológica a ofrecer. Como apoyo de esta gestión deben utilizarse herramientas de planificación de proyectos tales como Diagramas de Barras (GANTT), Mallas de Precedencia (PERT), etc. La definición de actividades se debe realizar de acuerdo a las siguientes fases de esta metodología y dependiendo de las herramientas propuestas a utilizar.

Elaboración de la Propuesta Técnica.

Basado en el plan de trabajo y las definiciones realizadas en las fases anteriores se elaboran las ofertas técnica y/o económica a ser presentadas al cliente.

Análisis y Diseño de la Aplicación.

El objetivo de esta fase es profundizar en el ámbito de información y de función del SIG propuesto como solución tecnológica. Se profundiza en los requisitos identificados en la fase de definición del proyecto, se identifican nuevos requisitos y analizan para definir la estructura de la información y modelos de flujo.

Desarrollo de la Aplicación.

En esta fase se diseña la aplicación en base al análisis realizado en la fase anterior y con la intervención constante de los usuarios de la aplicación. Se define cómo los procesos y la data requerida para satisfacer los requerimientos identificados son implementados en procedimientos y cómo es el enlace entre el usuario final y la aplicación. Una vez finalizado el diseño se procede a la codificación del mismo, en la cual se tienen puntos de control para realizar evaluaciones.

Es indiscutible que los datos son el principal activo de cualquier sistema de información. Por ello el éxito y la eficacia de un SIG se miden por el tipo, la calidad y vigencia de los datos con los que opera.

Los esfuerzos y la inversión necesaria para crear las bases de datos y tener un SIG eficiente y funcional no son pequeños. Es un esfuerzo permanente por ampliar y mejorar los datos almacenados, utilizando las herramientas más eficientes para lograr dicho propósito (Laudon Kenneth C., 1996).

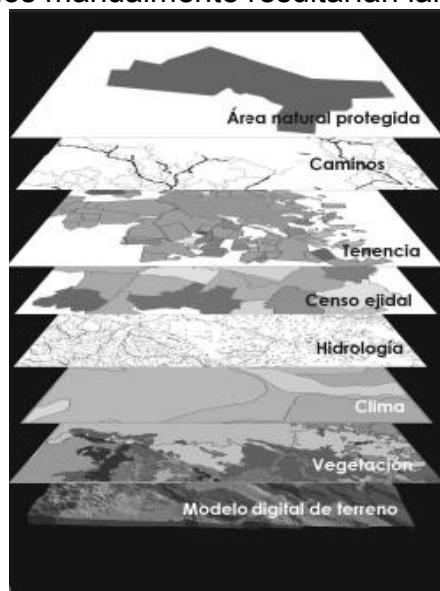
En cuanto al funcionamiento de los SIG, la información geográfica contiene una referencia geográfica explícita, como latitud y longitud o una referencia implícita, como domicilio o código postal. Las referencias implícitas pueden ser derivadas de referencias explícitas mediante geocodificación. Los SIG funcionan con dos tipos diferentes de información geográfica: el modelo vector y el modelo raster. El modelo *raster* ha evolucionado para modelar tales características continuas.

Una imagen *raster* comprende una colección de celdas (píxel) de una malla más, como un mapa o una figura escaneada. Ambos modelos son para almacenar datos geográficos y tienen ventajas y desventajas únicas y los SIG modernos pueden manejar varios tipos. En el modelo vector, la información sobre puntos, líneas y polígonos se almacena como una colección de coordenadas x, y.

La ubicación de una característica puntual, pueden describirse con un sólo punto x, y. Las características lineales, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x, y. Las características poligonales, pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas. El modelo vector es extremadamente útil para describir características discretas, pero menos útil para describir características de variación continua (Kendall Kenneth E., 1991).

Estos sistemas de información geográfica permiten que se puedan realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas (ver figura 10), transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de bases de datos, consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema, realizar pruebas analíticas rápidas y

repetir modelos conceptuales en despliegue espacial, comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal), así como efectuar análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos.



Anexos figura 10. Superposiciones de mapas.

Finalmente la construcción e implementación de un SIG, en cualquier organización es una tarea siempre progresiva, compleja, laboriosa y continúa. Los análisis y estudios anteriores a la implementación de un SIG son similares a los que se deben realizar para establecer cualquier otro sistema de información. Pero en los SIG, además, hay que considerar las características especiales de los datos que utiliza y sus correspondientes procesos de actualización.

El desarrollo en el futuro de los SIG se va a dirigir al manejo de información obtenida de sensores remotos hiperespectrales (imágenes de satélite con muchas bandas) gran parte de la investigación se enfocará en nuevas aproximaciones conceptuales que permitan, por ejemplo, trabajar con límites difusos, es decir, aquellos que no pueden definirse con una línea. Los avances en el conocimiento sobre redes neuronales y en el manejo de la estadística espacial van a convertirse en pilares de nuevas formas para aproximarse a la realidad, con métodos pero también con actitudes más creativas.