



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DIAGNÓSTICO Y SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA
DE AGUA POTABLE DE CIUDAD UNIVERSITARIA
DE LA UNAM. PUMAGUA”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

JOSÉ DANIEL ROCHA GUZMÁN

DIRECTOR DE TESIS
DR. FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*A Dios por permitirme llegar
a esta etapa de mi vida*

En medio del camino de nuestra vida, me encontré de pronto en una selva oscura que del recto camino se apartaba. ¡Oh cuán abrupta y áspera era la selva aquella!; tan sólo recordarla me regresa la angustia; tan amargo es su recuerdo como el de la propia muerte. Pero pronto encontré un apoyo y un alivio...

(La Divina Comedia. Dante Alighieri)

Agradecimientos.

La realización de este trabajo es resultado del esfuerzo de todas aquellas personas que han formado parte importante en mi vida, y este espacio constituye una valiosa oportunidad para agradecerles todo el apoyo e impulso en estos años.

De manera particular agradezco a mis padres, Carmen Guzmán Camacho y Benjamín Rocha Martínez por sustentar mis estudios profesionales y mostrarme la forma de conducirme a través de la vida con honestidad, responsabilidad y humildad. Agradezco también el apoyo de parte de mis hermanas Isabel, Olga y Adriana, así como a mi hermano Víctor por ser quienes me han dado el ánimo suficiente para llegar a donde mi pensamiento y mi corazón me guían, a todos ellos y mis sobrinos Erick, Andrés, Eduardo, Jocelin y Emilio, los tengo en gran estima pues representan el pilar en el que yace el sentido de mi vida.

Deseo también agradecer a mis amigas Erika Gallo Morán, Berenice Hernández Mastache, Karina Mota Sánchez, Ana Almazán, Maricela Ojeda, Diana Segura, Wendy Mortera, mis amigos José Luis Alanís Legaspi y su esposa Martha Delgado, Raúl Hernández Hernández y familia, a los Ingenieros Raúl Sánchez y Juan Acosta, Rafael Val Segura, Pedro Ortiz López, Andrés Ramos, Jesús Carrasco, José de Jesús González Santiago, Luis Alberto Saba Miguel, Jesús Odilon Vega Fernández, Saúl Morales Rivera, Roberto Reyes González, Mario Eduardo González Flores, Miguel Segundo Vázquez, Víctor Parra Eguializ, Fernando Reyes Soto y Guillermo Montero Cruz por ser siempre importantes y muy valiosos amigos. Muy especialmente esta tesis está dedicada a la memoria de mi mejor amigo y cómplice de la infancia: Silvestre Álvarez Saldaña ¹ A todos gracias por su invaluable apoyo y sincera amistad. No encuentro ciertamente las palabras que más se aproximen a lo que siento por ustedes; y aunque no lo crean... los llevo siempre en mi pensamiento...

¹ +Descanse en Paz.

A la UNAM por enseñarme que el bien común es el eje rector del ejercicio de la Ingeniería Civil. Pertenecer a esta comunidad ha marcado un antes y un después en mi vida.

Al Instituto de Ingeniería por la oportunidad de formarme profesionalmente en el área de Ingeniería Hidráulica y brindarme de un espacio y medios para desarrollar este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería en cuyas aulas conocí, viví y sentí el orgullo de pertenecer a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Dr. Fernando J. González Villarreal por dirigir de manera desinteresada este trabajo y darme algunos consejos sobre la manera en que un Ingeniero debe conducirse en el ejercicio profesional, así como enseñarme que la diferencia entre lo ordinario y lo extraordinario radica en el empeño.

Al Dr. Rafael Val Segura por la confianza que ha depositado en mi persona y permitir que desarrolle nuevas habilidades en el programa PUMAGUA.

A mis sinodales y profesores a quienes debo conocimiento...

A Badger Mater por todo el apoyo técnico, difusión y compromiso hacia con el programa PUMAGUA y la UNAM.

A la Dirección General de Obras y Conservación y su director por todo el apoyo e información brindada; especial reconocimiento merecen: Sr. Pedro Ortiz López y los muchachos de la red del agua, Ing. Germán Hernández Briones, Ing. Guillermo Rivas Blancas, Ing. Gabriel Martínez Muñoz, Ing. Juan Hilario García Gil, Ing. Francisco José Montellano Magra y el Arq. Sergio Gutiérrez Gutiérrez.

Muchas gracias a todos...

José Daniel Rocha Guzmán

Índice de Contenido

Índice de Figuras.....	5
Índice de Tablas.....	9
AGRADECIMIENTOS.....	11
RESUMEN EJECUTIVO.....	13
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	16
1.1.- ANTECEDENTES.....	16
1.1.1.- Infraestructura hidráulica de Ciudad Universitaria: Pasado y Presente.....	18
1.1.2.- Crecimiento de la población de Ciudad Universitaria.....	22
1.1.3.- El uso eficiente de agua.....	26
1.2.- PROGRAMA DE MANEJO, USO Y REUSO DE AGUA EN LA UNAM: PUMAGUA.....	27
1.2.1.- Objetivos y Metas.....	27
1.3.- EXPERIENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES.....	28
1.3.1. Universidad de Stanford.....	28
1.3.2. Universidad de Sydney, Australia: Water Savings Action Plan.....	33
1.3.3 Estudio de la Facultad de Ciencias de la UNAM.....	35
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA.....	36
2.1.- EL SISTEMA HIDRÁULICO DE CIUDAD UNIVERSITARIA.....	37
2.1.1.- Componentes y estado actual.....	37
2.1.1.1 Sistema de alcantarillado.....	37
2.1.1.2 Sistema de riego.....	44
2.1.1.3 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....	51
2.1.1.4 Plantas tipo BRAIN.....	53
2.1.1.5 Sistema de aguas pluviales y recarga del acuífero.....	53
2.2.- EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE CIUDAD UNIVERSITARIA.....	54
2.2.1.- Suministro y Macro medición.....	55
2.2.2.- Regularización.....	67
2.2.3.- Distribución.....	71
2.3.- ESTRATEGIAS DE USO EFICIENTE DE AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA.....	92
2.3.1.- Estrategias de reducción de pérdidas.....	92
2.3.2.- Estrategias de reducción de consumos.....	96

CAPÍTULO 3.- SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE.....	100
3.1.- SECTORIZACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE.....	100
3.2.- SELECCIÓN DE SECTORES HIDRAULICOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA.....	102
3.3.- DIAGNÓSTICO DE LOS SECTORES HIDRÁULICOS DE CIUDAD UNIVERSITARIA.....	106
3.4.- METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	122
3.4.1. Macro y micro medición.....	124
3.4.2.- Medición de suministro y consumo.....	124
3.4.3.- Medición de pérdidas en la red.....	146
3.4.- MODELACIÓN DE LA RED CON Y SIN PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO.....	154
CAPÍTULO 4. ACCIONES DE USO EFICIENTE DE AGUA EN EL CORTO Y MEDIANO PLAZO.....	165
4.1.- PROGRAMAS DE REDUCCIÓN DE PERDIDAS DE AGUA EN LA RED.....	165
4.2.- INSTRUMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE USO EFICIENTE DE AGUA EN DEPENDENCIAS UNIVERSITARIAS.....	166
CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES.....	179
BIBLIOGRAFÍA.....	184
ANEXO 1. INVENTARIO DE MEDIDORES.....	187

Índice de Figuras.

FIGURA 1. ZONAS INICIALES: A: ZONA ESCOLAR, B: CAMPOS DEPORTIVOS, C: ESTADIO OLÍMPICO. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	19
FIGURA 2. VISTA PANORÁMICA DEL CAMPUS CENTRAL LUEGO DE SU INAUGURACIÓN EN NOVIEMBRE DE 1952. FUENTE: LA JORNADA.....	20
FIGURA 3. COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO E LA POBLACIÓN DE CIUDAD UNIVERSITARIA. FUENTE: DGP.UNAM.....	22
FIGURA 4. PRESENCIA DE LA UNAM EN EL INTERIOR DEL PAÍS Y MÁS ALLÁ DE SUS FRONTERAS. FUENTE. ANUARIO ESTADÍSTICO 2008. DGP. UNAM.....	24
FIGURA 5. DEMANDA DE INGRESO A LA LICENCIATURA A TRAVÉS DE CONCURSO DE SELECCIÓN. FUENTE: ANUARIO ESTADÍSTICO. DGP. UNAM.....	25
FIGURA 6. SUMINISTRO HISTÓRICO (2.7 MGD = 142 LPS) DE LA UNIVERSIDAD DE STANFORD	30
FIGURA 7. SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA UNIVERSIDAD DE STANFORD.....	31
FIGURA 8. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA IMPLANTADAS.....	32
FIGURA 9. PROMEDIO ANUAL DE DEMANDA DE AGUA SEGÚN EL TIPO DE USUARIO.....	32
FIGURA 10. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA CON Y SIN PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DE AGUA.....	33
FIGURA 11. TENDENCIA DE CONSUMO EN LA UNIVERSIDAD.....	34
FIGURA 12. EL SISTEMA HIDRÁULICO DE CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNAM.....	37
FIGURA 13 RED DE ALCANTARILLADO DE CIUDAD UNIVERSITARIA. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	39
FIGURA 14. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CERRO DEL AGUA.....	40
FIGURA 15. MODELO DE INTERCEPTORES DE LA RED.....	41
FIGURA 16. RED DE ALCANTARILLADO DE CIUDAD UNIVERSITARIA. EN COLORES LOS DIÁMETROS DE LA RED. EN NEGRO LOS TRES EMISORES QUE CONVERGEN A LA PTAR DE CERRO DEL AGUA.....	42
FIGURA 17. PERFIL DE UN POZO DE VISITA DE CIUDAD UNIVERSITARIA. FUENTE: MAPAS 2007. CONAGUA.....	43
FIGURA 18. ZONAS DE CIUDAD UNIVERSITARIA QUE ACTUALMENTE SE RIEGAN CON AGUA TRATADA. ESTAS ZONAS SON PERIFÉRICAS A LAS CISTERNAS DE AGUA TRATADA PROVENIENTE DE LA PTAR DE CERRO DEL AGUA. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	45
FIGURA 19. RED DE AGUAS TRATADAS. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	46
FIGURA 20. MATERIALES DE LA RED DE AGUAS TRATADAS.....	47
FIGURA 21. COMPARACIÓN ENTRE EL VOLUMEN TRATADO Y BOMBEADO A LA RED DE AGUAS RESIDUALES EN EL 2006. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	49
FIGURA 22. COMPARACIÓN ENTRE EL VOLUMEN TRATADO Y BOMBEADO A LA RED DE AGUAS RESIDUALES EN EL 2007. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	49
FIGURA 23. UBICACIÓN DE LA PTARS DE CIUDAD UNIVERSITARIA. FUENTE: DGOYC. UNAM	51
FIGURA 24. BOMBAS DE LOS POZOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA.....	55
FIGURA 25. UBICACIÓN DE POZOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA. FUENTE. DGOYC. UNAM.....	56
FIGURA 26. PORCENTAJES DE EXTRACCIÓN DE LOS POZOS. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	57
FIGURA 27. EXTRACCIÓN DE AGUA EN LOS POZOS DURANTE 2006. FUENTE: DGOYC. UNAM	58
FIGURA 28. EXTRACCIÓN DE AGUA EN LOS POZOS DURANTE 2007. FUENTE: DGOYC. UNAM	58
FIGURA 29. EXTRACCIÓN DE AGUA EN LOS POZOS DURANTE 2008. FUENTE: DGOYC. UNAM	59
FIGURA 30. CONO DE ABATIMIENTO EN UN POZO ORDINARIO O LIBRE. FUENTE: MAPAS 2007. CONAGUA.....	59
FIGURA 31. CONSUMO DE ENERGÍA EN EL EQUIPO DE BOMBEO Y COSTOS. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	63
FIGURA 32. TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN CIUDAD UNIVERSITARIA. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	67
FIGURA 33. TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN CIUDAD UNIVERSITARIA. FUENTE: DGOYC. UNAM.....	68

FIGURA 34. TANQUE VIVERO ALTO.....	69
FIGURA 35. TANQUE ALTO.....	69
FIGURA 36. TANQUE BAJO: (A) VÁLVULAS Y (B) EQUIPO DE RE BOMBEO EN TANQUE BAJO.....	70
FIGURA 37. RED DE AGUA POTABLE DE CIUDAD UNIVERSITARIA.....	72
FIGURA 38. INCRUSTACIONES EN LAS TUBERÍAS DE AGUA POTABLE.....	74
FIGURA 39. CRUCEROS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE. LÍNEA DE 10" CON DERIVACIONES A 4".....	76
FIGURA 40. JUNTA GIBAULT GENERALMENTE EMPLEADA EN UNIONES DE TUBERÍAS. FUENTE: MAPAS 2007. CONAGUA.....	76
FIGURA 41. REDUCCIÓN DE DIÁMETROS EN LA RED. IZQUIERDA: REDUCCIÓN CAMPANA. DERECHA: TEE REDUCTORA.....	76
FIGURA 42. DE IZQUIERDA A DERECHA: VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO, VÁLVULA EXPULSORA DE AIRE Y VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN.....	77
FIGURA 43. LOCALIZACIÓN DE VÁLVULAS EN COLOR NARANJA SE ENCUENTRAN LAS VÁLVULAS DE COMPUERTA, Y EN COLOR AZUL LA DE EXPULSIÓN DE AIRE.....	78
FIGURA 44. UBICACIÓN DE LOS 45 MANÓMETROS. FUENTE DGOYC. UNAM.....	78
FIGURA 45. FUGAS DE AGUA EN ACOMETIDAS Y EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA. FUENTE: L. OCHOA. IMTA. 2007.....	84
FIGURA 46. INCIDENCIA DE FUGAS EN LA RED DE AGUA POTABLE SEGÚN LA OCUPACIÓN EN CU.....	87
FIGURA 47. ESTIMACIÓN DEL BALANCE DURANTE EL AÑO 2008.....	89
FIGURA 48. ESTIMACIÓN DEL BALANCE DURANTE EL AÑO 2008.....	89
FIGURA 49. BALANCE HIDRÁULICO PARA EL AÑO 2011 EN CIUDAD UNIVERSITARIA.....	90
FIGURA 50. SECTORIZACIÓN DE UNA RED DE ABASTECIMIENTO CON CONTROL DE PRESIONES Y MEDICIÓN DE GASTO.....	100
FIGURA 51. ZONAS DE SERVICIO EN CIUDAD UNIVERSITARIA.....	102
FIGURA 52. CURVA DE ISOPRESIONES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE. LAS UNIDADES DE PRESIÓN SON METROS DE COLUMNA DE AGUA.....	103
FIGURA 53. SECTORES HIDRÁULICOS PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	104
FIGURA 54. TENDENCIA DE DEPENDENCIAS EN EL SECTOR I HIDRÁULICO.....	107
FIGURA 55. SUMINISTRO Y PÉRDIDAS DE AGUA EN EL SECTOR HIDRÁULICO I.....	108
FIGURA 56. RELACIÓN PRESIÓN – FUGAS DEL SECTOR HIDRÁULICO I.....	108
FIGURA 57. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA CON LA INSTALACIÓN DE LA VRP EN EL SECTOR I SIN CONTROL DE PRESIONES.....	109
FIGURA 58. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA CON LA INSTALACIÓN DE LA VRP EN EL SECTOR I CON CONTROL DE PRESIONES.....	110
FIGURA 59. TENDENCIA DE ENTIDADES EN EL SECTOR HIDRÁULICO II.....	112
FIGURA 60. TENDENCIA DE ENTIDADES EN EL SECTOR HIDRÁULICO III.....	113
FIGURA 61. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA CON LA INSTALACIÓN DE LA VRP EN EL SECTOR HIDRÁULICO III SIN CONTROL DE PRESIONES.....	115
FIGURA 62. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA CON LA INSTALACIÓN DE LA VRP EN EL SECTOR HIDRÁULICO III CON CONTROL DE PRESIONES.....	115
FIGURA 63. PÉRDIDAS EN EL SECTOR HIDRÁULICO IV.....	116
FIGURA 64. PÉRDIDAS EN EL SECTOR HIDRÁULICO V.....	118
FIGURA 65. INCIDENCIAS DE FUGAS POR SECTOR HIDRÁULICO. FUENTE. DGOYC. UNAM.....	120
FIGURA 66. TRABAJOS DE SECTORIZACIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE.....	121
FIGURA 67. DIMENSIONES DEL ARREGLO PROPUESTO PARA MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO EN POZO II.....	125
FIGURA 68. VISITAS DE CAMPO REALIZADAS A LOS PUNTOS DE INSTALACIÓN DE LOS MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS.....	126
FIGURA 69. INSTALACIÓN DE MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS.....	126
FIGURA 70. MEDIDOR ELECTROMAGNÉTICO EN TANQUE BAJO LADO NORTE Y SUR, RESPECTIVAMENTE.....	127
FIGURA 71. EXTRACCIÓN DE AGUA DE LOS POZOS.....	127
FIGURA 72. SUMINISTRO DE AGUA DESDE TANQUE BAJO A LOS SECTORES I Y II.....	128
FIGURA 73. REBOMBEO ENTRE TANQUE BAJO Y TANQUE ALTO.....	128
FIGURA 74. PATRÓN DE SUMINISTRO DE LOS SECTORES I Y II, RESPECTIVAMENTE.....	129

FIGURA 75. COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO EN LOS SECTORES I Y II.....	129
FIGURA 76. ARREGLO DE MEDICIÓN Y CONTROL DE PRESIONES PROPUESTOS POR PUMAGUA A INSTALARSE EN LOS SECTORES I Y III.....	130
FIGURA 77. ARREGLO DE MEDICIÓN Y CONTROL DE PRESIONES PROPUESTOS POR PUMAGUA A INSTALARSE EN LOS SECTORES II, IV Y V.....	130
FIGURA 78. ESQUEMA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN POR RADIOFRECUENCIA IMPLEMENTADO POR PUMAGUA. FUENTE: BADGER METER S.A DE C.V.....	131
FIGURA 79. PATRÓN DE CONSUMO PARA DIFERENTES TIPOS DE USUARIO PRESENTES EN CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNAM.....	135
FIGURA 80. COMPARACIÓN DE SUMINISTRO HORARIO POR TIPO DE USUARIO EN TÉRMINOS DEL TOTAL DEL SUMINISTRO POR TIPO DE USUARIO. DE LAS 0:00 HRS A LAS 7:00 HRS SE PRESENTA EL 1.21 % DE LA DEMANDA; DE LAS 7:01 HRS A LAS 22:00 HRS EL 98.23 % Y DE LAS 22:01 HRS A LAS 23:59 HRS EL 0.57%.....	136
FIGURA 81. INFORME DE AGUA ENVIADO POR PUMAGUA A LAS DEPENDENCIAS QUE CUENTAN CON MEDIDOR INSTALADO.....	141
FIGURA 82. REPORTE DEL SUMINISTRO MENSUAL.....	142
FIGURA 83. REPORTE DEL SUMINISTRO DIARIO A ENTIDADES.....	143
FIGURA 84. REPORTE DE SUMINISTRO INSTANTÁNEO. ES POSIBLE IDENTIFICAR DESCENSOS EN FUGAS O CAMBIOS EN EL USO DEL AGUA CON ESTA GRÁFICA.....	143
FIGURA 85. GASTOS MEDIDOS EN EL SECTOR I.....	148
FIGURA 86. COLOCACIÓN DE MEDIDOR PARA MEDICIÓN DE PÉRDIDAS EN LOS SECTORES HIDRÁULICOS DE CIUDAD UNIVERSITARIA.....	148
FIGURA 87. SUMINISTRO, CONSUMO Y PÉRDIDAS EN EL SECTOR HIDRÁULICO I CON Y SIN RIEGO.....	149
FIGURA 88. MEDICIÓN DE PÉRDIDAS EN EL SECTOR II.....	149
FIGURA 89. PÉRDIDAS EN EL SECTOR III.....	150
FIGURA 90. PÉRDIDAS EN EL SECTOR IV.....	151
FIGURA 91. PÉRDIDAS EN EL SECTOR V.....	152
FIGURA 92. DIAGRAMA DE UN MODELO HIDRÁULICO DE FLUJO PERMANENTE. FUENTE. MAPAS 2007. CONAGUA.....	155
FIGURA 93. DIAGRAMA DE UN MODELO HIDRÁULICO DE FLUJO NO PERMANENTE. FUENTE. MAPAS 2007. CONAGUA.....	156
FIGURA 94. PANTALLA CON DATOS DE ENTRADA PARA EL PROGRAMA EPANET.....	158
FIGURA 95. CURVA DE VARIACIÓN HORARIA EN EL EDIFICIO 5 DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA.....	160
FIGURA 96. VARIACIÓN HORARIA DE LOS NIVELES EN LOS TANQUES ALTO Y BAJO.....	161
FIGURA 97. MAPA DE ISOPRESIONES DE LA SIMULACIÓN EN ESTADO EXTENDIDO CON CONTROL DE PRESIONES A LAS 03:00 HRS.....	161
FIGURA 98. MAPA DE ISOPRESIONES DE LA SIMULACIÓN EN ESTADO EXTENDIDO CON CONTROL DE PRESIONES A LAS 09:00 HRS.....	162
FIGURA 99. MAPA DE ISOPRESIONES DE LA SIMULACIÓN EN ESTADO EXTENDIDO CON CONTROL DE PRESIONES A LAS 15:00 HRS.....	162
FIGURA 100. MAPA DE ISOPRESIONES DE LA SIMULACIÓN EN ESTADO EXTENDIDO CON CONTROL DE PRESIONES A LAS 19:00 HRS.....	163
FIGURA 101. EDIFICIOS DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM. EN GRIS, EL EDIFICIO 5.....	166
FIGURA 102. PUNTOS DE CONSUMO DE AGUA EN EL NIVEL 1 (NPT+1.60) EDIFICIO 5. IINGEN.UNAM.....	169
FIGURA 103. SUMINISTRO DE AGUA EN EL EDIFICIO 5 ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ACCIONES.....	170
FIGURA 139. CONSUMO DE AGUA EN BAÑOS DEL EDIFICIO 5 ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ACCIONES.....	171
FIGURA 140. BALANCE HIDRÁULICO EN EL EDIFICIO 5. EL MAYOR CONSUMO LO REPRESENTAN LOS BAÑOS.....	171
FIGURA 106. COMPARACIÓN DE DESCARGAS DE AGUA ENTRE INODOROS PREVIAMENTE INSTALADOS Y DE BAJO CONSUMO.....	173

FIGURA 107. REGISTRO HISTÓRICO DEL SUMINISTRO DE AGUA EN EL EDIFICIO 5 ANTES Y DESPUÉS DE LOS CAMBIOS DE MUEBLE DE BAÑO.	174
FIGURA 108. BALANCE HIDRÁULICO DESPUÉS DE LOS CAMBIOS DE MUEBLES DE BAÑO EN EL EDIFICIO 5.	175
FIGURA 109. PATRÓN DE SUMINISTRO ANTES Y DESPUÉS DEL PROGRAMA DE MUEBLES DE BAÑO.	175
FIGURA 110. TASA INTERNA DE RETORNO (PAYBACK) DE SUSTITUCIÓN DE MUEBLES DE BAÑO. FUENTE: WATER EFFICIENCY MANUAL. NORTH CAROLINA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL AND NATURAL RESOURCES]	177

Índice de Tablas

TABLA 1. DEMANDA INICIAL ESTIMADA	19
TABLA 2. PLANTA FÍSICA CONSTRUIDA EN CIUDAD UNIVERSITARIA Y FUERA DE ELLA. FUENTE: ANUARIO ESTADÍSTICO 2008. DGP. UNAM	23
TABLA 3. CAPACIDAD INSTALADA POR ZONA GEOGRÁFICA 2007. FUENTE: ANUARIO ESTADÍSTICO 2008. DGP. UNAM	24
TABLA 4. DIÁMETROS Y LONGITUDES DE COLECTORES DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO	40
TABLA 5. CISTERNAS DE AGUA TRATADA PARA RIEGO. FUENTE: DGOYC. UNAM	46
TABLA 6. MATERIAL Y LONGITUD DE LA RED DE AGUAS TRATADAS.	47
TABLA 7. DIÁMETROS DE LA RED DE AGUA TRATADA.	47
TABLA 8. VOLÚMENES DE AGUA TRATADA Y BOMBEADA A LA RED DE AGUAS TRATADAS DURANTE 2006. FUENTE: DGOYC	48
TABLA 9. VOLÚMENES DE AGUA TRATADA Y BOMBEADA A LA RED DE AGUAS TRATADAS DURANTE 2007. FUENTE: DGOYC	48
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS POZOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA. FUENTE: DGOYC. UNAM	55
TABLA 11. EXTRACCIÓN DE AGUA EN LOS POZOS DE CIUDAD UNIVERSITARIA DURANTE 2006, 2007 Y 2008. FUENTE: DGOYC. UNAM	58
TABLA 12. VARIACIÓN ENTRE LOS NIVELES ESTÁTICO Y DINÁMICO EN EL POZO III. FUENTE: DGOYC. UNAM	62
TABLA 13. VARIACIÓN ENTRE LOS NIVELES ESTÁTICO Y DINÁMICO EN EL POZO II. FUENTE: DGOYC. UNAM	62
TABLA 14. VARIACIÓN ENTRE LOS NIVELES ESTÁTICO Y DINÁMICO EN EL POZO I. FUENTE: DGOYC. UNAM	63
TABLA 15. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS TAQUES EN CIUDAD UNIVERSITARIA. FUENTE: DGOYC. UNAM	67
TABLA 16. PORCENTAJE Y LONGITUD DE LOS DIFERENTES MATERIALES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.	72
TABLA 17. PARTE DEL INVENTARIO DE MEDIDORES REALIZADO DURANTE LAS VISITAS DE CAMPO PARA IDENTIFICAR TOMAS DE AGUA.	81
TABLA 18. DEPENDENCIAS UNIVERSITARIAS (1 – 27) CON TOMA DE AGUA UBICADA.	82
TABLA 19. DEPENDENCIAS UNIVERSITARIAS (28 - 54) CON TOMA DE AGUA UBICADA.	83
TABLA 20. DIÁMETROS DE MEDIDORES INSTALADOS EN 1997 E INVENTARIADOS POR PUMAGUA.	84
TABLA 21. INCIDENCIA DE FUGAS EN MATERIALES DE LA RED DE AGUA POTABLE.	89
TABLA 22. DEPENDENCIAS DENTRO DEL SECTOR HIDRÁULICO I.	107
TABLA 23. DEPENDENCIAS DENTRO DEL SECTOR HIDRÁULICO II.	112
TABLA 24. DEPENDENCIAS DENTRO DEL SECTOR HIDRÁULICO III.	115
TABLA 25. DEPENDENCIAS DENTRO DEL SECTOR HIDRÁULICO IV.	118
TABLA 26. DEPENDENCIAS DENTRO DEL SECTOR HIDRÁULICO V.	120
TABLA 27. RESUMEN DE INFORMACIÓN DE SECTORES HIDRÁULICOS	121
TABLA 28. DEPENDENCIAS CON MEDIDOR INSTALADO.	133
TABLA 29. DEPENDENCIAS CON MEDIDOR POR INSTALAR	133
TABLA 30. VARIACIÓN DE LA DEMANDA HORARIA	137
TABLA 31. COEFICIENTES DE VARIACIÓN HORARIA OBTENIDOS POR PUMAGUA.	138
TABLA 32. CONSUMOS PER CÁPITA PROMEDIO POR TIPO DE USUARIO.	139
TABLA 33. TOTALIZADOR DE MEDICIONES CON LOS EQUIPOS INSTALADOS.	144
TABLA 34. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS QUE ALIMENTAN A CADA SECTOR HIDRÁULICO.	147

TABLA 35. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS QUE ALIMENTAN A CADA SECTOR HIDRÁULICO	147
TABLA 36. MUEBLES DE BAÑO EN EL EDIFICIO5 DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA. UNAM	168
TABLA 37- MUEBLES DE BAÑO DE BAJO CONSUMO INSTALADOS EN EL EDIFICIO 5	173
TABLA 38- INVERSIÓN EN EL CAMBIO DE MUEBLES DE BAÑO	176

Resumen Ejecutivo.

Hacer un uso eficiente del agua en Ciudad Universitaria es una prioridad ante los problemas actuales que se dan en esta materia en México y el resto del Mundo. Se dice que aquellos que la utilicen más eficientemente ahora tendrán una ventaja competitiva en el futuro respecto a aquellos que decidieron esperar. PUMAGUA es el programa por el mejor uso y manejo del agua en la UNAM y constituye la contribución de la comunidad universitaria a la solución de los problemas de tipo hídrico en el país. Es una oportunidad para avanzar en acciones y estrategias que logren el ahorro de este recurso.

En el Año 2006 se efectuó el IV foro mundial del agua en la Ciudad de México, escenario en el que surgió la idea de celebrar un primer encuentro universitario del agua del que resultaron una serie de orientaciones estratégicas sobre temas que constituyen aspectos fundamentales en esta materia. Estas orientaciones de alcance nacional plantearon la realización de un programa específico para la UNAM que convirtiera a la institución en ejemplo de buen manejo y uso del agua.

Con la participación de la UNAM en el IV Foro y el Primer Encuentro, el Consejo Universitario consideró necesario adoptar medidas concretas para lograr el uso y manejo eficiente del agua en todos sus Campus, no sólo ante los problemas asociados al crecimiento de sus instalaciones, sino también como ejemplo de hacer uso del conocimiento universitario en la solución de los problemas prioritarios del país. Fue por ello que, por mandato del propio Consejo, el Instituto de Ingeniería se dio a la tarea de plantear los objetivos, metas y las estrategias necesarias para poner en marcha el “Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM. PUMAGUA”.

Una de las tres metas principales de PUMAGUA es reducir 50.0% el suministro de agua potable en Ciudad Universitaria. La plataforma en la que encuentran sustento las acciones que el programa está llevando a cabo para lograr la meta propuesta son: 1) Diagnóstico, 2) Medición y 3) Monitoreo. En conjunto estas acciones representan un instrumento de evaluación, avance y permiten destinar recursos a aquellas acciones que redunden en mayores ahorros de agua.

El objetivo de esta Tesis es presentar los resultados hasta ahora alcanzados en PUMAGUA como parte de la etapa de diagnóstico, así como de los avances en las acciones enfocadas a la reducción de pérdidas.

En el capítulo uno se hace un análisis histórico del crecimiento de la población, infraestructura y demanda de agua potable en Ciudad Universitaria y se consignan los trabajos de uso eficiente de agua que han implantado otras universidades más allá de nuestras fronteras, haciendo énfasis en las acciones que determinaron el éxito de los mismos.

El capítulo dos se refiere al diagnóstico de los sistemas de agua potable, alcantarillado, riego, pozos de absorción y plantas de tratamiento de aguas residuales elaborado por PUMAGUA. Esta tesis centra la atención en el primero de ellos. En este sentido, se exponen las mediciones de extracción de agua de los pozos y niveles de los tanques de regulación que permitieron plantear un primer balance hidráulico. También describe las actuales políticas de operación, los materiales y diámetros de las tuberías que conforman la red de distribución, las acciones de tipo preventivo y correctivo que actualmente se llevan a cabo para la reparación de fugas en la red e identificación de tomas de agua potable, así como la ubicación de pozos y tanques de regulación. Se definen los conceptos de Macro y micro medición y la tecnología de punta empleada por estos equipos.

En el capítulo tres se explica brevemente el concepto de sectorización de redes de abastecimiento de agua potable, los criterios y herramientas más comunes para la selección de sectores y distritos hidrométricos. Se expone también la modelación matemática para la selección de cinco sectores hidráulicos en que se segmentó la red de Ciudad Universitaria. Paralelamente, se presenta un diagnóstico de cada sector hidráulico: población, tendencia de

ocupación, presiones medias, longitud y tipo de tubería, incidencia de fugas, pérdidas de agua medidas y consumos medidos estimados. Se plantean los beneficios esperados con la instalación de Válvulas Reguladoras de Presión (VRP) en cada sector. Se hace énfasis en la metodología para la sectorización de la red y se muestran los resultados de la campaña de medición de pérdidas de agua por sector y su distribución espacial en el campus, así como la propuesta de instalación de cinco Medidores Electromagnéticos y dos Válvulas Reguladoras de Presión. También se analiza la medición de caudales, tanto de aquellos que se extraen de los pozos, distribuyen en la red y posteriormente ingresan a los edificios.

Se describe el sistema de monitoreo para la medición en tiempo real tanto del agua que se extrae de los pozos y de aquella que ingresa a los edificios, así como la tecnología de este sistema integral de medición y los beneficios que se esperan luego de instalarlo.

En el capítulo cuatro se presentan las acciones propuestas para incrementar la eficiencia en el corto y mediano plazo en la red de distribución, y los resultados de sustitución de muebles de baño en el edificio 5 del Instituto de Ingeniería.

Finalmente, en el capítulo cinco se presenta una reflexión sobre el impacto que pueden tener la extensión del programa en el ámbito nacional y global y se concluye que las acciones que ha desarrollado PUMAGUA en conjunto con las dependencias universitarias permiten establecer indicadores sobre buenas prácticas en el uso del agua. Algunos de estos indicadores son contar con medidores instalados, detectar y reparar las fugas en un tiempo razonable, supervisar el funcionamiento y mantenimiento a los muebles sanitarios y difundir material educativo para orientación de los universitarios.

Capítulo 1. Antecedentes y estado del arte.

1.1.- ANTECEDENTES.

Con el crecimiento de la población del mundo y el aumento del uso de agua por persona, la demanda de agua dulce se está elevando extraordinariamente. Paradójicamente, los suministros de agua dulce son limitados y se cierne sobre ellos la amenaza de la contaminación. Para evitar una crisis, muchos países deben conservar agua, reducir la contaminación, regular el suministro y la demanda y contener el crecimiento de la población. Entre la demanda creciente de agua dulce por una parte, y los suministros de agua limitados y cada vez más contaminados por otra, muchos países en desarrollo enfrentan decisiones difíciles. La demanda creciente de agua para la agricultura de regadío, el consumo doméstico (municipal) y la industria está imponiendo una dura competencia por la adjudicación de los escasos recursos hídricos disponibles en las diversas zonas para satisfacer los diferentes tipos de uso.

México que es un país rico en recursos naturales; sin embargo, la época de lluvias tiene, en promedio, una duración de cuatro meses, lo que propicia una escasa captación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, una gran parte de ella se evapora. La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden, aunado a la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor. Bajo este panorama, México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua.

Con respecto a la Ciudad de México, la mayor parte del recurso hídrico se extrae de 607 pozos y de los ramales del Río Magdalena (54.0%) y el resto proviene del Sistema Cutzamala (30.0%), del Sistema Lerma (12.0%) y del Risco (4.0%). Se calcula que más de la tercera parte del agua suministrada se pierde en fugas en la red y que el uso más importante es el doméstico (42.0%

del agua extraída). En los últimos meses la Zona Metropolitana ha sufrido una sequía por arriba del promedio, lo cual ha generado serios problemas en el abasto de agua a la Ciudad de México.

En marzo de 2006 se llevó a cabo el IV Foro Mundial del Agua, evento de corte mundial donde se expusieron los principales contenidos relacionados con el vital líquido. Considerando que la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) es una de las principales instituciones a nivel nacional que interviene en diversos proyectos relacionados con el tema, se consideró su presencia en este evento mediante un espacio donde se mostraron los trabajos de más de veintiséis dependencias universitarias relacionadas con el agua. La UNAM también participó organizando sesiones dentro del Foro como las de Desalación, Gobernabilidad Hidráulica así como la participación en múltiples reuniones de trabajo.

A raíz de este evento, la UNAM organizó el Primer Encuentro Universitario del Agua como una respuesta a los planteamientos y debates que se dieron durante el IV Foro, el objetivo fue el de contribuir a una coordinación efectiva de los esfuerzos que los universitarios realizan en la investigación, docencia y difusión en materia de recursos hidráulicos; particularmente, se facilitó la adopción del manejo de estos recursos en forma integral y multidisciplinaria tal como se ha planteado en los recientes foros internacionales, además de fortalecer el intercambio de ideas, experiencias y propuestas entre los investigadores, profesores y alumnos que, junto con otros miembros de la sociedad y de los tres niveles de Gobierno, tienen interés y responsabilidad en los aspectos relacionados con el agua.

Con la participación de la UNAM en estos dos eventos multidisciplinarios, en 2007 el Consejo Universitario de la UNAM consideró necesario adoptar medidas concretas para lograr el uso y manejo eficiente del agua en todos sus Campus, no sólo ante los problemas asociados al crecimiento de sus instalaciones, sino también como ejemplo de hacer uso del conocimiento universitario en la solución de los problemas prioritarios del país. Fue por ello que, por mandato del propio Consejo, el Instituto de Ingeniería se dio a la tarea de plantear los objetivos, metas y las estrategias necesarias para poner en marcha el “Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM. PUMAGUA”.

Finalmente, en enero de 2008 se puso en marcha el programa PUMAGUA con un objetivo principal, el de “Implantar un programa integral de manejo, uso y reuso del agua en la UNAM con la participación de toda la comunidad Universitaria”; cuyas metas concretas para el periodo 2009-2011 son: 1). Reducir en un 50.0 % el suministro de agua potable; 2). Mejorar la calidad del agua potable en todas las instalaciones y el agua de reuso para riego de jardines de excelente calidad y 3). Lograr la participación de toda la comunidad universitaria.

1.1.1.- Infraestructura hidráulica de Ciudad Universitaria: Pasado y Presente.

A principios de los años cuarenta se buscó un lugar para la nueva sede de las instalaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ya que los edificios en el primer cuadro de la Ciudad de México resultaban insuficientes. En Octubre de 1949, bajo la gestión del Rector Luis Garrido y el presidente Miguel Alemán Valdés, inician los trabajos de construcción de la Ciudad Universitaria. Las obras de infraestructura iniciales fueron las correspondientes al sistema de agua potable y de alcantarillado. Finalmente, el lunes 22 de marzo de 1954 el presidente Adolfo Ruiz Cortines a nombre del Estado Mexicano, hizo entrega de las instalaciones de la Ciudad Universitaria con una población estudiantil de 23 mil 192 alumnos, siendo 19 mil 242 varones y 3 mil 950 mujeres, 2 mil 136 trabajadores administrativos y 5 mil 188 catedráticos siendo un total de 30 mil 516 habitantes.

La principal fuente de agua de la recién construida Ciudad Universitaria fue el también recién pozo de la Facultad de Química (Pozo I), de este pozo se bombeaba agua a los tanques alto y bajo de los que se suministraba agua potable a tres zonas (Ver figura 2.0):

- A. **Zona Escolar o Campus Central,**
- B. **Zona de Campos Deportivos y,**
- C. **Estadio Universitario.**

Un balance hidráulico correspondiente a estos años no fue posible establecerlo toda vez que no se cuenta con información correspondiente; no obstante una primera estimación nos muestra que el consumo por parte de los usuarios pudo ser de hasta 7.25 l/s.

Tabla 1. Demanda inicial estimada.

Población	Tipo de usuario	Consumo (L/hab/ día)	Q (l/s)
24000	alumnos	20	5.55
2150	administrativos	20	0.49
5200	catedráticos	20	1.20
Demanda inicial estimada			7.25

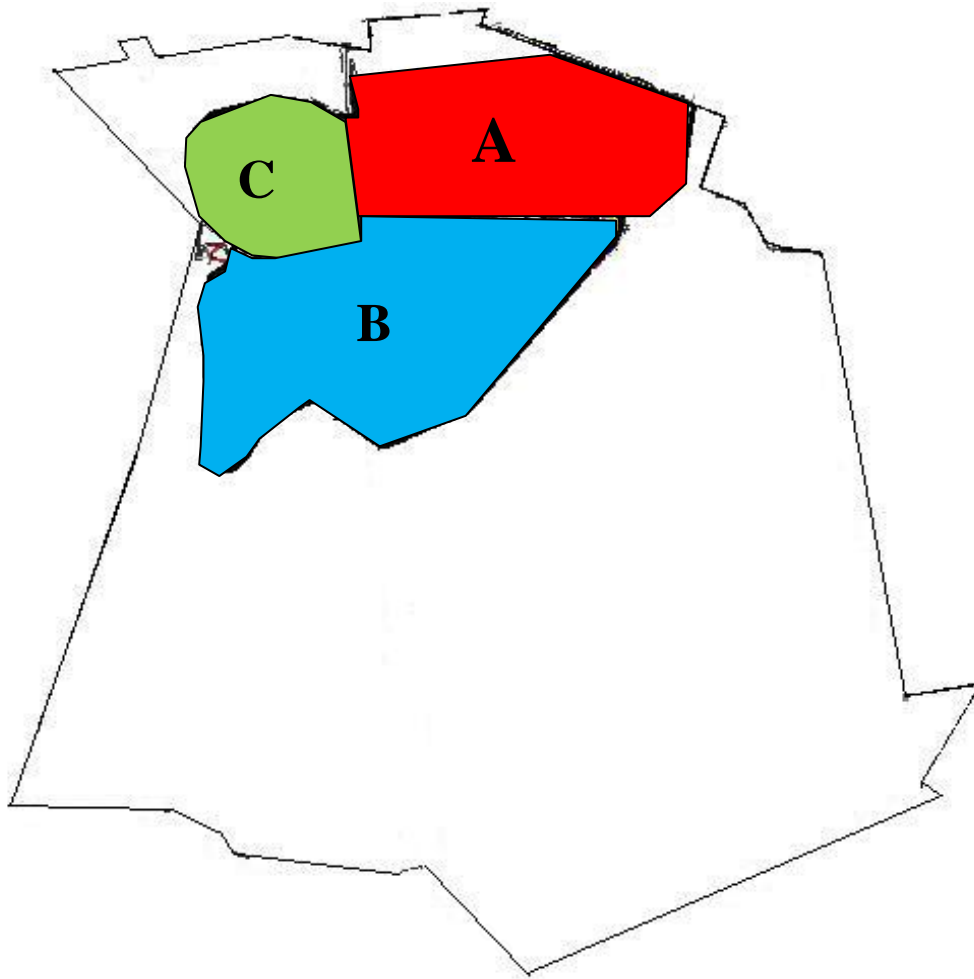


Figura 1. Zonas Iniciales: A: Zona escolar, B: Campos deportivos, C: Estadio Olímpico. FUENTE: DGOyC. UNAM



Figura 2. Vista panorámica del Campus central luego de su inauguración en Noviembre de 1952. FUENTE: La jornada

El incremento en la demanda de los servicios públicos está relacionado con el crecimiento del número de usuarios, de manera que el diseño de proyectos hidráulicos deben hacerse previendo un crecimiento en estos; no obstante, cuando se rebasa la capacidad originalmente proyectada, es necesario una nueva inversión que busque satisfacerla o, más recientemente, hacer más eficiente su uso.

Ciudad Universitaria no ha sido la excepción, ante el crecimiento de la demanda de servicios educativos de nivel superior por parte de la población, surgió la necesidad de nuevos espacios para la enseñanza, investigación y difusión de la cultura que se construyeron de manera rápida y dispersa, por ello, a principio de los años setentas es puesto en marcha un segundo pozo (Ex Planta incineradora) con extracción de 91 l/s. Por esos mismos años se pone en marcha la planta de tratamiento de aguas residuales de “Cerro del Agua” (con una capacidad original de 40 l/s) con el propósito de incrementar el intercambio de agua potable por agua de reuso para el riego de áreas verdes. Esta planta trataría las aguas residuales correspondientes a la zona norte o “Casco Viejo”, por este motivo las entidades construidas en la hoy conocida zona de GEOS y zona cultural vertían sus aguas residuales a grietas o fosas sépticas. En esa misma década se construye la planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, originalmente proyectada para 7.5 l/s.

En 1984 es puesto en marcha un tercer pozo y tanque (Pozo y Tanque de Vivero Alto) con una capacidad de extracción de 150 l/s y capacidad de 6000 m³, respectivamente, debido al crecimiento de la zona sur del campus, además, se habilitó una línea de conducción del nuevo Tanque al Tanque Alto para “auxiliar” a este último cuando sus niveles de agua se abatieran demasiado rápido. En esta misma zona existió otro pozo, aunque dejó de operar por causas no muy claras.

El crecimiento de la demanda y el descenso en los niveles de los tanques de una manera muy vertiginosa, sobre todo en épocas de estiaje, obligó a los operadores a hacer derivaciones de las líneas de conducción a la red, por lo que se modificó la forma de distribución del agua.

En 1997 se trabajó en el establecimiento de normas y procedimientos para optimizar el consumo de agua potable y el manejo de agua tratada. Ese mismo año, en un esfuerzo por evitar que se continuara con la descarga de aguas residuales a grietas, se ponen en operación 26 fosas sépticas o plantas tipo BRAIN¹ que en conjunto tratarían 1.8 l/s y cuya función principal fue la de mejorar la calidad del agua residual descargada a grietas. Estas acciones fueron producto del plan rector del campus elaborado por la DGOyC en 1995.

En el año 2000, la zona de los GEOS, que es la zona donde se ubican la mayor parte de los institutos de investigación además de las Facultades de Ciencias y de Medicina Veterinaria y Zootecnia, constituía la zona con descargas dispersas de mayor magnitud dentro de Ciudad Universitaria, lo que motivó la construcción de una red de alcantarillado sanitario para esta zona de manera que permitiera la recolección del agua residual de sus edificios y su conducción a la planta de tratamiento de Cerro del Agua para su disposición y/o tratamiento.

Desde ese entonces, se ha tratado de dar seguimiento de la mejor manera posible al manejo del agua en el campus por parte de la Dirección General de Obras y Conservación (DGOyC), de modo que destacan obras importantes como la perforación de dieciséis pozos de absorción para la captación del agua de lluvia; la instalación de treintaicinco medidores para monitorear el suministro de agua; la construcción de lavaderos en vialidades para desviar el agua pluvial a mantos acuíferos; además de la sustitución de tuberías, válvulas y bombas.

¹ BRAIN: Bio - Reactor Anaerobio Integrado.

Actualmente, la DGOyC con el propósito de incrementar la capacidad de tratamiento de aguas residuales lleva a cabo la construcción de dos colectores que permitirán drenar el agua de la zona de institutos y teatros al sur del campus para canalizarla hacia la planta de tratamiento de ciencias políticas a modo de hacer posible el reemplazo de agua potable por agua tratada destinada al riego de las áreas verdes de estas zonas.

1.1.2.- Crecimiento de la población de Ciudad Universitaria.

Desde la inauguración de cursos en Marzo de 1954 la población del campus ha mantenido una tendencia de crecimiento, manifestada de manera más significativa durante los primeros cinco decenios de inaugurado el campus; posterior a estos, el incremento de la población fue gradual; aunque esta tendencia está marcada por dos periodos (1986 y 1999) en los que la población estudiantil disminuye hasta en un 9.0%. La figura 3 muestra el crecimiento de la población en Ciudad Universitaria.

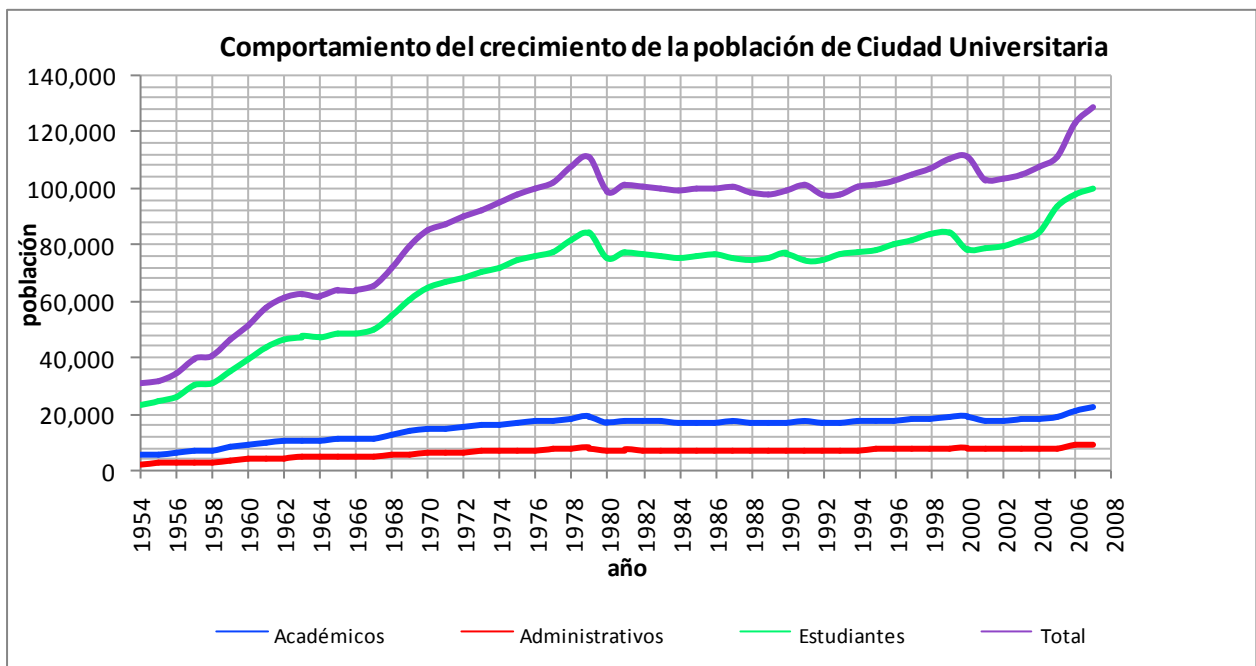


Figura 3. Comportamiento del crecimiento e la población de Ciudad Universitaria. FUENTE: DGP.UNAM

De 1954 y hasta el año de 1980 el crecimiento de la población presentó una tasa media anual de 13.79% al pasar de 30 mil 516 a 111 mil 47 habitantes; de 1981 y hasta 1999 el crecimiento se mantuvo en una tasa media anual casi constante de 0.51%. En 1986 y 1999 la población,

principalmente estudiantil, disminuye hasta en un 9.26% como consecuencia de los conflictos que vivió la universidad en esos mismos años. (Fuente: DGP. UNAM)

En el año 2008 la población total en Ciudad Universitaria aumentó hasta alcanzar los 131 mil 682 habitantes lo que ha generado una mayor demanda agua potable. Ese mismo año la Universidad recibió en sus aulas a poco más de 37,000 estudiantes de nuevo ingreso, de los cuales poco más de 20,000 ingresaron a una de las más de 80 licenciaturas que imparte la Universidad en 22 facultades y cuatro escuelas nacionales ubicadas en la zona metropolitana, en 42 campus del interior del país y Ciudad Universitaria, por lo que a esta última ingresaron cerca de 12,000 nuevos estudiantes.

En lo que respecta a su superficie, Ciudad Universitaria cuenta con 700 hectáreas, de las cuales, 240 son parte de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, 305 hectáreas de Planta física y 155 hectáreas de riego.

En los últimos ocho años el crecimiento de nuevos espacios pasó de 10,325 m² construidos en el año 2000 a 72, 539 m² en el año 2008. Actualmente la planta física en Ciudad Universitaria asciende a 1, 144, 576 m² (114.45 ha), agrupada en 404 edificios y 144 entidades, área casi similar a la planta física construida fuera del campus siendo este de 1, 089, 640 m² concentrando a 813 edificios en 177 conjuntos (Tablas 2 y 3). Fuente: DGP. UNAM

Tabla 2 Planta física construida en Ciudad Universitaria y fuera de ella. FUENTE: Anuario estadístico 2008. DGP. UNAM

**UNAM. PLANTA FÍSICA
ÁREA CONSTRUIDA (m²)
2007**

	En C.U. (m ²)	Fuera de C.U. (m ²)	Total (m ²)
Área construida	1,123,777	1,089,640	2,213,417
Área en construcción	19,554	8,711	28,265
TOTAL	1,143,331	1,098,351	2,241,682

Tabla 3 Capacidad Instalada por zona Geográfica 2007. FUENTE: Anuario Estadístico 2008. DGP. UNAM

UNAM		
CAPACIDAD INSTALADA POR ZONA GEOGRÁFICA 2007		
	Conjuntos	Edificios
Extranjero	5	5
Interior de la República	64	207
Área metropolitana	108	612
Ciudad Universitaria	164	402
TOTAL	341	1,226

El incremento en la matrícula de la Universidad ha motivado la expansión de esta a 24 entidades federativas, el área metropolitana, Estados Unidos, Canadá y Europa. (Figura 4)



Figura 4. Presencia de la UNAM en el Interior del País y más allá de sus fronteras. FUENTE. Anuario estadístico 2008. DGP. UNAM.

Durante los dos periodos de admisión de 2008 (Febrero y Junio) se presentaron al concurso de selección para ingreso a la UNAM un total de 174,151 egresados del bachillerato. De ellos consiguieron ingreso 15,301 aspirantes (9,428 en el primer examen y 5,873 en el segundo). La mayoría de los no aceptados buscaron ingresar a otras de las Instituciones de Educación Superior (IES) Públicas del área metropolitana. Como la capacidad total de las IES públicas del conglomerado urbano se estima en un máximo de 75,000 cupos de primer ingreso, algo más de la mitad de egresados que buscan acceder a este grupo de instituciones se ven obligados a buscar alternativas: esperar al próximo periodo de inscripciones, buscar sitio en las universidades privadas –las buenas y las patito- o cancelar su aspiración de proseguir estudios superiores. La mayoría de las universidades públicas del área metropolitana han procurado aumentar su capacidad de ingreso. La UNAM, por ejemplo, aceptaba a principios de esta década a menos de 30 mil aspirantes, cifra que se llenaba mayoritariamente por los egresados del bachillerato de la propia universidad (ENP y CCH) dejando menos de diez mil lugares al concurso abierto de selección. En la actualidad la capacidad de primer ingreso supera los 38 mil lugares, contando los sistemas escolarizado, abierto y a distancia de nivel licenciatura, y se disponen para acceso por concurso de selección cerca de 15 mil sitios. Durante el concurso de ingreso a licenciatura en el año 2009 la demanda de ingreso se incrementó hasta en un 40%. (Fuente: El Universal. Abril de 2009.)

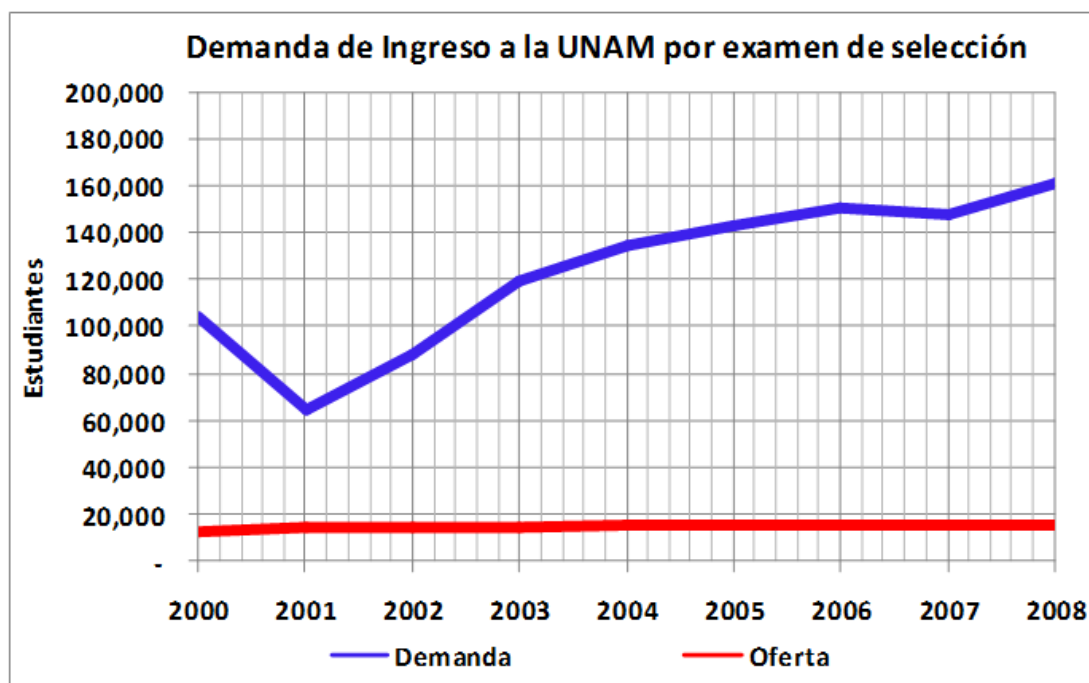


Figura 5. Demanda de ingreso a la Licenciatura a través de concurso de selección. FUENTE: Anuario estadístico. DGP. UNAM

De incrementarse la matrícula en Ciudad Universitaria será necesario la creación de nueva infraestructura y la ya existente deberá hacerse más eficiente.

1.1.3.- El uso eficiente de agua.

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua, la palabra eficiencia es la capacidad de disponer de alguien o algo para conseguir un efecto determinado. En cuestión de agua esta definición significa hacer un uso adecuado del recurso con el empleo de tecnologías y prácticas mejoradas que proporcionan igual o mejor servicio con menos líquido.

El uso eficiente del agua en México se entiende como la optimización del uso del agua y de la infraestructura correspondiente, con la participación activa de los usuarios y con un alto sentido de equidad social (Arreguín, 1991). Las técnicas de uso eficiente del agua potable que mayormente se han impulsado en las ciudades mexicanas se clasifican en siete grupos: a) Macromedición, b) Micromedición, c) Reducción de fugas, d) Tarifas, e) Reglamentación y f) Comunicación y participación y g) Dispositivos ahorradores de agua. (Ochoa Alejo, Leonel. Políticas y Resultados de Programas de Uso Eficiente de Agua en México. IMTA. Feria del Agua en Santiago de Cali. Colombia. 2004.)

El uso eficiente del agua está muy relacionado con otros conceptos básicos del manejo actual de recursos ambientales, y en muchos casos, forma parte integral de ellos. De estos conceptos relacionados, tal vez el más arraigado es el de la conservación del agua. Este concepto sugiere que el uso eficiente del agua es cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad. Al mismo tiempo, la definición de la conservación sugiere que las medidas de eficiencia deben tener sentido social y económico, además de reducir el uso del vital líquido por unidad de actividad. (Palacios Fonseca, Ana. Revisión hidráulica y sectorización de una red de distribución de agua potable y su aplicación a la zona poniente de Tepic, Nayarit)

Los programas de uso eficiente de agua, instrumentados en México desde 1984, son una herramienta a largo plazo, la más barata de suministro adicional y muchas veces la única opción disponible. No sólo aporta beneficios al sistema que lo efectúa, también significa mejoras para otros usuarios. El uso racional del agua puede ahorrar la construcción de más obras de abastecimiento, gestión de créditos para derechos de agua, uso de equipos, recursos para la

gestión de planes para la conservación del suministro, así como de obras de riego, generación hidroeléctrica y hasta recreación.

Es importante promover el uso eficiente de agua y tratar de ir eliminando algunas actividades de manera paulatina que afecten el uso racional del recurso. Es también importante que existan medidas de tipo estructural como la sustitución de tuberías, reparación de fugas, control de presiones en los sistemas de distribución e instrumentación de programas de uso eficiente de agua al interior de las dependencias universitarias.

El uso eficiente del agua es de suma importancia en recursos ambientales, como lo es la conservación del agua, porque asegura un desarrollo sostenible para los habitantes de hoy y las generaciones futuras.

1.2.- PROGRAMA DE MANEJO, USO Y REUSO DE AGUA EN LA UNAM: PUMAGUA.

1.2.1.- Objetivos y Metas.

El programa PUMAGUA tiene como objetivo principal el de *“Implantar un programa integral de manejo, uso y reuso del agua en la UNAM con la participación de toda la comunidad Universitaria”*, con tres metas concretas a lograrse en tres años (2009-2011):

- ***Reducir*** 50.0% la extracción de agua.
- ***Asegurar*** la calidad del agua
- ***Lograr*** la participación de toda la comunidad universitaria

Los objetivos particulares son:

- ***Desarrollar*** bases científicas, métodos y prácticas para el establecimiento de un programa de manejo, uso y reuso del agua, en cantidad y calidad, aplicables a todas las instalaciones universitarias.
- ***Determinar***, el estado actual de la infraestructura de distribución de agua que se utiliza en el Campus de Ciudad Universitaria, de la calidad del agua.

- **Impulsar**, en el corto plazo, la adopción generalizada de las distintas medidas de eficiencia que derivan comúnmente de una auditoría de agua.
- **Revisar** la práctica actual y formular los programas de recirculación y de reuso del agua residual tratada en la UNAM, con objeto de liberar volúmenes de agua potable para actividades que así lo requieran.
- **Realizar** un Programa de Comunicación y Difusión del PUMAGUA, cuya finalidad es difundir el concepto del cuidado del agua en la UNAM como ejemplo de liderazgo de la comunidad universitaria, y posteriormente divulgar los resultados obtenidos con la implantación del programa, así como plantear un esquema de incentivos que estimule el ahorro del agua en las dependencias de la UNAM.
- **Impulsar**, dentro de la UNAM, el desarrollo de tecnologías que contribuyan a alcanzar mayores niveles de eficiencia y reuso del agua.
- **Proteger** la salud de estudiantes, profesores, investigadores y trabajadores de la UNAM.

1.3.- EXPERIENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES.

Con respecto a casos de programas de uso eficiente del agua en Universidades más allá de nuestras fronteras, destacan los casos de las Universidades de Stanford y Sídney. Ambas universidades son ejemplos exitosos de programas que en busca de hacer más eficiente el uso del agua dentro de sus instalaciones, han recurrido a tecnologías de punta y estrategias que involucran a su comunidad. Algunas de las estrategias que se mencionarán se están tratando de adaptar a las condiciones que existen en Ciudad Universitaria de la UNAM.

1.3.1. Universidad de Stanford.

La Universidad de Stanford se ubica entre San Francisco y San José, California, Estados Unidos, en el corazón de Silicon Valley, es reconocida como uno de los líderes mundiales en investigación y las instituciones de enseñanza.

Stanford inscribe alrededor de 6, 700 universitarios y cerca de 8, 000 estudiantes de posgrado de los Estados Unidos y alrededor del mundo cada año. La universidad está dividida en un número de escuelas como la Escuela de Negocios de Stanford, Stanford Law School, Stanford School of Medicine, Stanford y la Escuela de Ingeniería. La universidad está en Silicon Valley, y sus alumnos han fundado compañías como Nike, Hewlett-Packard, Electronic Arts, Sun Microsystems, Nvidia, Yahoo, Cisco Systems, Silicon Graphics y Google.

La Universidad de Stanford, posee (33.1 km²), que lo convierte en uno de los campus universitarios más grandes del mundo. Las mujeres representan el 48.9% de los estudiantes y el 37.6% de los profesionales y estudiantes de posgrado.

El abastecimiento de agua potable de la Universidad se obtiene a través de tres pozos profundos propiedad de la Universidad con una capacidad de 113 l/s, además de contar con suministro de 57 l/s de parte del condado de San Francisco, teniendo un suministro total de 170 l/s. El consumo promedio en la Universidad es de 142 l/s, lo que representa tan sólo el 1.5% del total del consumo de la Ciudad de Francisco (Figura 6) convirtiendo a la Universidad en uno de los más bajos consumidores de agua en el condado.

El agua es almacenada en dos tanques de regularización de 9,000 y 27, 000 m³ de capacidad respectivamente. La red de distribución de agua potable tiene una longitud de 1,600 metros con diámetros desde 1 hasta 24 pulgadas. Se tienen identificadas tres zonas de presión en la red con valores de hasta 45 metros de columna de agua (4.5 Kg/cm²), que obedecen a la manera en que es abastecido el campus. La figura 7 muestra la configuración del sistema de agua potable. En la Universidad opera también un sistema separado de aguas tratadas destinadas para recreación (Lago) e hidrantes. Desde 1985 existe un plan que busca utilizar las aguas tratadas para el riego de áreas verdes que permitan el reemplazo del agua potable. Una parte de sus instalaciones hidráulicas datan de los años 30`s aunque la mayor parte fue instalada en la década de los años sesenta.

Figure C-1. Stanford's Historical Water Supply Production 1995-2000

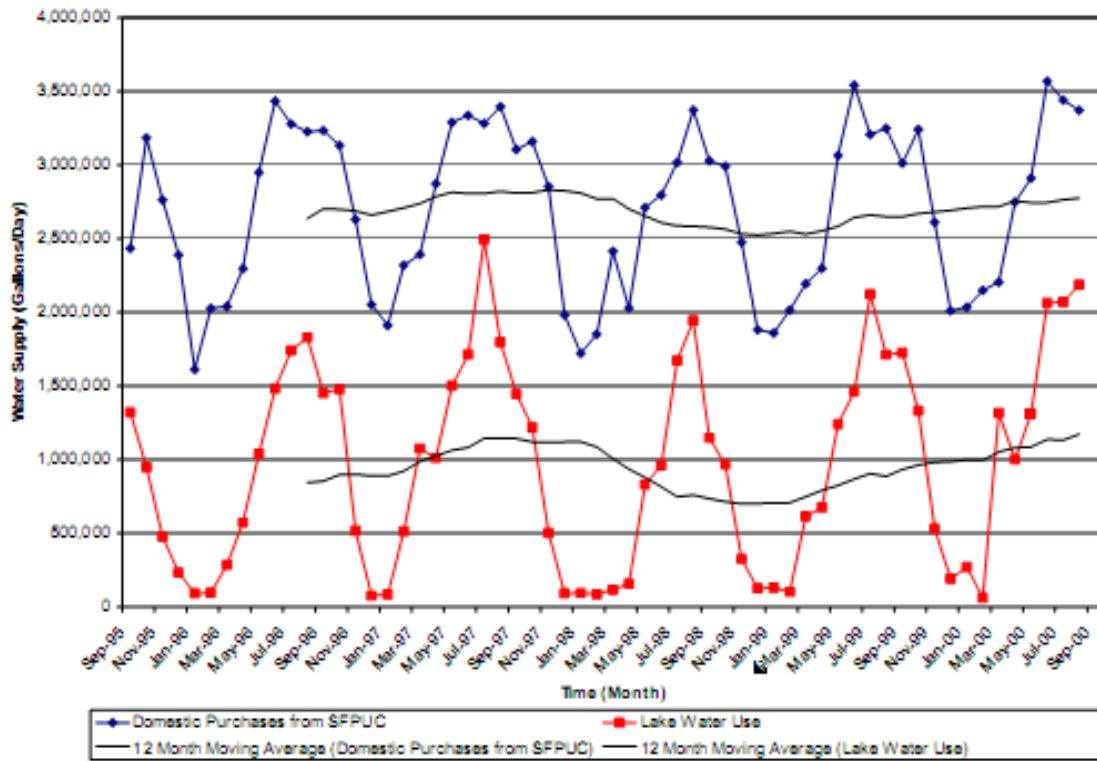


Figura 6. Suministro Histórico (2.7 MGD = 142 l/s) de la Universidad de Stanford

La Universidad de Stanford ya ha implantado desde hace 15 años con éxito un programa de conservación de agua luego de una fuerte sequía que obligó a las autoridades del estado a tomar medidas de reducción de suministro. Este plan redujo, en lo que respecta al riego de áreas verdes, la cantidad de agua potable al sustituirla por aguas tratadas; adicionalmente, utilizó flora nativa en sus jardines y se invirtió en nuevos sistemas de riego automatizado que utilizan la tecnología de la Evapotranspiración para indicar la hora de riego en base a la humedad del suelo. También se invirtió en la sustitución de más de 700 muebles de baño de bajo consumo de agua: por ejemplo, se sustituyeron tazas de 5gpf (22.3 Lpf) a 1.6 gpf (7.3 Lpf), además, ha planteado un nuevo programa de conservación de agua cuya meta principal es la de promover el uso eficiente del recurso con sistemas que utilicen agua de la manera más eficiente y a través de una fuerte campaña de educación a los usuarios. Este Programa de Conservación de Agua ha logrado en 7 años la disminución de un 15% en el consumo de agua al pasar de 142 l/s a 120 l/s, luego de la implantación de diferentes medidas, tales como las auditorías de agua, el cambio de muebles sanitarios (90% de muebles sustituidos). Los costos de sustitución por taza fueron de hasta \$550 USD por unidad, regaderas \$410 USD por unidad,

mientras que los mingitorios costaron hasta \$650 USD por unidad), también se sustituyeron equipos de enfriamiento con costos de hasta \$1200 USD por unidad sustituida, se hicieron nuevos diseños de la vegetación del campus con un costo de \$250,000 USD por hectárea, diseños de sistemas automatizados de riego con un costo de \$2 500 USD por hectárea, y un programa de comunicación.

Appendix A

Figure 1. Sources of Domestic Water Supply

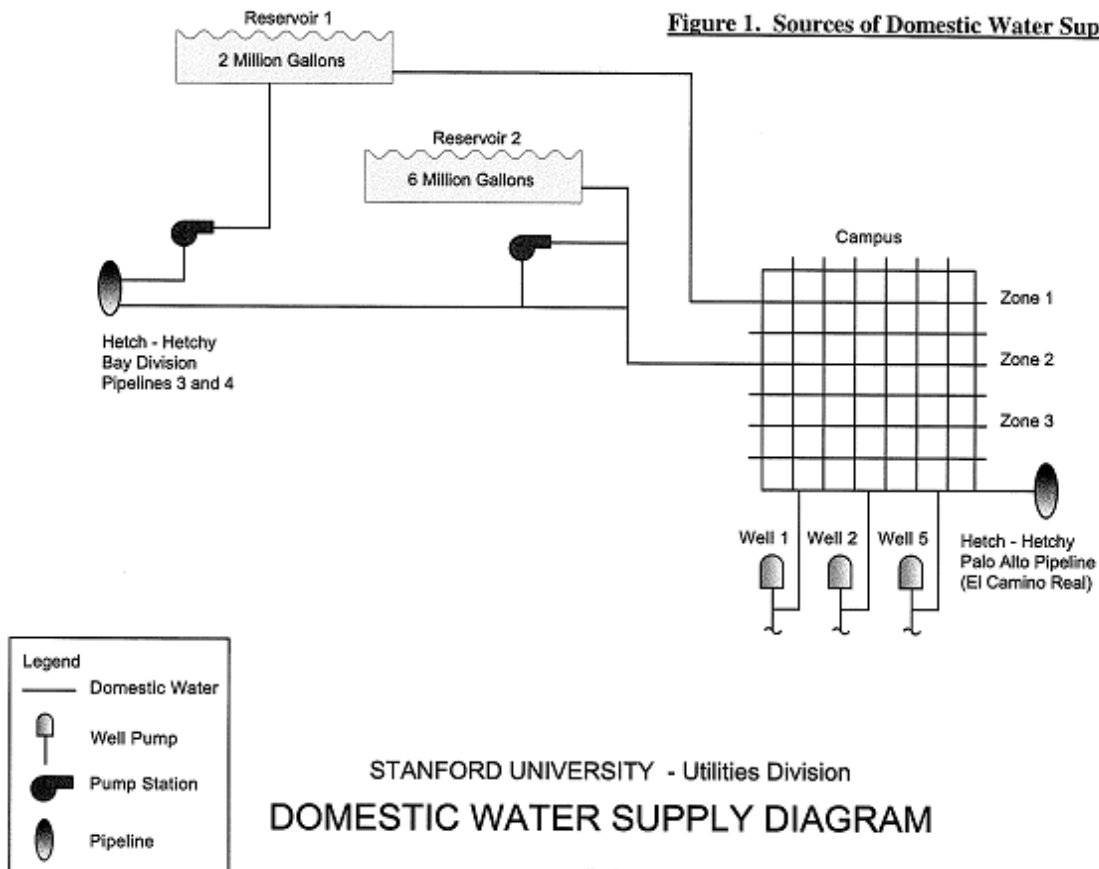


Figura 7. Sistema de agua Potable de la Universidad de Stanford.

Las medidas implementadas resultaron luego de identificar los mayores consumidores de agua en la Universidad (9 tipos de usuario) y de proyectar los consumos de agua con y sin programa de uso eficiente; según las proyecciones (Figura 10), si el consumo de agua en el campus rebasa los 171 l/s sería necesaria la construcción de un nuevo pozo de 37 l/s con una inversión de \$ 1, 000,000 USD aunado a los costos de operación y mantenimiento que este pozo traería consigo. Este programa permitirá al mismo tiempo el ahorro de energía con la sustitución de muebles de baño, principalmente regaderas y sistemas de enfriamiento.

Table 6-1. Results of Evaluation of Individual Measures

No.	Measure	Evaluation Criteria		
		Average Water Savings, mgd*	Utility Benefit-Cost Ratio	Cost of Savings per million gallons, \$
1.	Ultra Low Flush Toilet Replacement	0.084	1.09	1,451
2.	Showerhead Retrofit	0.007	2.77	581
3.	Urinal Replacement	0.023	1.54	1,026
4.	High-Efficiency Washer Replacement**	0.010	19.14	492
5.	Public Outreach Programs	0.026	1.02	3,180
6.	CEF Blow down Reuse	0.060	1.04	1,000
7.	Faculty/Staff Housing Water Audits	0.037	3.46	733
8.	Landscape Water Management	0.010	1.38	480
9.	Selective Landscape Retrofit	***	***	***
10.	New Water Efficient Landscape	0.022	0.27	3,230
11.	New Landscape on Lake Water	0.086	6.72	132
12.	ET Controllers on New Faculty/Staff Housing	0.124	0.96	321
13.	Selected Academic Areas on Lake Water	0.013	5.86	163
14.	Football Practice on Lake Water	0.011	12.31	78

* Caution: savings cannot be added without handling measure overlap water savings averaged over 30 years. Actual savings in 2010 may be higher. (See Appendix D);

** This measure's benefit-cost ratio includes a rebate of \$200 per washing machine.

*** To be determined, the annual report will list specific projects completed during the reporting year and associated estimated water savings.

Figura 8. Resultados de la Evaluación de medidas de reducción de consumo de agua implantadas.

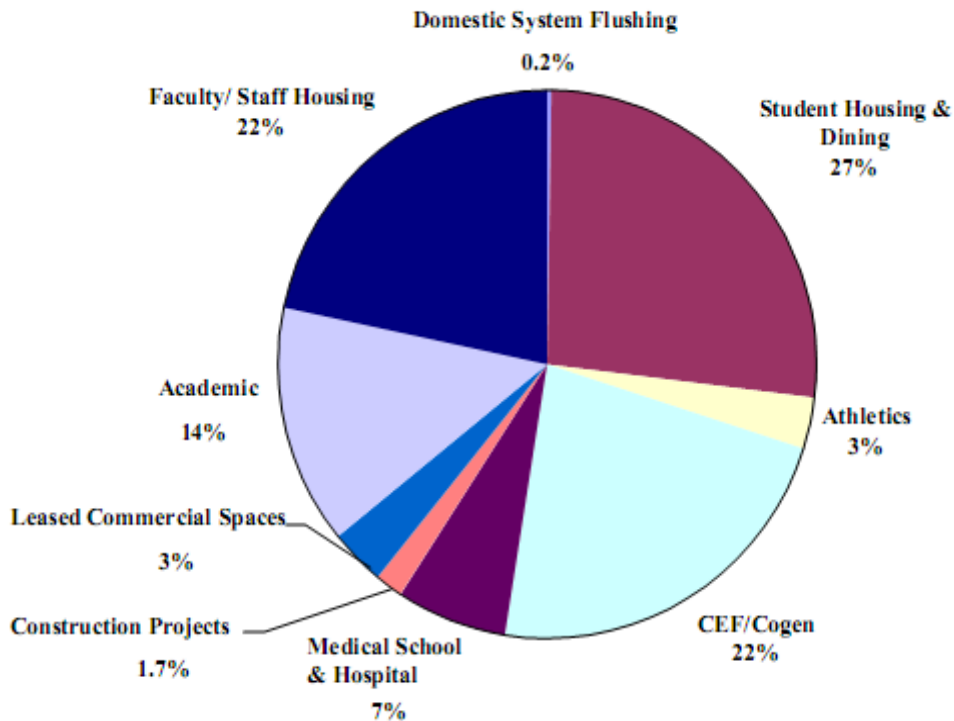


Figura 9. Promedio anual de demanda de agua según el tipo de usuario.

Figure 6-1. Projected Water Demand with and without Water Conservation Master Plan

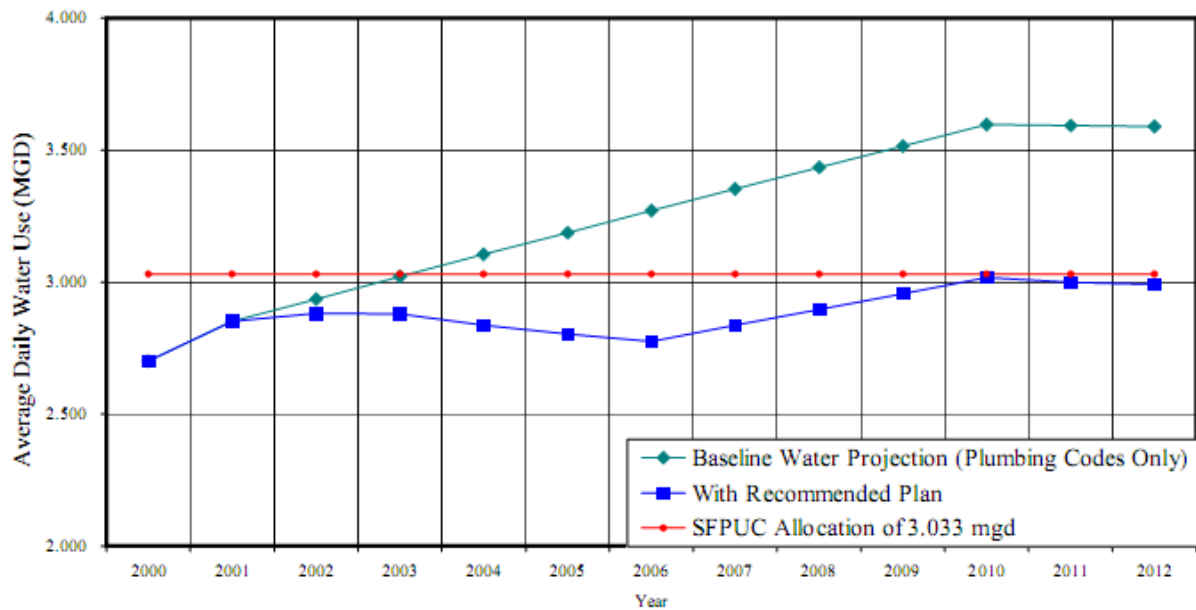


Figura 10. Proyección de la demanda de agua con y sin programa de conservación de agua.

1.3.2. Universidad de Sydney, Australia: Water Savings Action Plan.

En octubre de 2005 el ministro de Gobierno de Australia emitió la Orden de Ahorro de Agua bajo la Ley de Administración y Servicios en respuesta a la intensificación de la crisis de agua que ha azotado a la Zona Metropolitana de Sídney. Desde 1998, la última vez en que los niveles de agua en la presa se Warragamba (Principal fuente de abastecimiento de Australia) estaban a plena capacidad, el suministro ha descendido constantemente hasta parar en un 39.1%. En el debate político se ha intensificado en torno a los temas de la desalinización, reciclaje de agua, etc. La Universidad de Sydney se ubica como la más grande universidad de Australia, cuenta con una población de 45,000 estudiantes y 6,000 administrativos. El Water Savings Action Plan (Plan de acciones de ahorro de agua) fue diseñado para dos (Darlington y Camperdown) de los siete campus con que cuenta la Universidad.

La Universidad adoptó una Política Ambiental en 2002 con la que se compromete a la organización de prácticas ecológicamente sostenibles. Al mismo tiempo, ha puesto en marcha su programa de renovación de infraestructura en la que el agua.

Los logros alcanzados en materia de agua son profundos y significativos. Es importante señalar que el agua ha sido objeto de seguimiento desde 1988 y gestionado por un puesto Administrativo de Agua desde 1998. Las acciones que permitieron reducir hasta 35.0 % el suministro de agua en la Universidad son:

- Instalación de medidores de agua
- Dirigir programas de detección y reducción de fugas
- Reducción y control de presiones.
- Sustitución de Torres de enfriamiento.
- Estudios y automatización de Riego.
- Uso de aguas tratadas para riego
- Reemplazo de equipos de baño de bajo consumo.
- Colocar equipos de laboratorio de bajo consumo.
- Suministros alternativos, como aprovechamiento de agua de lluvia.

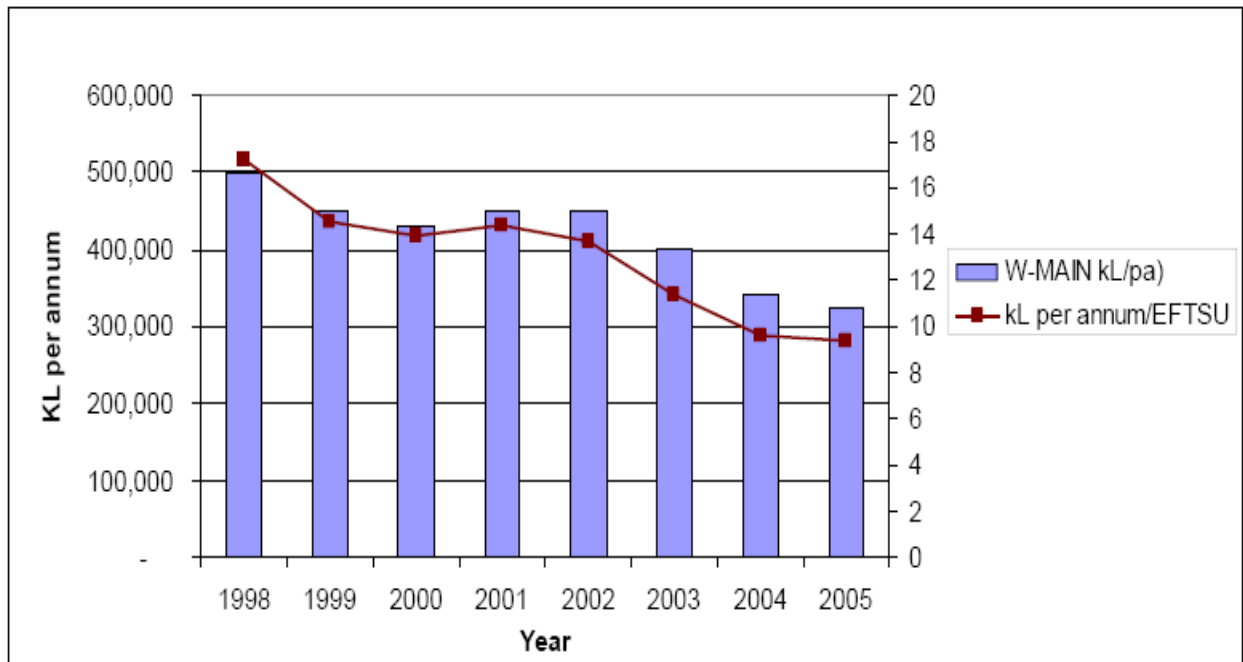


Figura 11. Tendencia de consumo en la Universidad

1.3.3 Estudio de la Facultad de Ciencias de la UNAM

Por otro lado, un estudio realizado por alumnos de la carrera de Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM hace una descripción de la infraestructura hidráulica del campus y acciones de ahorro de agua implementadas por algunas entidades universitarias. Este trabajo incluyó un estudio entorno a las percepciones y conductas sobre el uso del agua. De los resultados destacan los siguientes puntos:

- ✓ La población universitaria no percibe la escasez de agua en CU.
- ✓ Existe poco conocimiento sobre cómo se suministra el agua y sobre las características de los aparatos e instalaciones de bajo consumo.
- ✓ El 49% de la población ha detectado la presencia de fugas pero sólo la tercera parte, en su mayoría mujeres, las ha reportado.
- ✓ Cerca del 50% de los encuestados percibe que el manejo de agua en CU es inadecuado.
- ✓ Más del 80% dijo haberse enterado de algún programa implementado en CU a través de medios internos de comunicación y de medios masivos.
- ✓ El 95% de los encuestados considera importante establecer programas para el manejo eficiente del agua.

Capítulo 2. Descripción y diagnóstico del sistema

Un diagnóstico es una actividad que permite conocer y dimensionar la magnitud de un problema, y va de la mano con el hecho de comparar escenarios con el fin de identificar la o las problemáticas que dificultan el funcionamiento óptimo del mismo; para llevarlo a cabo generalmente se hace una comparación o evaluación de un escenario actual con escenarios ideales, visionarios o de liderazgo, esto hace posible conocer sus principales problemáticas y sus soluciones.

El diagnóstico llevado a cabo durante 2008 por PUMAGUA tuvo como marco de acción, a nivel piloto y con la idea de hacer extensivos sus resultados, el Campus de Ciudad Universitaria. En él se combinaron actividades que buscaron conocer la problemática que en materia de agua presenta el campus universitario y, al mismo tiempo, establecer una serie de estrategias que buscan remediar o bien, disminuir la magnitud del problema.

Se midieron los caudales que ingresan a la red de distribución y los que retornan al sistema de alcantarillado. La magnitud y uso de estos caudales están en función de las actividades que se lleven a cabo dentro del edificio en particular, de las condiciones físicas de la red de distribución, así como de las instalaciones hidráulicas internas. Lo anterior se complementó con visitas técnicas, encuestas y entrevistas a través de un programa de Comunicación y Participación de la comunidad Universitaria; lo que permitió conocer con detalle el uso del agua en las distintas instalaciones de Ciudad Universitaria.

2.1.- EL SISTEMA HIDRÁULICO DE CIUDAD UNIVERSITARIA.

La infraestructura hidráulica de Ciudad Universitaria se compone por los de sistemas de agua potable, alcantarillado, riego, pozos de absorción y plantas de tratamiento de aguas residuales (Figura 12). En las siguientes páginas se describe un diagnóstico breve de estos elementos, haciendo especial énfasis en el correspondiente al de agua potable.



Figura 1. El sistema hidráulico de Ciudad Universitaria de la UNAM.

2.1.1.- Componentes y estado actual.

2.1.1.1 Sistema de alcantarillado.

Como consecuencia de las actividades que demandan el empleo de agua se presenta el problema del desalojo de las aguas servidas; el sistema de alcantarillado tiene la función de desalojar las aguas negras que se producen y canalizarlas hacia una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de donde finalmente se disponen hacia un cuerpo receptor, o bien, reutilizarlas en algún proceso o servicio.

La red de alcantarillado de Ciudad Universitaria (Figura 13) está constituida por un conjunto de tuberías por las que son conducidas las aguas negras captadas. El ingreso del agua a las tuberías

es paulatino a lo largo de la red, lo que da lugar a ampliaciones sucesivas de la sección de los conductos en la medida en que se incrementan los caudales.

Un sistema de alcantarillado está integrado de los siguientes elementos: atarjeas, colectores, interceptores, emisores, plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), estaciones de bombeo, descarga final y obras accesorias.

Para el caso de Ciudad Universitaria, la red inicia con la descarga a partir del paramento exterior de las edificaciones. El diámetro de las atarjeas generalmente es de 15 cm y su ubicación en la mayoría de los casos es desconocida por parte del personal de servicios de las entidades. Un asunto muy recurrente es la carencia de planos actualizados de estas instalaciones.

La mayor parte de los registros correspondientes a las descargas de los edificios carecen de un mantenimiento adecuado; se confunden con las correspondientes a agua potable y energía eléctrica. En algunos casos se han encontrado registros con líneas de agua potable y drenaje o líneas de agua potable con energía eléctrica. Lo ideal para este caso es normar los tipos de registros destinados a cada tipo de servicio, o bien, colocarles una señalización que los identifique como registros de drenaje, agua potable, electricidad o alguno otro tipo de servicio.

Los colectores van recolectando las aportaciones de las atarjeas. El diámetro mínimo que se utiliza en la red de colectores de Ciudad Universitaria es de 30 cm a un máximo de 60 cm, y su diseño, en general, sigue la pendiente natural del terreno. Al momento no ha sido posible estimar los límites máximos y mínimos de velocidad y la condición mínima de tirante, debido a que no existe un sistema de medición en este sistema. De acuerdo a la normatividad vigente, la velocidad mínima se considera aquella con la cual no se permite el depósito de sólidos que provoquen azolves y taponamientos. La velocidad mínima permisible es de 0.3 m/s, independientemente del tipo de material de la tubería y considerando el gasto mínimo.

Por otro lado, la velocidad máxima es el límite superior de diseño, con el cual se trata de evitar la erosión de las paredes de las tuberías y estructuras. La velocidad máxima permisible está en función del tipo de material de la tubería. Para su revisión se utiliza el gasto máximo extraordinario. En el caso de Ciudad Universitaria la velocidad máxima permisible, de acuerdo

a la literatura es de 3 m/s ya que el material de las tuberías es, en general, de concreto. La red de colectores cuenta con poco más de 30 000 metros de longitud y con diámetros de 30, 45 y 60 cm (Ver tabla 4).

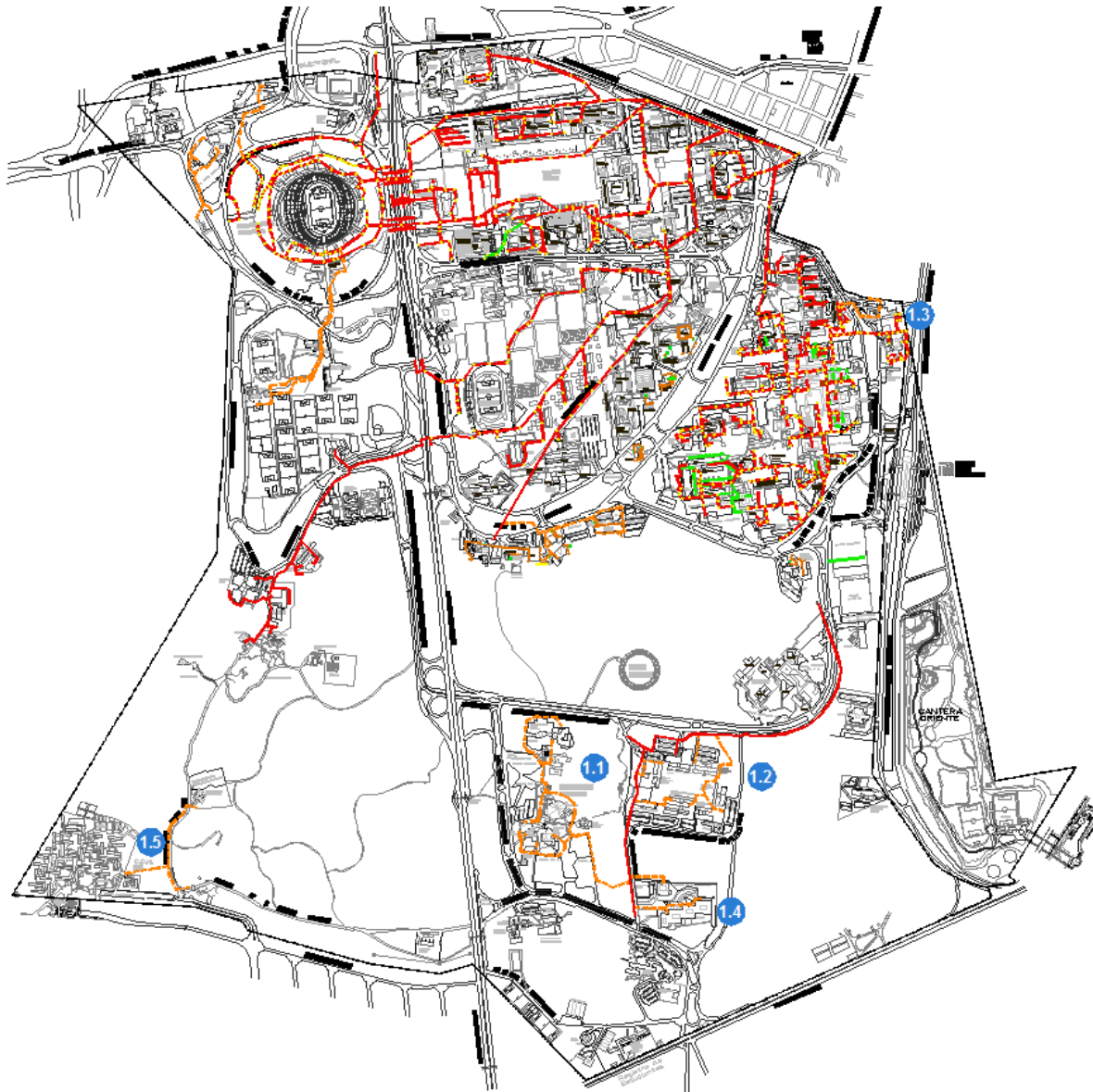


Figura 2 Red de alcantarillado de Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

La red de drenaje y alcantarillado de Ciudad Universitaria corresponde a un sistema combinado y consta de tres emisores principales con diámetros de 90 y 120 cm, respectivamente. Estos emisores vierten su caudal a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Cerro del Agua (Figura 14), misma que también recibe el caudal del colector de la colonia Copilco El Alto. En conjunto, los tres emisores aportan en promedio un caudal de 80 l/s, dato que debe

tomarse con extrema reserva pues no se cuenta con un sistema de medición. PUMAGUA, a través de la DGOyC ha propuesto la adquisición de un equipo de medición portátil que permita conocer la magnitud del caudal que ingresa a la planta por medio de estos emisores.

Tabla 1. Diámetros y longitudes de colectores del sistema de alcantarillado

Φ Colector (cm)	Longitud (m)	Porcentaje (%)
30	4,200	13.93%
45	10,350	34.33%
60	15,600	51.74%
	30,150	100.00%



Figura 3. Planta de tratamiento de aguas residuales Cerro del Agua

Los emisores son los conductos que reciben las aguas de uno o varios colectores o interceptores. No reciben ninguna aportación adicional en su trayecto y su función es conducir las aguas negras a la planta de tratamiento. Su escurrimiento para el caso de Ciudad Universitaria es por gravedad, excepto del emisor proveniente de la zona de los GEOS en donde es necesario el bombeo para drenar las aguas negras de esta zona.

El modelo de configuración del trazo de los emisores corresponde a uno del tipo interceptores, ya que este tipo de modelo se emplea para recolectar aguas residuales en zonas con curvas de nivel más o menos paralelas, sin grandes desniveles y cuyas tuberías principales (colectores) se conectan a una tubería mayor (interceptor) que es la encargada de transportar las aguas residuales hasta un emisor o una planta de tratamiento (Figura 15).

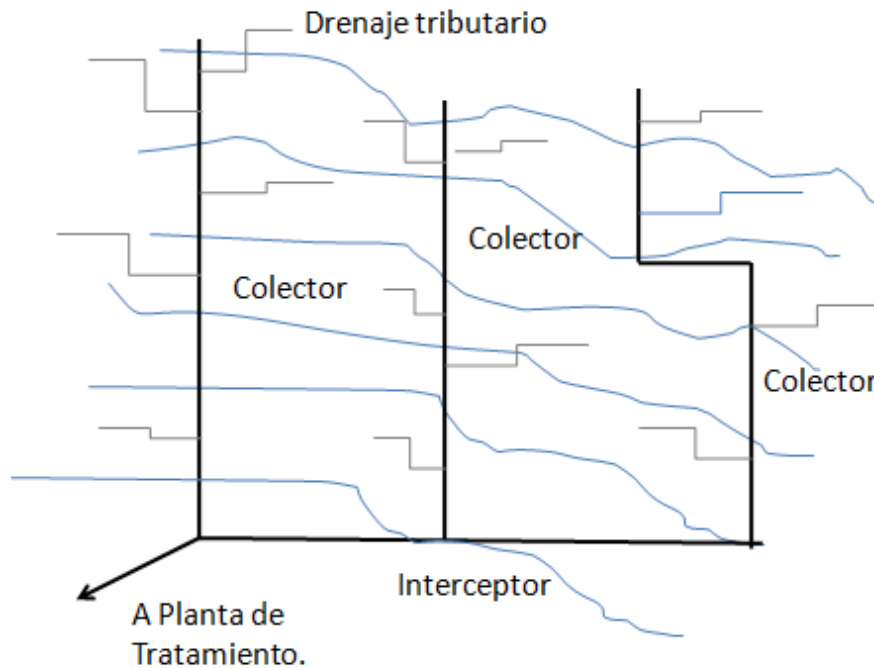


Figura 4. Modelo de interceptores de la red.

Los emisores que convergen a la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua son los siguientes:

Emisor 1: Zona Antigua Casco Viejo

Emisor 2: Circuito Exterior

Emisor 3: Zona de Institutos (por bombeo)

La Figura 16 muestra los emisores así como la red de alcantarillado con sus respectivos diámetros. El emisor que aporta aguas residuales provenientes de Copilco el Alto fue construido con el objetivo de suministrar agua a la Planta durante los periodos de asueto en la Universidad, periodos en los que por ninguno de los emisores debía llegar agua en cantidad suficiente para mantener con vida los procesos biológicos que ahí se encuentran.

La mayor parte de las tuberías existentes comienzan su desarrollo en una cabeza de atarjea descargando su contenido en una tubería común de mayor diámetro, generalmente perpendicular a ellas. Este arreglo obedece a los accidentes topográficos de la zona. Las ventajas que proporciona este tipo de arreglo se encuentran el garantizar aportaciones rápidas

y directas de las cabezas de atarjeas a la tubería común de cada peine, y de éstas a los colectores, propiciando que se presente rápidamente un régimen hidráulico establecido.

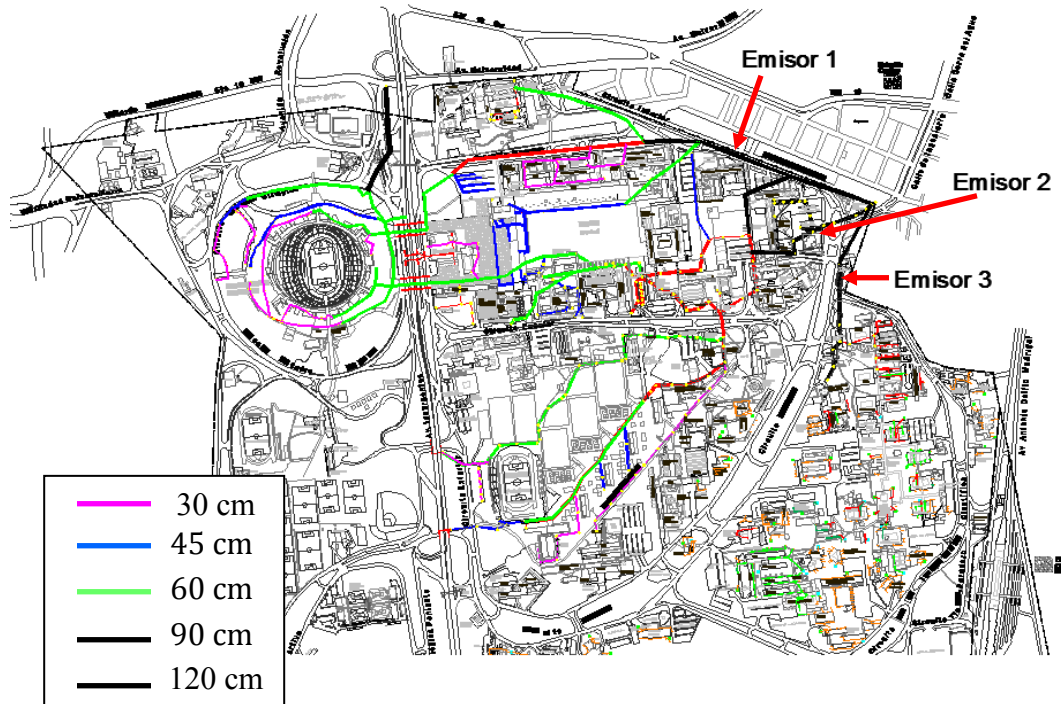


Figura 5. Red de alcantarillado de Ciudad Universitaria. En colores los diámetros de la red. En negro los tres emisores que convergen a la PTAR de Cerro del Agua.

La estructura típica de liga entre dos tramos de la red es el pozo de visita, que permite el acceso del exterior para su inspección y maniobras de limpieza; también tiene la función de ventilación de la red para la eliminación de gases.

En la red de Alcantarillado que nos ocupa, existen poco más de 400 pozos de visita, 44 fosas de descarga directa a red y 18 fosas de descarga directa a grietas. Los pozos se localizan en todos los cruceros, cambios de dirección, pendiente y diámetro, así como para dividir tramos que exceden la máxima longitud recomendada para las maniobras de limpieza y ventilación. La separación máxima está en función del diámetro de la tubería: a mayor diámetro mayor separación. Las distancias entre pozos de visita recomendadas son las siguientes: a) *En tramos de 20 hasta 61 cm de diámetro: 125 m*, b) *En tramos de diámetro mayor a 61 cm y menor ó igual a 122 cm: 150 m* y c) *En tramos de diámetro mayor a 122 cm y menor ó igual a 305 cm: 175 m*. Estas separaciones pueden incrementarse de acuerdo con las distancias de los cruceros de las calles, como máximo un 10%.

Los pozos de visita son parte de las obras accesorias usadas para mantenimiento y operación del sistema de alcantarillado. En Ciudad Universitaria están formados por una chimenea de tabique de forma cilíndrica en la parte inferior y troncocónica en la parte superior. Son suficientemente amplios para darle paso a una persona y permitirle maniobrar en su interior. Un brocal de concreto o de fierro fundido cubre la boca. El piso de los pozos de visita comunes, es una plataforma en la cual se localizan canales (medias cañas) que prolongan los conductos. Una escalera de peldaños de fierro fundido empotrados en las paredes del pozo permite el descenso y ascenso al personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema. (Figura 17)

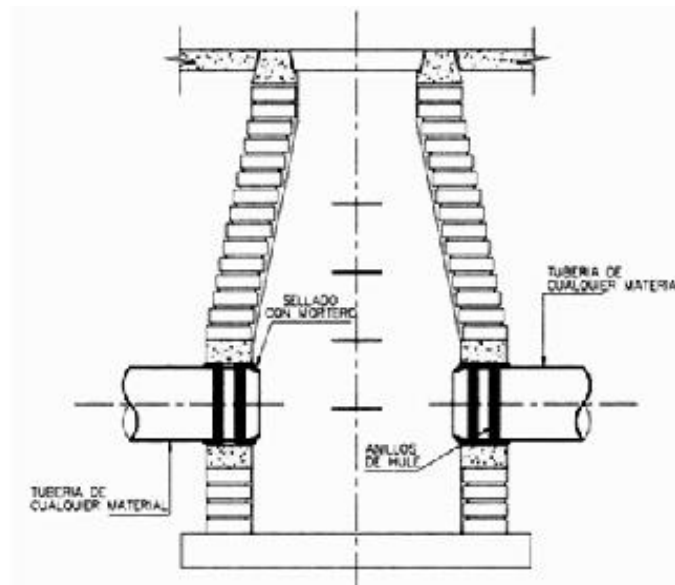


Figura 6. Perfil de un pozo de visita de Ciudad Universitaria. FUENTE: MAPAS 2007. CONAGUA

Las tuberías que integran al sistema de drenaje son fácilmente susceptibles a fracturas ante la presencia de raíces, ello provoca fugas de aguas residuales que son muy difíciles de localizar, no sin mencionar el riesgo que representan a la salud y constituir una fuente de contaminación al acuífero. Por otro lado, un problema muy importante lo constituye la acumulación de basura en las coladeras y pozos de visita, esto ha derivado ya en dos ocasiones inundaciones en la Facultad de Medicina y dependencias periféricas. Ante tal situación, debe iniciarse una revisión del estado actual de la tubería de la red de alcantarillado con el fin de detectar las zonas con mayor deterioro y susceptibles a inundaciones.

Muy pocas dependencias en el campus conocen sus instalaciones de desalojo de aguas residuales. La Dirección General de Obras y Conservación cuenta con planos de proyecto de la mayor parte de las dependencias; no obstante, estos presentan el inconveniente de no estar debidamente actualizados. Una acción que cada dependencia en coordinación con la propia DGOyC pudieran emprender es la de la actualización de los planos de sus instalaciones, acciones que bien pueden contemplarse en los planes de desarrollo de cada dependencia.

Otra de las acciones a emprender debe estar enfocada a conocer la cantidad de agua residual que se está produciendo, sobre todo el agua que llega a las plantas de tratamiento, este hecho proporciona suficiente información para revisar hidráulicamente la red permitiendo iniciar a plantear acciones enfocadas al mejoramiento del propio sistema en el corto y mediano plazo.

2.1.1.2 Sistema de riego.

Las áreas verdes de Ciudad Universitaria son una extensión importante en el Campus, se estima que son alrededor de 155 hectáreas de las cuales 50 son regadas con aguas tratadas mientras que 105 hectáreas restantes se riegan con agua potable.

La Dirección General de Obras y Conservación a través de la Coordinación de Áreas Verdes es la encargada del riego y mantenimiento de las mismas en Ciudad Universitaria. Dicha Coordinación proporcionó la información existente en planos de la distribución de las áreas verdes que se riegan, además de que se identificaron las áreas verdes que actualmente se riegan con agua tratada (Figura 18).

Para disponer de agua residual tratada para riego existe una red de distribución que suministra agua tratada a 12 cisternas ubicadas en diferentes puntos del campus (Tabla 5). Dichas cisternas cuentan con una capacidad de almacenamiento de 5,364 m³ y se ubican en diferentes sitios de manera que se abarque la mayor área de riego posible (Figura 19).

La red de distribución de agua tratada tiene una antigüedad aproximada de 26 años y una longitud estimada de 8 Km (Tabla 6), los materiales que la constituyen son: asbesto-cemento,

Estrupack y P.V.C. Con diámetros de las tuberías de hasta 10 pulgadas (línea principal) y con 8, 4 y 3 pulgadas en derivaciones (Figura 19).

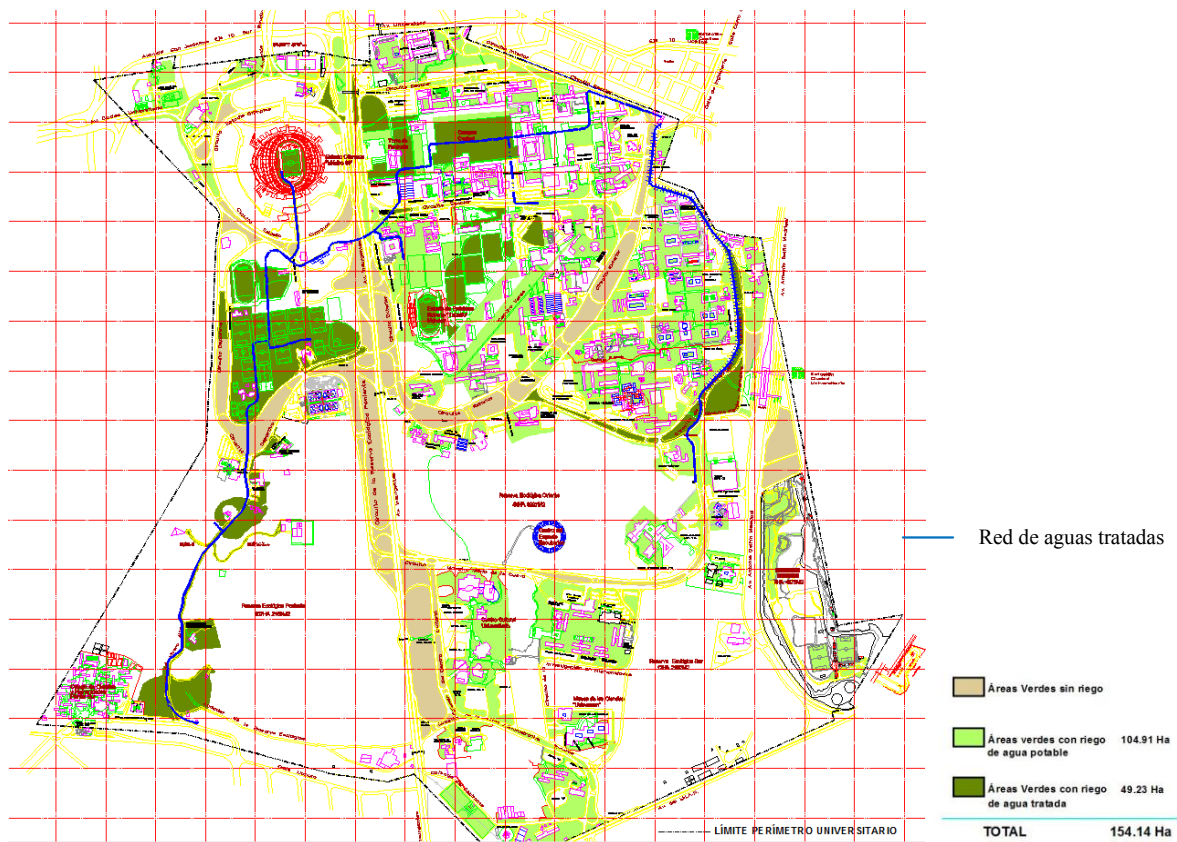


Figura 7. Zonas de Ciudad Universitaria que actualmente se riegan con agua tratada. Estas zonas son periféricas a las cisternas de agua tratada proveniente de la PTAR de Cerro del Agua. FUENTE: DGOyC. UNAM

La información disponible referente a la cantidad de agua tratada que es bombeada desde la PTAR de Cerro del Agua a las doce cisternas, muestra que cada año son bombeados un promedio de 194 mil metros cúbicos de agua tratada, de los cuales 91% son enviados a la línea principal y el restante a la línea de veterinaria (Tablas 8 y 9).

Tabla 2. Cisternas de agua tratada para riego. FUENTE: DGOyC. UNAM

Cisterna	Nombre	Volumen (m ³)
1	Camellón de química	900.00
2	Campus Central	601.00
3	Centro Médico	687.00
4	Estadio Olímpico	83.00
5	Campos de calentamiento	326.00
6	Campo de Beisbol	140.00
7	Nueva zona deportiva	898.00
8	Jardín Botánico Exterior	288.00
9	Unidad de seminarios	45.00
10	Tepozcan	19.00
11	Estanque de los peces	377.00
12	Camellón de Veterinaria	1,000.00
TOTAL		5,364.00

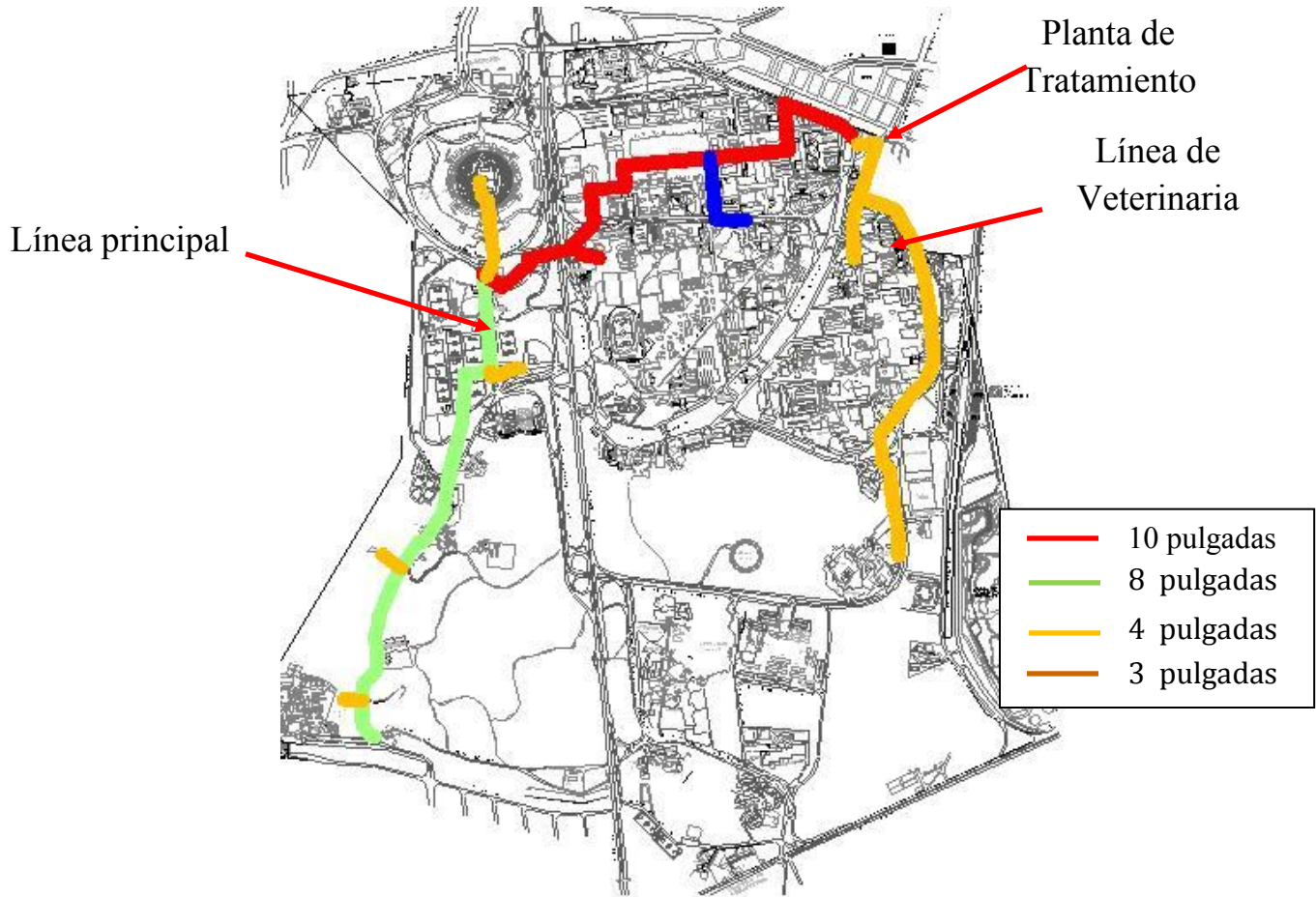


Figura 8. Red de aguas tratadas. FUENTE: DGOyC. UNAM

Tabla 3. Material y longitud de la red de aguas tratadas.

Material	Longitud (m)	Porcentaje (%)
Asbesto cemento	1,561.94	19.41%
PVC	2,112.37	26.26%
PEAD	4,371.26	54.33%
TOTAL	8,045.57	100.00%

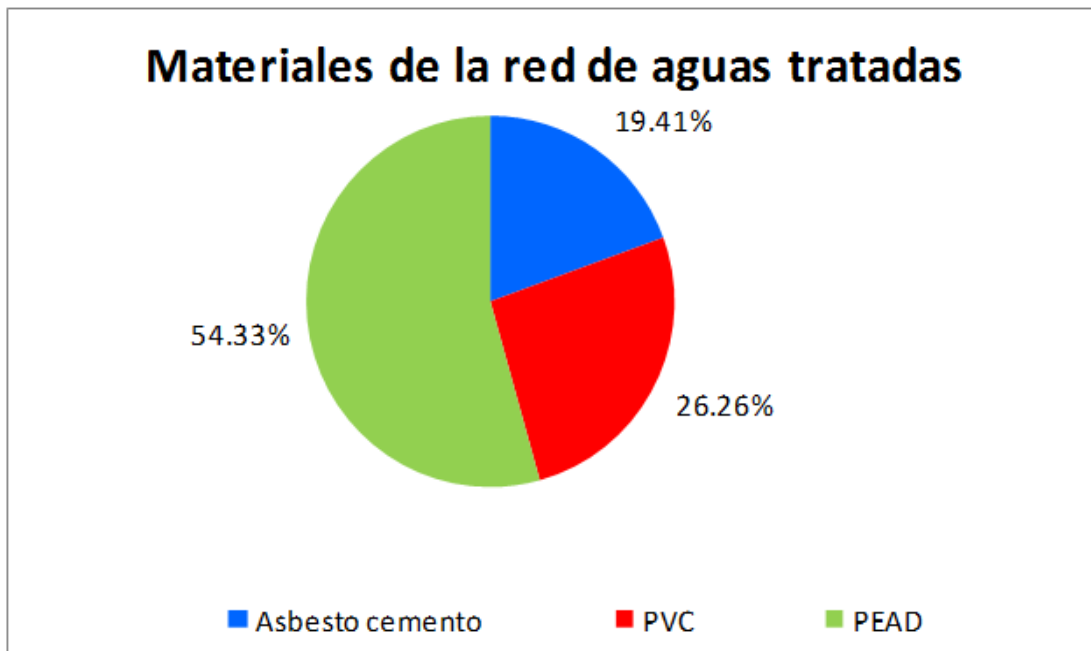


Figura 9. Materiales de la red de aguas tratadas

Tabla 4. Diámetros de la red de agua tratada.

Diámetros (pulgadas)	Longitud (m)	Porcentaje (%)
10	2,214.1	27.52%
8	2,000.03	24.86%
4	3,464.48	43.06%
3	3,66.96	4.56%
TOTAL	8,045.57	100.00%

De acuerdo a la información contenida en las tablas 8 y 9, un porcentaje del agua tratada es enviada a las cisternas y en consecuencia empleada para riego; este porcentaje está en función del mes del año: durante los primeros cuatro meses se bombea una mayor cantidad de agua

hacia las cisternas en comparación de los ocho meses restantes. De Julio a Septiembre, los meses más lluviosos, el riego de áreas verdes se suspende, no así el tratamiento de aguas residuales que continúa durante todo el año; el agua tratada que se produce durante estos meses se vierte al sistema de alcantarillado de la Ciudad de México. En promedio, sólo un 37% del volumen total tratado es bombeado a la red de aguas tratadas.

Tabla 5. Volúmenes de agua tratada y bombeada a la red de aguas tratadas durante 2006. FUENTE: DGOyC

Volúmenes de agua tratada de la PTAR de CU bombeada a cisternas en 2006								
MES	GASTO (l/s)			VOLUMEN TRATADO (m ³)	VOLUMEN BOMBEADO		TOTAL (m ³)	
	LA	Biodiscos	FR		LINEA. PRINCIPAL	LINEA VETERINARIA		
ENERO	10.86	6.57	5.74	23.17	62,046.00	38,965.00	3,330.00	42,295.00
FEBRERO	11.13	1.91	5.59	18.63	45,069.00	34,189.00	2,965.00	37,154.00
MARZO	12.22	3.23	5.7	21.15	56,645.00	37,551.00	3,657.00	41,208.00
ABRIL	10.79	5.44	5.44	21.67	56,167.00	29,538.00	2,931.00	32,469.00
MAYO	8.15	4.21	3.86	16.22	43,429.00	6,708.00	4,12.00	71,20.00
JUNIO	7.04	4.68	4.64	16.36	42,407.00	2,689.00	0.00	2,689.00
JULIO	3.61	4.98	2.25	10.84	29,030.00	0.00	0.00	0.00
AGOSTO	0	4.46	0	4.46	11,934.00	0.00	0.00	0.00
SEPTIEMBRE	0	4.28	0.55	4.83	12,524.00	0.00	0.00	0.00
OCTUBRE	4.26	5	5.51	14.77	39,563.00	2,375.00	0.00	2,375.00
NOVIEMBRE	7.34	5.77	5.77	18.88	48,946.00	10,156.00	1,181.00	11,337.00
DICIEMBRE	8.11	6	6	20.11	53,886.00	15,971.00	664.00	16,635.00
PROMEDIO/SUMA	6.96	4.71	4.25	15.92	501,646.00	178,142.00	15140.00	193,282.00

Tabla 6. Volúmenes de agua tratada y bombeada a la red de aguas tratadas durante 2007. FUENTE: DGOyC

Volúmenes de agua tratada de la PTAR de CU bombeada a cisternas en 2007								
MES	GASTO (l/s)			VOLUMEN TRATADO (M3)	VOLUMEN BOMBEADO		TOTAL	
	LA	Biodiscos	FR		LINEA. PRINCIPAL	LINEA VETERINARIA		
ENERO	9.22	6.38	6.38	21.98	58,849.00	32,016.00	2831.00	34,847.00
FEBRERO	10.08	6.46	6.46	23	55,617.00	23,539.00	1963.00	25,502.00
MARZO	8.74	5.95	5.98	20.67	55,370.00	25,948.00	2539.00	28,487.00
ABRIL	8.44	5.79	5.79	20.02	51,896.00	27,807.00	2407.00	30,214.00
MAYO	8.13	5.66	5.66	19.45	52,122.00	11,622.00	1579.00	13,201.00
JUNIO	7.73	5.06	5.31	18.1	46,909.00	11,829.00	1676.00	13,505.00
JULIO	7.28	5.2	5.2	17.68	47,374.00	0.00	0.00	0.00
AGOSTO	12.57	0	0	12.57	33,656.00	0.00	0.00	0.00
SEPTIEMBRE	4.41	0.86	0.59	5.86	15,201.00	0.00	0.00	0.00
OCTUBRE	6.66	5.97	2.82	15.45	41,391.00	5,946.00	342.00	6,288.00
NOVIEMBRE	6.72	5.38	3.2	15.3	39,660.00	21,690.00	2372.00	24,062.00
DICIEMBRE	6.6	4.99	3.2	14.79	39,792.00	17,527.00	844.00	18,371.00
PROMEDIO/SUMA	8.05	4.81	4.22	17.07	537,837.00	177924.00	16553.00	194,477.00

Las gráficas 21 y 22 muestran la comparación entre el agua tratada con el agua bombeada desde la PTAR a las diferentes cisternas de donde finalmente se dispone para el riego de áreas verdes.

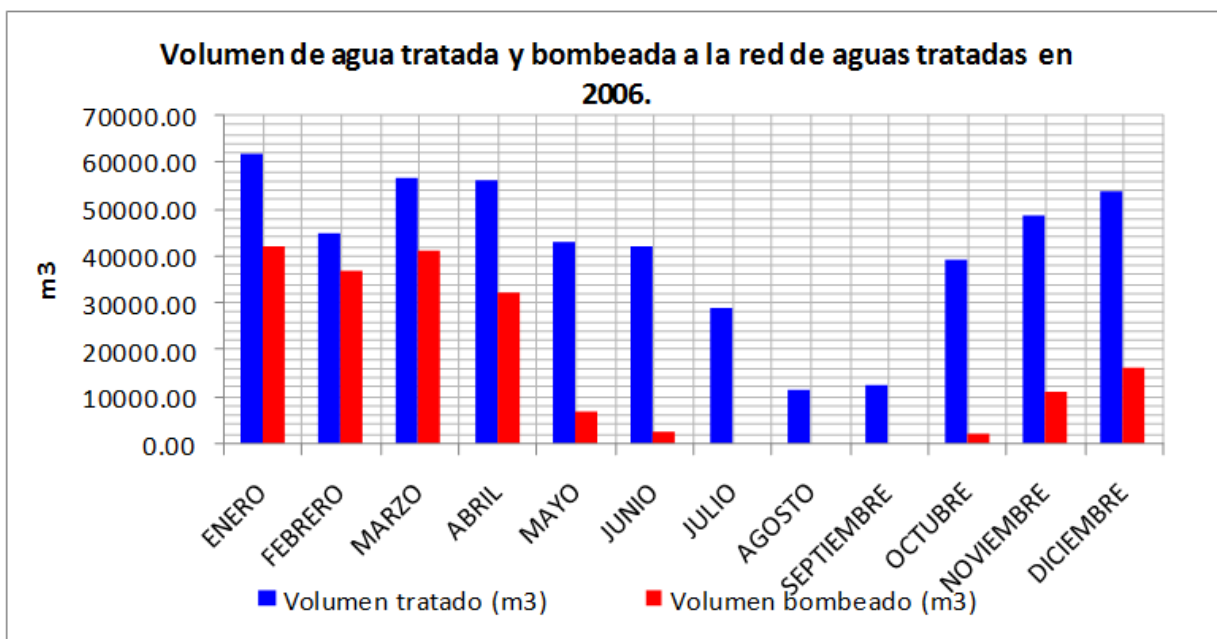


Figura 10. Comparación entre el volumen tratado y bombeado a la red de aguas residuales en el 2006. FUENTE: DGOyC. UNAM

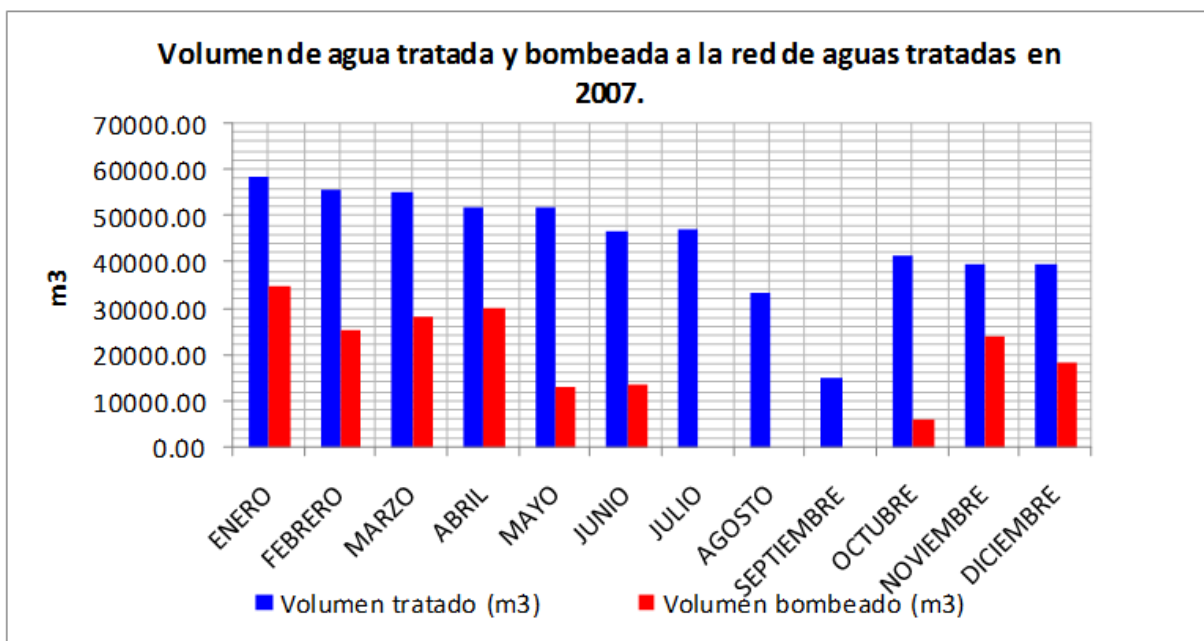


Figura 11. Comparación entre el volumen tratado y bombeado a la red de aguas residuales en el 2007. FUENTE: DGOyC. UNAM

Para el ahorro de agua destinada a riego, PUMAGUA ha adoptado por la reducción de consumos de agua potable siguiendo tres líneas de acción. La primera, la sustitución de agua potable para riego por agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento, la segunda, es utilizar equipos de riego más eficientes y la tercera es el cambio de vegetación en los jardines a vegetación autóctona de la reserva ecológica del pedregal de San ángel.

La **sustitución de agua potable por agua tratada** destinada a riego es una de las acciones primordiales para PUMAGUA. Actualmente, se riegan 105 hectáreas con agua potable y 50 con agua tratada. La meta es revertir la situación. Para ello, se está trabajando en el mejoramiento de las Plantas de Tratamiento buscando incrementar su capacidad hasta los 50 l/s y, por supuesto, buscando que la calidad del agua de reuso no sólo cumpla con las actuales normas, si no que garantice un riego sin problemas de salud. Estas acciones son evaluadas por un grupo de trabajo conformado por la Facultad de Medicina, Instituto de Ecología, Dirección General de Servicios Médicos, Instituto de Ingeniería y la DGOyC. Este grupo también analiza la calidad del agua potable, lo que permitirá proponer un sistema de desinfección que garantice una calidad de agua que haga posible el desuso del agua embotellada dentro de las instalaciones de C.U.

En relación a garantizar un riego de jardines con menos consumo de agua, se está trabajando en buscar los **sistemas más óptimos para regar** de acuerdo a las características del lugar, ya sea con equipos más eficientes o bien con sistemas de automatización que garanticen un ahorro en el riego. En este sentido se está buscando la tecnología de punta que existe en el mercado y que satisfaga las necesidades, lo que permitirá garantizar una reducción del 30% en el consumo de agua potable actualmente destinada a riego.

En cuanto a la cuestión de jardinería, las acciones a implementarse tienen que ver con hacer **uso de los recursos naturales** con que cuenta la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, ya que ésta cuenta con una biodiversidad muy grande, mucha de la cual no requiere de riego a lo largo del año; con sólo el agua de lluvia pueden sobrevivir. Es por ello que se plantea colocar este tipo de vegetación en jardines buscando reducir el uso del agua.

2.1.1.3 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria incluye a tres plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), 26 fosas sépticas y 18 fosas de descarga directa a grietas. En las siguientes páginas se describen brevemente estos elementos.

Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Las plantas de Tratamiento de Ciudad Universitaria son tres: La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Cerro del Agua ubicada al norte del campus justo enfrente de la Facultad de Medicina, la PTAR de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales y la PTAR del Edificio 12 del Instituto de Ingeniería. (Figura 23)

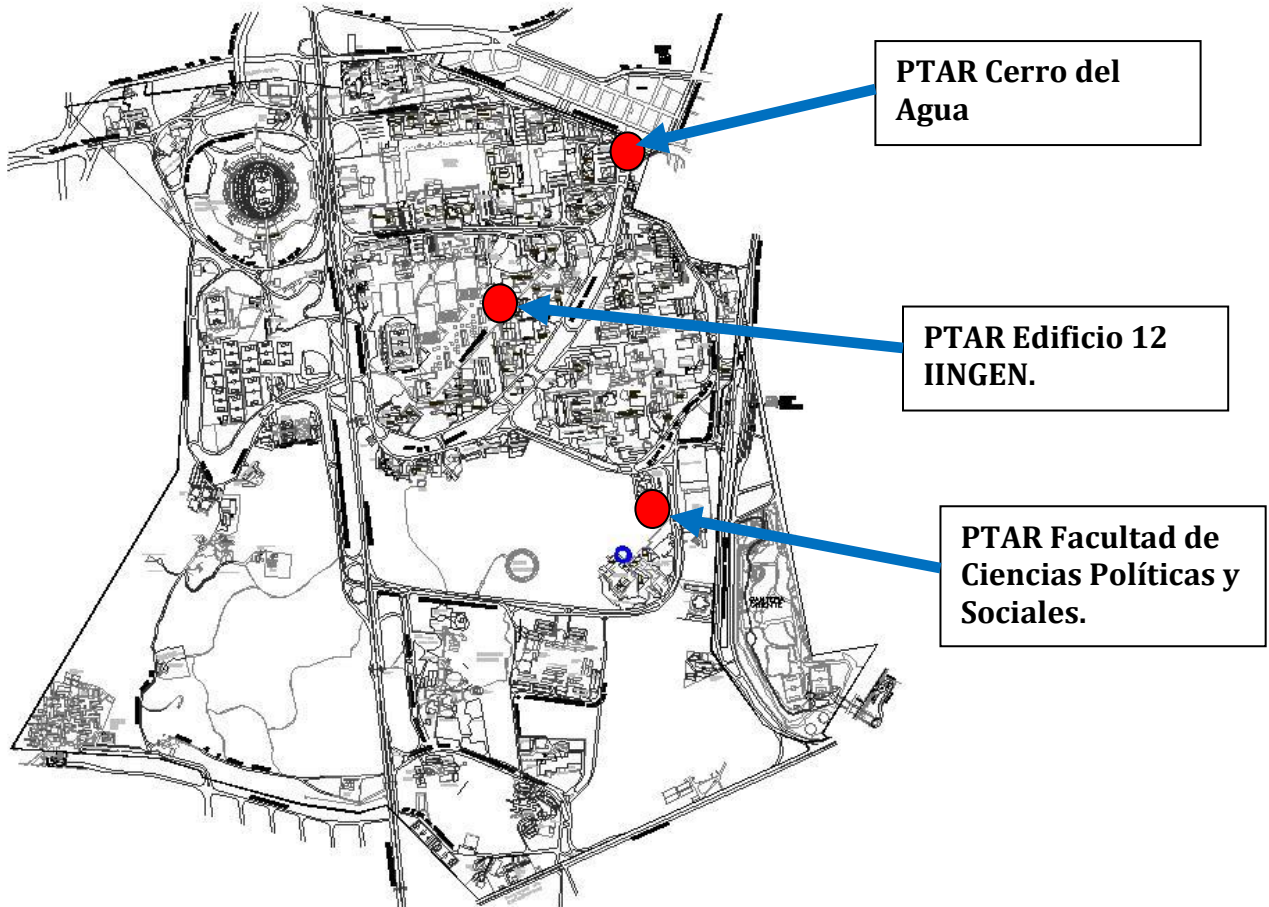


Figura 12. Ubicación de la PTARS de Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

Planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro del Agua (PTAR).

La Planta de tratamiento principal de Ciudad Universitaria es la de Cerro del Agua, diseñada originalmente para tratar 40 l/s (3,456 m³/día). Sin embargo, actualmente está operando hasta 18 l/s. Los últimos resultados indican que el agua generada no cumple con lo establecido en la normatividad vigente, dado que el valor para DBO₅ y para SST no cumplen con una calidad de agua necesaria para el reuso en servicios al público con contacto directo ni para servicios al público con contacto indirecto u ocasional. En el caso de los coliformes fecales, cumple para el reuso con contacto ocasional pero no se cumple para el reuso con contacto directo. El objetivo de mejorar la planta es producir un caudal entre 30 y 35 l/s cumpliendo las normas más estrictas internacionalmente.

Planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales (PTARCPS) fue diseñada para tratar 7.5 l/s, debido a la falta de infraestructura para conducir agua residual hasta esta planta, actualmente está operando entre 0.8 - 1.0 l/s. Los resultados indican que en promedio, el agua generada en la planta de tratamiento no cumple con una calidad de agua necesaria para el reuso en servicios al público con contacto directo ni para servicios al público con contacto indirecto u ocasional como lo establece la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Actualmente, la Dirección General de Obras y Conservación en un intento por incrementar la cantidad de aguas residuales, lleva a cabo la construcción de un dos colectores de agua residuales que permitirán drenar el agua de la zona de institutos de la zona cultural así como la zona de teatros (Universum y Sala Netzahualcóyotl) y canalizar estas aguas a la Planta de Tratamiento de Ciencias Políticas, posibilitando el reemplazo de agua potable por agua tratada destinada al riego de las áreas verdes de esta zona y al mismo tiempo, incrementar la capacidad de la propia planta a los 7.5 lp/s.

Planta de tratamiento del edificio 12 del Instituto de Ingeniería

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del edificio 12 (PTAR E12) se ubica dentro de las instalaciones del Instituto de Ingeniería del campus universitario, entre el edificio 12 y el edificio 18 del mismo Instituto. Esta planta fue diseñada para tratar 0.05 l/s (3 m³/d), provenientes de los edificios 12 y 18 del Instituto de Ingeniería. Esta planta opera actualmente al 50% de su capacidad de operación. La calidad de agua que produce no cumple completamente con la norma mexicana de agua tratada para su reuso, para ello se están haciendo adaptaciones al proceso para mejorar la eficiencia.

2.1.1.4 Plantas tipo BRAIN.

Las pequeñas plantas BRAIN (Bio-Reactor Anaerobio Integrado) fueron instaladas y puestas en operación en el primer semestre de 1997. De las 26 plantas registradas, solo 19 plantas están funcionando y la determinación de la calidad del agua en 15 de ellas indica que 5 de las 15 plantas cumplen con lo establecido en la legislación para el parámetro de DBO₅ pero no en coliformes fecales.

2.1.1.5 Sistema de aguas pluviales y recarga del acuífero.

Durante 1997 la Dirección General de Obras y Conservación trabajó bajo en el establecimiento de normas y procedimientos con el propósito de optimizar la canalización de aguas pluviales a los mantos acuíferos, para ello se perforaron dieciséis pozos para la captación de agua de lluvia.

En Ciudad Universitaria existen dieciséis pozos de absorción con una capacidad estimada de 216 m³ por unidad. Los pozos se perforaron entre los 4 y 50 metros de profundidad y su construcción obedeció al principio de recarga cero, esto es, que el agua que se extrae de las fuentes de abastecimiento (Pozos profundos) sea la misma que se regrese al subsuelo, principio seguido por la DGOyC en el año de 1997. Actualmente la mayor parte del agua de lluvia se canaliza hacia el sistema de alcantarillado, por lo que el agua de lluvia canalizada a los pozos de absorción queda restringida a la que se conduce por los lavaderos ubicados sobre las vialidades

principales. No se cuenta con planos que indiquen la infraestructura de captación y canalización de aguas pluviales a los pozos de absorción; aunque se sabe que esta se compone de lavaderos sobre las vialidades que conducen el agua hacia ellos, en estos, existe un pre tratamiento consistente en separar la basura del agua a través del empleo de rejillas. No se cuenta con un sistema de medición que indique la cantidad de agua que ingresa ni la que se infiltra, lo que pudiera permitir hacer un balance entre el agua extraída y el agua infiltrada.

2.2.- EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE CIUDAD UNIVERSITARIA.

El funcionamiento adecuado de los sistemas de abastecimiento de agua potable es esencial para el bienestar de los núcleos sociales. Estos sistemas captan y conducen el agua desde las fuentes de abastecimiento para su posterior distribución sobre una zona ocupada por un conjunto de personas ávidas del servicio.

Un sistema de distribución de agua se compone de instalaciones para la captación, almacenamiento, conducción, bombeo, tratamiento y distribución. Las obras de captación y almacenamiento permiten reunir las aguas aprovechables de ríos, manantiales, agua subterránea, etc. La conducción trata de la construcción de canales y acueductos, así como de instalaciones complementarias de bombeo para transportar el agua desde la fuente hasta el centro de distribución. El tratamiento es la serie de procesos que le dan al agua la calidad requerida y finalmente, la distribución es dotar de agua al usuario para su consumo. *“Todo sistema de agua potable debe dotar de agua todo el tiempo, en cantidad suficiente y a una presión adecuada.”* (MAPAS. CONAGUA. 2007)

Antes de proponer y/o realizar cambios y mejoras en las políticas de operación de un sistema de distribución de agua potable es necesario conocer la eficacia de su funcionamiento, es por esto que durante la primera etapa del programa PUMAGUA se procedió a realizar un diagnóstico de la situación actual del sistema de distribución de agua potable de Ciudad Universitaria; dentro de los estudios realizados se encuentran: (a) levantamiento detallado en campo de todos sus componentes (pozos, tanques de almacenamiento y red de distribución), (b) investigación sobre las políticas de operación en el sistema de distribución de agua llevadas a cabo por la Dirección General de Obras y Conservación, (c) un análisis de los registros históricos de las extracciones y los niveles en los tanques con la información proporcionada

por la Coordinación de Conservación, esto con el objetivo de obtener el comportamiento (diario, mensual y anual) del suministro de agua en Ciudad Universitaria. Por otra parte, después del diagnóstico, se han realizado acciones que contribuyen a mejorar el sistema de distribución, como son: (d) macro medición en los pozos, (e) micro medición en los edificios (f) recorridos para detección de fugas en la red principal (g) sectorización para control de presiones (h) modelación matemática del funcionamiento de la red principal de agua potable.

2.2.1.- Suministro y Macro medición.

El Campus Principal de la UNAM se abastece mediante tres pozos: Química (Pozo I), Multifamiliar (Pozo II) y Vivero Alto (Pozo III); los cuales son de uso exclusivo para Ciudad Universitaria. De los tres pozos se extrae un promedio de 100 l/s y un máximo de 170 l/s siendo los pozos Multifamiliar y Vivero Alto los que aportan 85% del agua extraída. Las características técnicas de los pozos se muestran en la Tabla 10, mientras que la ubicación de los mismos se indica en la Figura 25.

Tabla 7. Características generales de los pozos en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

Pozo	Gasto (l/s)	Profundidad (m)	Potencia Bomba (HP)
Química	31	132	125
Vivero Alto	48	157	250
Multifamiliar	91	193	250



a) Pozo Química



b) Pozo Multifamiliar



c) Pozo Vivero Alto

Figura 13. Bombas de los pozos en Ciudad Universitaria

En cada pozo se encuentra instalado un medidor de propela, (con número de inventario de la CONAGUA), a esta entidad se debe reportar mensualmente la extracción total por cada pozo; para lo cual se lleva un registro diario que consta de la toma de lectura en el medidor cada hora durante el tiempo que operan las bombas.

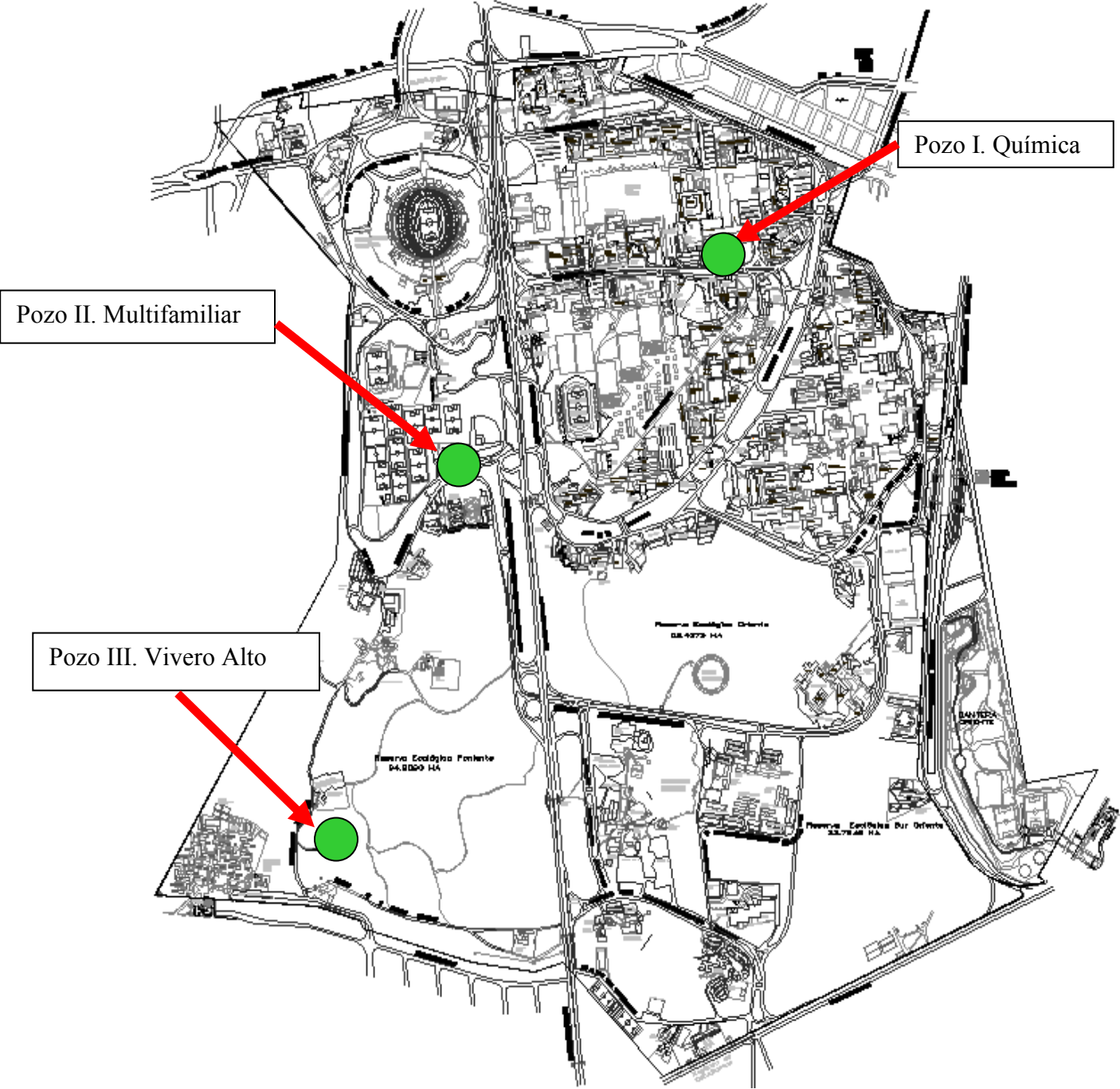


Figura 14. Ubicación de pozos en Ciudad Universitaria. FUENTE. DGOyC. UNAM

Existen tres turnos que operan los pozos durante las 24 horas del día. Se observó que cada turno tiene sus políticas de operación, que aunque no son excesivamente diferentes una de otra, no corresponden a una política común obtenida a través de la medición y análisis de la demanda de agua en el campus, sino que se mantienen en función de la experiencia y costumbre de cada operario.

Parte del trabajo realizado durante la primera etapa del PUMAGUA, fue la digitalización de los registros históricos (Tabla 11) proporcionados por la Coordinación de Conservación (ya que se llevan de manera manual), esto con el objetivo de definir el suministro de agua a los tanques de almacenamiento y a la red.

En promedio se extraen **2,783,185.44 m³** de los tres pozos con que cuenta el campus universitario, de ellos, el 85% se extrae de los Pozos Multifamiliar y Vivero Alto (Pozo II y III), mientras que el 15% del agua extraída corresponde al Pozo de Química (Pozo I). Las figuras 27 y 28 muestran un incremento de volumen durante los meses de agosto a diciembre (periodo de riego), así como un descenso considerable en el mes de julio (Vacaciones). Estas mismas figuras muestran un descenso en los volúmenes extraídos del Pozo de Química durante 2007, la razón, según se pudo investigar fue debido a problemas de funcionamiento del equipo de bombeo del pozo. La extracción en los demás pozos mantuvieron prácticamente la misma tendencia

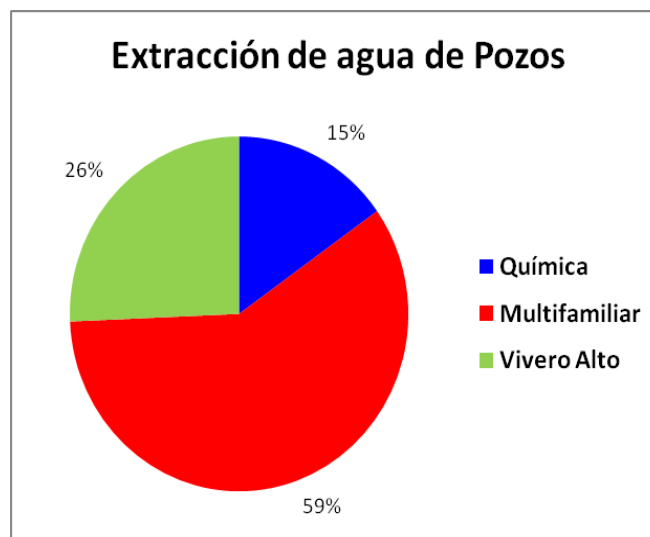


Figura 15. Porcentajes de extracción de los pozos. FUENTE: DGOyC. UNAM

Tabla 8. Extracción de agua en los pozos de Ciudad Universitaria durante 2006, 2007 y 2008. FUENTE: DGOyC. UNAM

MES	2006				2007				2008			
	Química (m3)	Multifamiliar (m3)	Vivero Alto (m3)	Promedio	Química (m3)	Multifamiliar (m3)	Vivero Alto (m3)	Promedio	Química (m3)	Multifamiliar (m3)	Vivero Alto (m3)	Promedio
ENERO	76,629.00	144,880.00	80,567.00	100,692.00	17,176.00	115,285.00	64,913.00	65,791.33	18,573.00	185,823.00	62,428.00	88,941.33
FEBRERO	80,761.00	146,863.00	69,157.00	98,927.00	18,194.00	114,245.00	55,084.00	62,507.67	14,415.00	197,495.00	59,941.00	90,617.00
MARZO	80,591.00	152,246.00	93,194.00	108,677.00	18,613.00	133,863.00	64,631.00	72,369.00	11,431.00	203,655.00	69,031.00	94,705.67
ABRIL	65,576.00	106,242.00	89,126.00	86,981.33	18,436.00	123,741.00	62,620.00	68,265.67	14,170.00	198,743.00	68,334.00	93,749.00
MAYO	55,556.00	139,159.00	51,178.00	81,964.33	18,006.00	109,576.00	53,214.00	60,265.33	22,920.00	174,779.00	65,990.00	87,896.33
JUNIO	43,517.00	135,417.00	55,384.00	78,106.00	20,373.00	83,294.00	50,245.00	51,304.00	17,603.00	157,613.00	45,983.00	73,733.00
JULIO	44,769.00	80,567.00	64,455.00	63,263.67	73,400.00	28,117.00	65,631.00	55,716.00	22,281.00	128,690.00	42,729.00	64,566.67
AGOSTO	39,745.00	132,990.00	50,501.00	74,412.00	4,462.00	157,385.00	50,936.00	70,927.67	17,722.00	152,788.00	41,879.00	70,796.33
SEPTIEMBRE	43,014.00	132,575.00	51,499.00	75,696.00	70,106.33	156,334.00	53,985.00	93,475.11	21,598.00	143,022.00	40,881.00	68,500.33
OCTUBRE	53,990.00	102,605.00	55,714.00	70,769.67	53,990.00	129,688.00	54,018.00	79,232.00	28,623.00	162,707.00	50,649.00	80,659.67
NOVIEMBRE	48,508.00	128,902.00	58,735.00	78,715.00	20,980.00	166,076.00	62,972.00	83,342.67	30,953.00	175,962.00	57,606.00	88,173.67
DICIEMBRE	23,029.00	80,399.00	59,204.00	54,210.67	16,236.00	146,602.00	45,832.00	69,556.67	44,046.00	113,811.00	69,179.00	75,678.67
TOTAL	655,685.00	1,482,845.00	778,714.00	2,917,244.00	349,972.33	1,464,206.00	684,081.00	2,498,259.33	264,335.00	1,995,088.00	674,630.00	2,934,053.00
USO	22.48%	50.83%	26.69%	100.00%	14.01%	58.61%	27.38%	100.00%	9.01%	68.00%	22.99%	100.00%

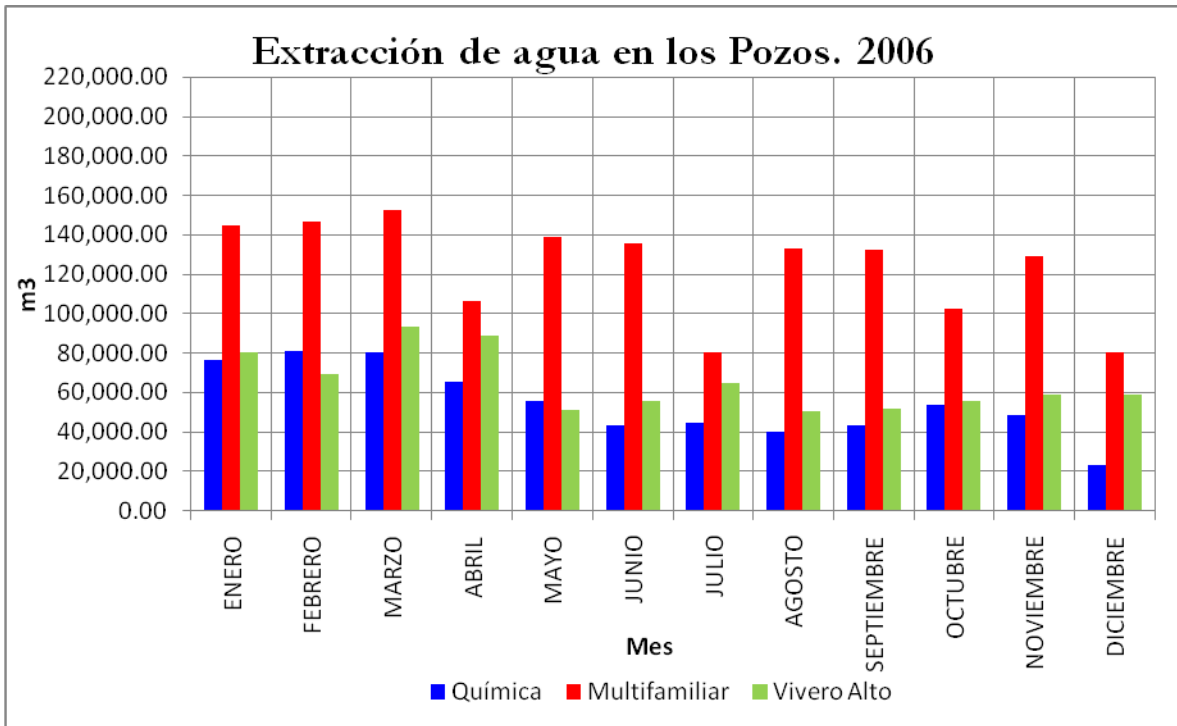


Figura 16. Extracción de agua en los Pozos durante 2006. FUENTE: DGOyC. UNAM

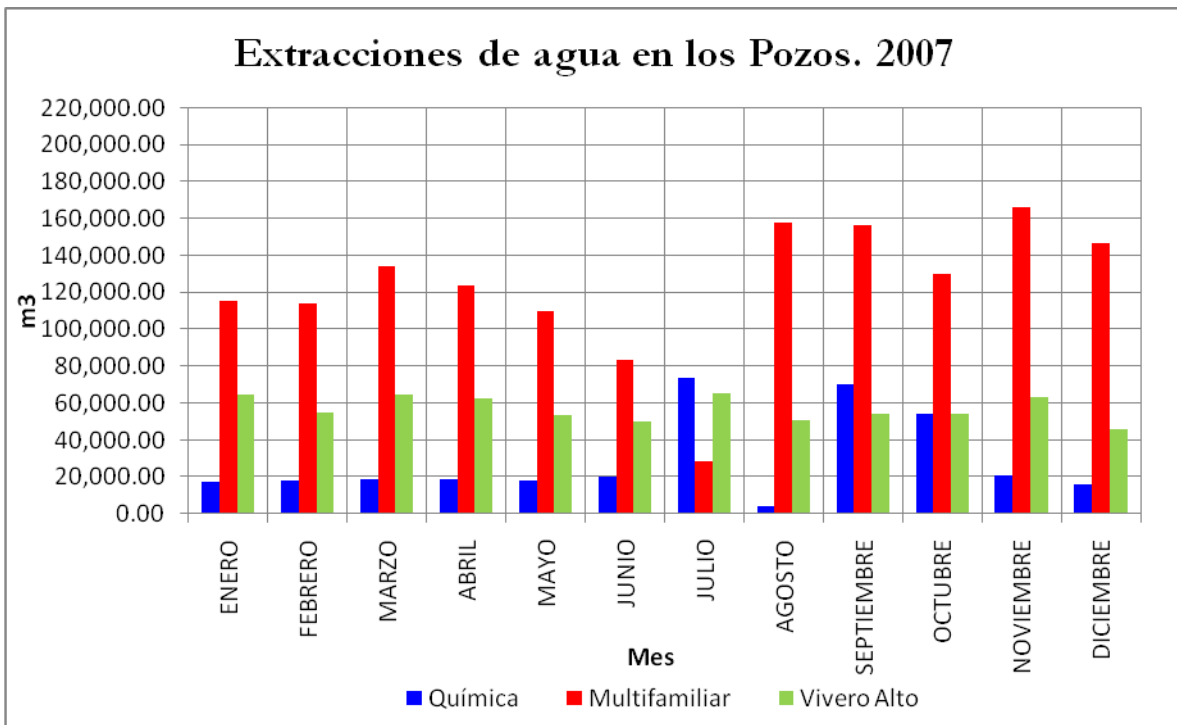


Figura 17. Extracción de agua en los Pozos durante 2007. FUENTE: DGOyC. UNAM

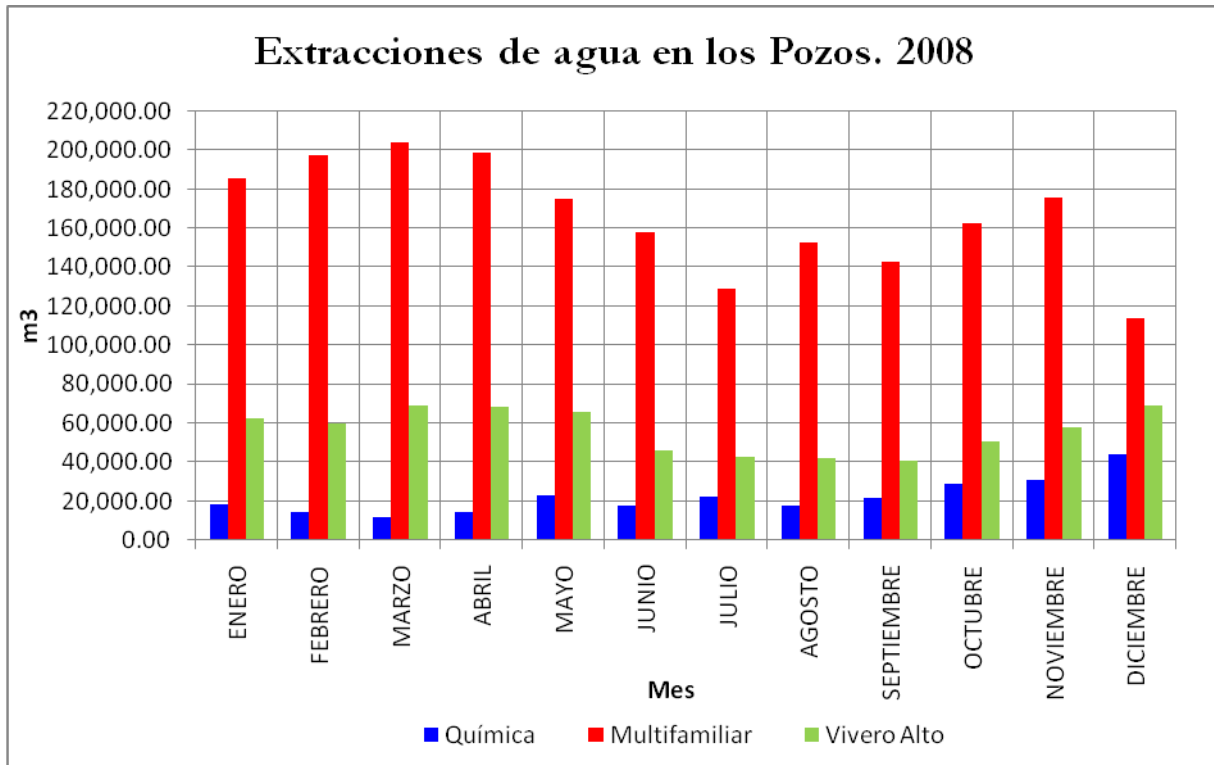


Figura 18. Extracción de agua en los Pozos durante 2008. FUENTE: DGOyC. UNAM

En un acuífero libre la extracción de agua del pozo provoca un abatimiento gradual de forma circular llamado "cono de abatimiento" (figura 30) debido al flujo radial hacia el pozo. Una diferencia entre los niveles estático y dinámico considerable puede conducir a problemas en el funcionamiento del pozo, lo anterior obedece, por un lado, al aumento de la demanda ocasionada por el crecimiento de la población y por otra parte, por la disminución en el uso de los escurrimientos superficiales. La explotación intensiva de acuíferos provoca el abatimiento del nivel estático que se manifiesta algunas veces como un aumento de la salinidad.

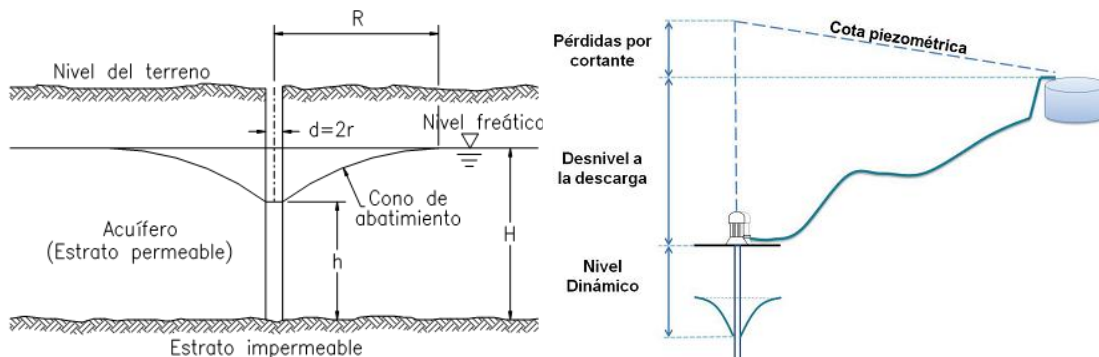


Figura 19. Cono de abatimiento en un Pozo ordinario o libre. FUENTE: MAPAS 2007. CONAGUA

La sobreexplotación regional del acuífero implica descensos paulatinos del nivel freático. El problema se presenta en una disminución del caudal explotable hasta llegar a la situación extrema de que el pozo quede completamente seco. La única solución a este problema consiste en regular la explotación regional hasta permitir la recuperación parcial o total de los niveles. Otra solución consiste en profundizar el pozo, con lo que se prolonga su vida útil.

Un hecho que sugiere la sobre explotación del acuífero ha sido la disminución del caudal extraído del pozo III, al pasar de 150 l/s al entrar en operación en la década de los ochenta, a 48 l/s extraídos actualmente, además, la profundidad de extracción también se ha incrementado de 90 a 157 m. Entre las consecuencias, según se ha mencionado, se encuentra el aumento de la salinidad del agua extraída, misma que provoca incrustaciones en tuberías. El pozo III abastece la zona cultural del campus, en cuyas tuberías se ha observado incrustaciones, hecho que puede explicarse con la disminución del caudal extraído del pozo a consecuencia de la perforación y puesta en operación de gran número de pozos en la zona periférica a Ciudad Universitaria.

La DGOyC mensualmente lleva a cabo mediciones al nivel estático y dinámico en los tres pozos. Estas mediciones se muestran en las tablas 12, 13 y 14 y es evidente un descenso mensual casi constante en los niveles estático y dinámico para cada pozo, haciéndose más evidente esta diferencia en los Pozos I y II con valores mensuales promedio de 14.20 m y de 11.50 m, respectivamente, diferencias que durante el transcurso del año se compensan, de manera que no permiten un abatimiento en el nivel freático que ponga en riesgo el abasto de agua a la Universidad, situación que de ninguna manera comparte el Pozo III, cuya divergencia entre sus niveles aumenta a razón de 1.50 metros por año, niveles que, a diferencia de los Pozos I y II, no se ven recuperados en ningún mes del año. Este hecho sugiere que el abatimiento del nivel freático se exhibe de una manera muy marcada hacia la zona sur del campus. Para ponderar las consecuencias que estos descensos acarrear es necesaria la realización de un estudio más extenso del acuífero. PUMAGUA ha abierto una línea de investigación a cargo del Instituto de Geología de la UNAM con el objetivo de llevar a cabo un mejor diagnóstico de la situación del acuífero.

Tabla 9. Variación entre los niveles estático y dinámico en el Pozo III. FUENTE: DGOyC. UNAM

Pozo III. VIVERO ALTO (h=157m)	2006			2007		
	NIVES ESTATICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DIFERENCIA (m)	NIVES ESTATICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DIFERENCIA (m)
ENERO	93.32	93.49	0.17	92.20	92.34	0.14
FEBRERO	93.50	93.65	0.15	92.17	92.25	0.08
MARZO	93.72	93.80	0.08	92.19	92.28	0.09
ABRIL	94.21	94.39	0.18	92.03	92.15	0.12
MAYO	94.55	94.64	0.09	92.24	92.36	0.12
JUNIO	94.61	94.68	0.07	92.30	92.42	0.12
JULIO	94.51	94.63	0.12	92.46	92.64	0.18
AGOSTO	94.75	94.81	0.06	92.23	92.35	0.12
SEPTIEMBRE	94.07	94.18	0.11	92.40	92.51	0.11
OCTUBRE	92.87	93.00	0.13	91.86	91.98	0.12
NOVIEMBRE	92.65	92.79	0.14	91.38	91.55	0.17
DICIEMBRE	92.30	92.50	0.20	91.50	91.80	0.30
PROMEDIO MENSUAL	93.76	93.88	0.13	92.08	92.22	0.14
DIFERENCIA MENSUAL PROMEDIO ENTRE NIVELES (m)	0.13			0.14		

Tabla 10. Variación entre los niveles estático y dinámico en el Pozo II. FUENTE: DGOyC. UNAM

Pozo II. MULTIFAMILIAR (h=193 m)	2006			2007		
	NIVES ESTATICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DIFERENCIA (m)	NIVES ESTATICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DIFERENCIA (m)
ENERO	71.20	82.50	11.30	71.80	83.10	11.30
FEBRERO	70.95	81.15	10.20	77.45	88.40	10.95
MARZO	70.50	81.05	10.55	71.90	83.15	11.25
ABRIL	71.20	81.70	10.50	71.50	83.00	11.50
MAYO	73.30	86.60	13.30	70.40	81.90	11.50
JUNIO	72.20	81.70	9.50	69.80	80.20	10.40
JULIO	72.10	82.40	10.30	67.20	80.60	13.40
AGOSTO	72.00	83.35	11.35	70.80	82.45	11.65
SEPTIEMBRE	72.40	83.30	10.90	71.00	82.85	11.85
OCTUBRE	72.00	83.20	11.20	70.80	81.80	11.00
NOVIEMBRE	71.90	83.15	11.25	68.70	80.00	11.30
DICIEMBRE	68.50	86.80	18.30	68.30	80.35	12.05
PROMEDIO	71.52	83.08	11.55	70.80	82.32	11.51
DIFERENCIA MENSUAL PROMEDIO ENTRE NIVELES (m)	11.55			11.51		

Tabla 11. Variación entre los niveles estático y dinámico en el Pozo I. FUENTE: DGOyC. UNAM

Pozo I. QUIMICA (h=132m)	2006			2007		
	NIVES ESTATICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DIFERENCIA (m)	NIVES ESTATICO (m)	NIVEL DINAMICO (m)	DIFERENCIA (m)
ENERO	66.85	82.40	15.55	62.80	67.60	4.80
FEBRERO	66.85	82.40	15.55	67.10	83.90	16.80
MARZO	66.70	82.10	15.40	66.90	82.60	15.70
ABRIL	70.00	85.20	15.20	67.00	83.50	16.50
MAYO	70.60	85.60	15.00	67.40	83.70	16.30
JUNIO	71.00	85.90	14.90	66.90	83.10	16.20
JULIO	70.10	83.40	13.30	68.80	82.30	13.50
AGOSTO	67.20	82.80	15.60	67.40	84.10	16.70
SEPTIEMBRE	66.85	82.40	15.55	67.20	67.20	0.00
OCTUBRE	66.90	82.60	15.70	66.40	79.00	12.60
NOVIEMBRE	66.80	82.50	15.70	68.80	82.00	13.20
DICIEMBRE	68.00	84.40	16.40	66.40	81.40	15.00
PROMEDIO	68.15	83.48	15.32	66.93	80.03	13.11
DIFERENCIA MENSUAL PROMEDIO ENTRE NIVELES (m)		15.32			13.11	

En promedio, la extracción actual estimada de los pozos es de 100 l/s al día; el sistema de pozos opera generalmente de la siguiente manera: (a) el suministro en la Zona Cultural se obtiene directamente del pozo Vivero Alto, el agua restante se bombea al Tanque Vivero Alto, a lo largo de la tubería que une estos dos componentes se tienen algunas derivaciones directas hacia la red; (b) La parte central o casco viejo se abastece del Tanque Bajo, el cual a su vez recibe el agua del pozo multifamiliar, (c) algunos días del mes se utiliza el pozo de Química (para evitar inactividad en éste y posible contaminación), se envía agua al Tanque Bajo, ahí se encuentra un sistema de rebombeo el cual manda el agua hacia el Tanque Alto, de donde se abastece la zona del estadio, la Dirección de Obras, Actividades Recreativas, etc. Existe además una línea entre el Tanque de Vivero Alto y el Tanque Alto, que es utilizada para suministrar agua entre a Tanque Alto en situaciones en que los niveles de éste último se abaten de manera muy rápida o cuando un pozo queda fuera de operación. En las actuales políticas de operación no se considera el consumo de la energía eléctrica y más aún el costo que implica operar el sistema en las horas pico, por lo anterior, se estimó el costo de la electricidad en un día en el que funcionaron todos los equipos de bombeo, esto es, los tres pozos y el rebombeo que se

encuentra ubicado en el Tanque Bajo. Se tomó la tarifa horaria que establece la Comisión Federal de Electricidad para la región central de México y definida por horario base, intermedio y punta. En la Figura 30 se muestran los costos de energía más elevados cuando los equipos funcionan en el horario de punta (de 18 a 22 h); lo cual no implica que sean aquellas horas en donde se presente la máxima extracción; bajo este esquema de operación el costo total de la energía utilizada sería de \$9,797.34 pesos por un día, de \$293,920.14 al mes y de \$3,576,028.39 al año.

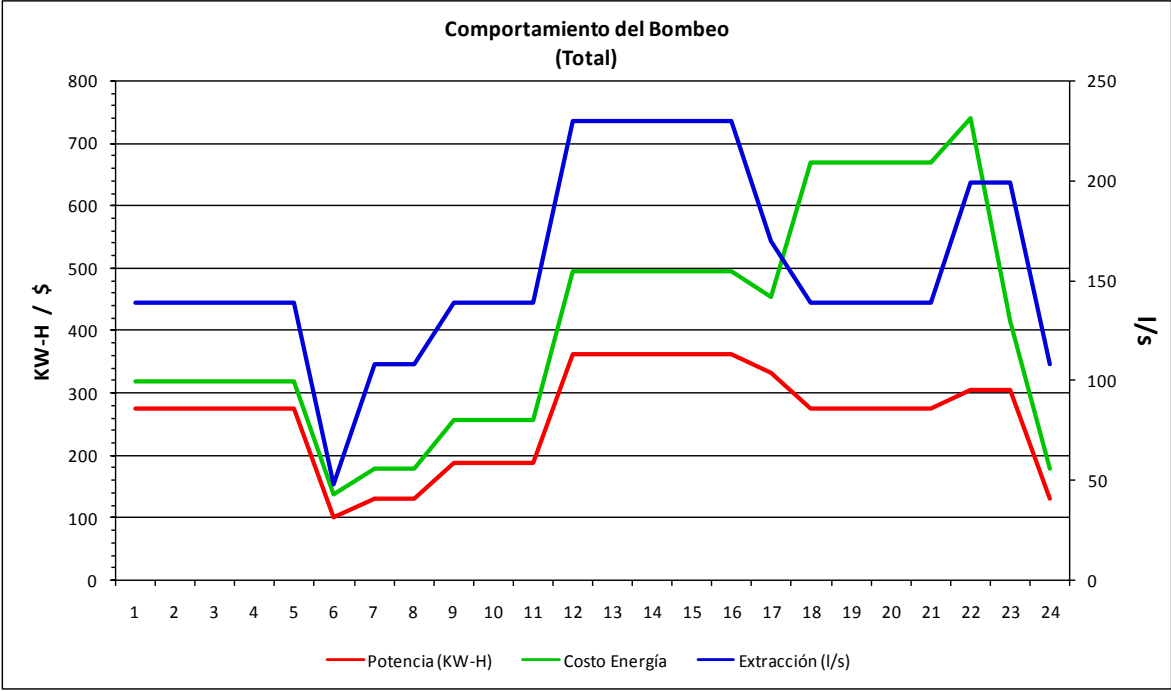


Figura 20. Consumo de energía en el equipo de bombeo y costos. FUENTE: DGOyC. UNAM

El paro y arranque de los pozos se hace de manera manual y está en función de los niveles mínimos que se manejan en los tanques de almacenamiento, lo cual es criterio del operador en turno, lo anterior implica que algunas veces si existe una disminución constante del nivel en los tanques; por ejemplo, debido a una fuga en la red principal, la operación del pozo es permanente, el operador deja funcionando las bombas sin evaluar si existe un desperfecto en el sistema de distribución de agua, además sin tener en cuenta el horario y el consumo de energía.

Macromedición.

Uno de los objetivos de PUMAGUA es utilizar tecnología que se encuentre a la vanguardia, esto es, implementar un sistema integral de medición automatizado que permita realizar con facilidad el análisis y recolección de información. El sistema de medición seleccionado que cumple con las condiciones de Ciudad Universitaria es el que proporciona la empresa Badger Meter, este sistema cumple con las especificaciones de generar datos íntegros de volumen y gasto disponibles en forma y en tiempo, que permitan ser convertidos en información para la toma de decisiones que reditúen en el ahorro de agua y energía en el campus de Ciudad Universitaria. Es decir, desde el punto de vista de procesamiento de información los datos generados por los medidores presentan la exactitud deseada ($\pm 0.05\%$) y su lectura es confiable. Adicionalmente, presentan características que permiten asegurar una larga vida útil, considerando el entorno de su instalación.

La Macromedición es por ahora considerada una de las actividades de mayor relevancia en los sistemas de agua potable y alcantarillado, debido a que a través de su práctica es posible conocer los caudales o volúmenes de agua potable entregados al sistema por sus fuentes de abastecimiento, así como cuantificar lo que sale de él en forma de aguas residuales. El medidor de flujo electromagnético de Badger Meter es útil para medir el caudal volumétrico de líquidos con conductividad eléctrica en sistemas de tuberías cerradas. Su principio de operación está basado en la ley de Faraday de inducción electro-magnética y provee con una serie de ventajas muy importantes entre las que destacan:

- ✓ Su capacidad de medición es independiente de las propiedades físicas del líquido, tales como viscosidad, densidad o temperatura.
- ✓ El tubo de medición ofrece una sección transversal completamente abierta, sin partes mecánicas en movimiento, produciendo por lo tanto una pérdida de carga (caída de presión hidráulica) apenas igual a la de una sección de tubería del mismo largo, y un servicio virtualmente libre de mantenimiento.
- ✓ Las únicas partes en contacto con el líquido son fabricadas con una variedad de materiales diseñados para proveer excelentes propiedades mecánicas y químicas.

Es un dispositivo que puede medir con exactitud una amplia gama de líquidos “difíciles” tales como químicos altamente corrosivos, jugos de fruta, pastas, aguas recuperadas y otros fluidos con sólidos en suspensión.

La red de agua potable de Ciudad Universitaria cuenta con diez puntos en los que es necesaria la macro medición. De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, deben de medirse: Las fuentes de abastecimiento, líneas de conducción, pozos profundos, re bombeos así como la red de distribución. PUMAGUA ha convenido, junto con la DGOyC la instalación de 10 medidores electromagnéticos en los puntos citados líneas arriba, así como a la entrada de los cinco sectores hidráulicos definidos con la modelación matemática. En el capítulo siguiente se detalla más sobre los avances en la instalación de estos medidores, así como de la información disponible como resultado de su puesta en marcha.

2.2.2.- Regularización.

La regularización tiene por objeto cambiar el régimen de suministro (captación conducción), que normalmente es constante, a un régimen de demandas (de la red de distribución), que siempre es variable. El tanque de regulación es la estructura destinada para cumplir esta función, y debe proporcionar un servicio eficiente, bajo normas estrictas de higiene y seguridad, procurando que su costo de inversión y mantenimiento sea mínimo. Adicionalmente a la capacidad de regulación, se puede contar con un volumen extra y considerarlo para alimentar a la red de distribución en condiciones de emergencia (incendios, desperfectos en la captación o en la conducción, etc.). Este volumen debe justificarse plenamente en sus aspectos técnicos y financieros. La capacidad del tanque está en función del gasto máximo diario y la ley de demandas de la localidad, calculándose ya sea por métodos analíticos o gráficos. (MAPAS. CONAGUA. 2007).

El sistema de regularización de Ciudad Universitaria cuenta con tres tanques reguladores: Tanque Alto, Tanque Bajo y Tanque de Vivero Alto. Los tres tanques que existen en Ciudad Universitaria son abastecidos por los tres pozos con que cuenta el campus. Son del tipo "superficiales" y cuentan en conjunto con una capacidad de 12,000 m³. La Tabla 15 muestra las características de los tanques y la capacidad de cada uno de ellos. La figura 32 muestra su ubicación.

Tabla 12. Características generales de los taques en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

Tanque	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Capacidad (m ³)
T. Alto	40	25	4	4,000
T. Bajo	29	23	3	2,000
T. Vivero Alto (4)	25	20	3	6,000
TOTAL				12,000

El Tanque Bajo es abastecido por el pozo de Química y su función es apoyar al Tanque Alto (mediante un equipo de rebombeo); esto cuando el pozo Multifamiliar esta en mantenimiento. El Tanque Alto es abastecido por el pozo Multifamiliar y cuando esta en mantenimiento

también lo puede apoyar el Tanque Vivero Alto. El Tanque Vivero Alto se alimenta del pozo Vivero Alto; este tanque esta formado por cuatro tanques que se comunican entre si.

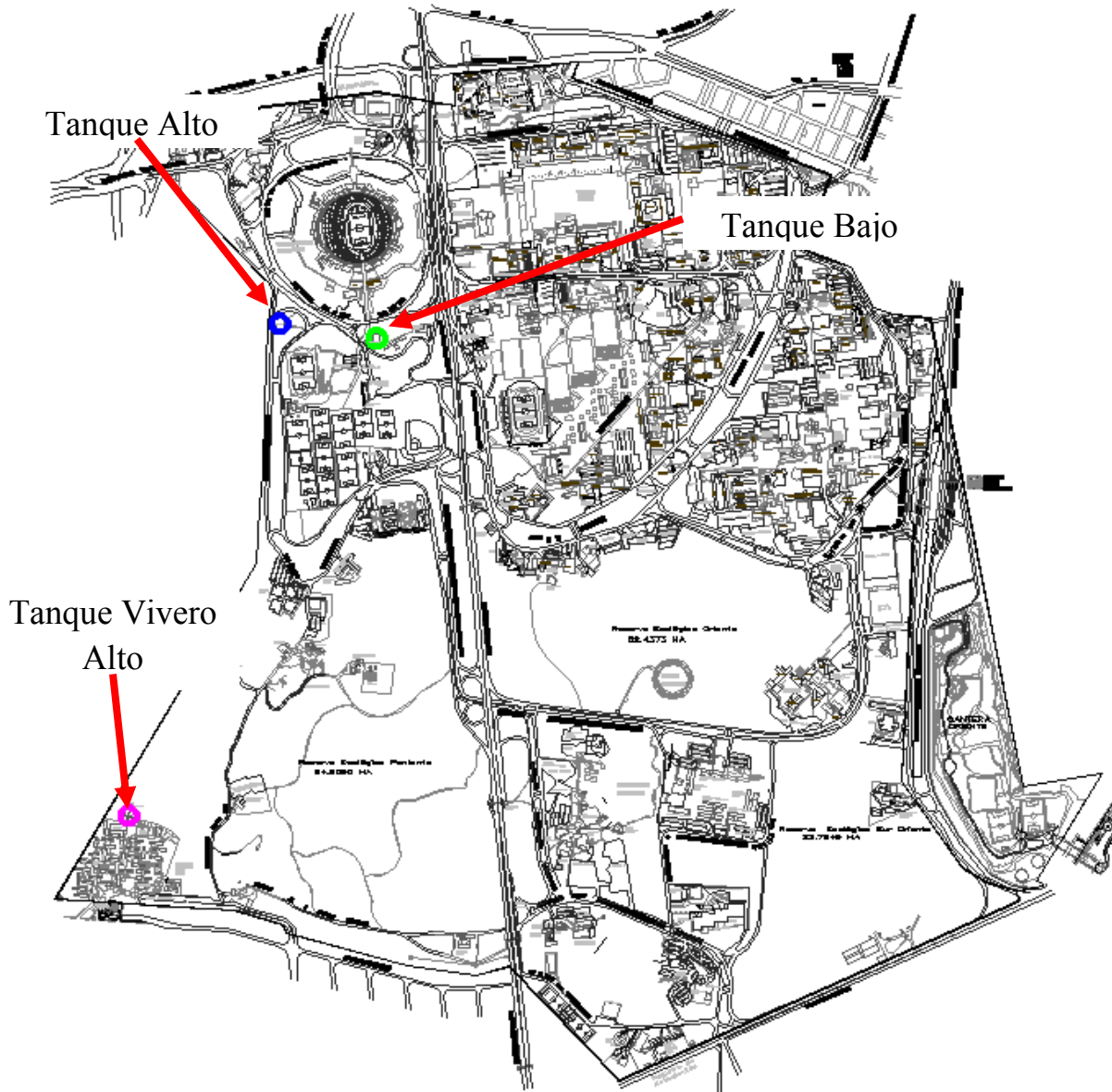


Figura 21. Tanques de almacenamiento en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

El mantenimiento de los tanques se realiza dos veces por año, en periodo vacacional; y consiste en lavarlos, pintarlos y monitorear la calidad del agua. Se lleva un registro de forma manual de los niveles en los mismos, el cual consiste en tomar la lectura visualmente con ayuda de una regleta que está pintada en el interior del tanque con una resolución de 5 cm, esto es cada hora durante todos los días del año. Con la información histórica proporcionada por la Coordinación de Conservación, que implicó la digitalización de los registros, se realizó un

análisis de los niveles en los tanques para determinar su funcionamiento y a la vez la demanda que en éstos se presenta. Esta investigación indica, por un lado, el suministro nocturno que se presenta en Ciudad Universitaria y por otro, el suministro aproximado durante el día; pudiendo detectarse fugas de gran caudal en la red.

En la Figura 33 se observa la variación del nivel en el Tanque Vivero Alto, en la gráfica se presenta un abatimiento (disminución de nivel) de 50 cm durante la noche, obteniendo así un consumo nocturno para la Zona Cultural de 20.2 l/s. En el Tanque Alto, cuando el nivel de agua baja de la cota 3.0 m se activa el pozo Multifamiliar lo que permite restablecer el nivel en el tanque y abastecer la demanda nocturna de la parte central de CU, que en promedio es de 38.6 l/s. En total, el gasto nocturno que se obtiene es de 58.8 l/s, el cual corresponde a un mínimo consumo por instalaciones como laboratorios y pequeños usuarios, la gran mayoría sugiere fugas en la red.

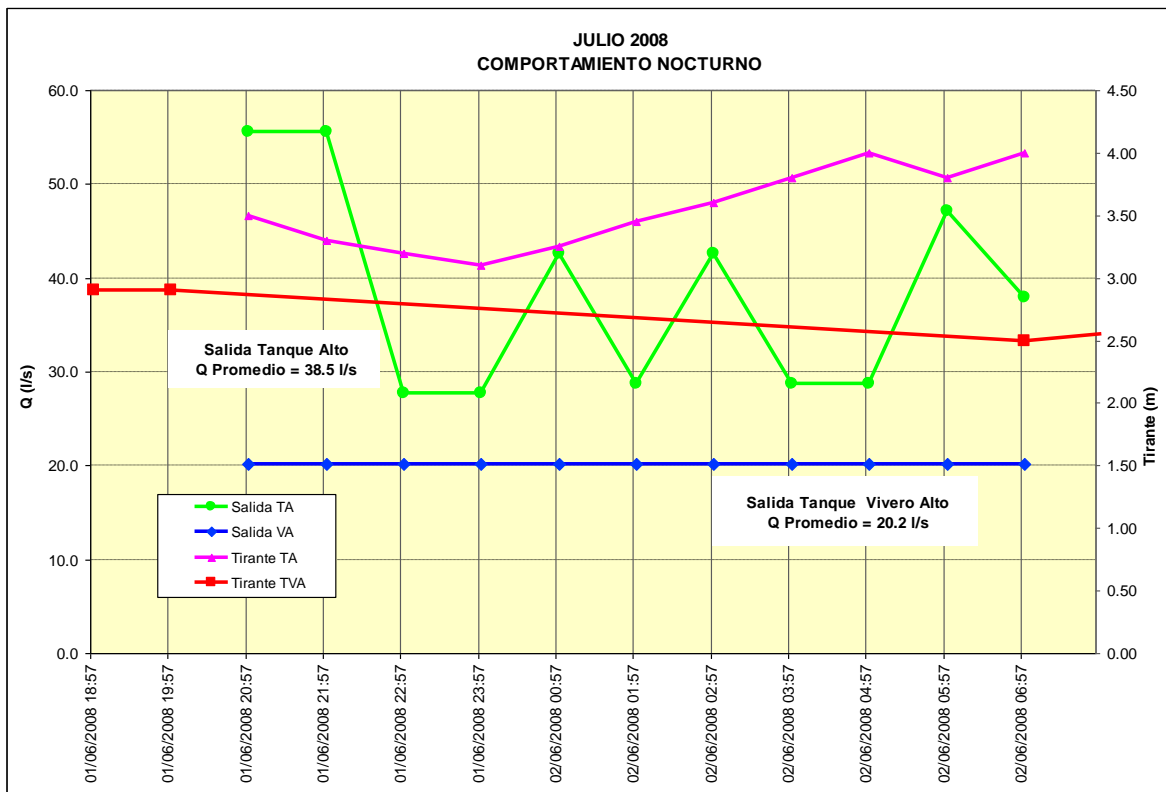


Figura 22. Tanques de almacenamiento en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

Es importante comentar, que los registros históricos deben tomarse con reserva pues existen algunos errores de apreciación en las lecturas de los niveles en los tanques así como también en

la lectura de los medidores de los pozos; por otro lado, es indispensable medir aquellas derivaciones directas a la red de distribución que se encuentran ubicadas sobre las líneas que conducen agua de los pozos a los tanques.



Figura 23. Tanque Vivero Alto.



Figura 24. Tanque Alto

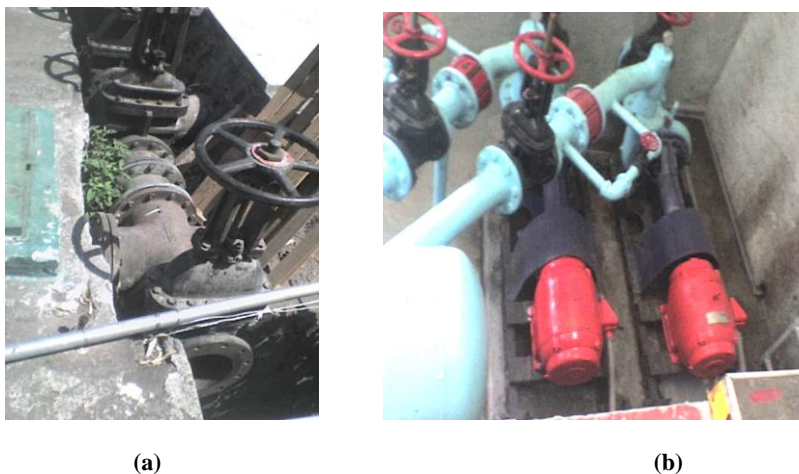


Figura 25. Tanque bajo: (a) válvulas y (b) Equipo de re bombeo en Tanque Bajo.

En general, las condiciones físicas de los tanques pueden considerarse aceptables; aunque no está por más una revisión que identifique fugas en su interior.

2.2.3.- Distribución.

Una red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de regulación hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como el extinguir incendios. La red de distribución de agua potable de Ciudad Universitaria se compone de los siguientes elementos: (a) Tuberías, (b) Piezas especiales, (c) Tomas de agua, (d) Hidrantes, entre otros.

(a) Tuberías.

La red de distribución de agua potable de Ciudad Universitaria está integrada por cerca de 54 Km. de tubería de muy diversos diámetros y materiales, como lo son: Acero, Asbesto, Fierro fundido, PVC y PEAD. (Tabla 16)

La red está dividida en diámetros comerciales de 1, 1 ½, 2, 2 ½ pulgadas para algunas derivaciones hacia los edificios y tomas de riego. Se cuenta con diámetros de entre 3 y 6 pulgadas en ramales de alimentación de agua en la mayor parte de las dependencias. En las líneas de la red primaria se presentan diámetros de 3 a 8 pulgadas y para las líneas de conducción, que van de los pozos a los tanques, existen diámetros de 10 y 12 pulgadas; sólo

hay una línea de 20 pulgadas que va del tanque Vivero Alto a la red de distribución de la Zona Cultural (Figura 36).

Tabla 13. Porcentaje y longitud de los diferentes materiales de la red de distribución.

Material	Longitud (m)	Porcentaje (%)
Acero	25,610.00	47.81%
Asbesto	11,785.00	22.00%
Fierro Fundido	9,623.00	17.96%
PEAD	750.00	1.40%
PVC	5,802.00	10.83%
TOTAL	53,570.00	100.00%

En la Figura 36 se muestra la configuración actual de la red, la cual se tuvo que digitalizar en Auto CAD a partir del plano original manejado por los operadores; cabe mencionar que este plano data de 1989, y aunque no siempre se hace, debe corregirse con verificaciones en campo. Lo anterior se debe a que a lo largo de los años se ha modificado y ampliado la red debido a la construcción de edificios en las diferentes Facultades, Institutos, Centros y Escuelas; los cuales no son notificados a la Dirección General de Obras y Conservación. Las correcciones se hacen en las líneas principales (ubicación y materiales), ubicación de cruceros y su numeración, válvulas y manómetros nuevos, derivaciones y cancelaciones de líneas deterioradas.

El operador de la red es la Dirección General de Obras y Conservación por medio de la Coordinación de Conservación y el Taller de Agua Potable cuya función es operar los pozos y tanques, darle mantenimiento a la red y reparar fugas en red principal. Actualmente tienen un programa de instalación de manómetros, sustitución de válvulas de seccionamiento que están deterioradas y detección de fugas en red principal. El taller cuenta con un equipo de 10 personas. En ocasiones realiza reparaciones en red secundaria o en el interior de edificios, esto se debe a que los encargados del mantenimiento en las propias instituciones no conocen las instalaciones y registros que controlan el suministro a las mismas o bien, no cuentan con el personal capacitado para llevar a cabo estas actividades.



Figura 26. Red de agua potable de Ciudad Universitaria.

El esquema básico de la red de distribución de Ciudad Universitaria es de tipo combinado, ya que incluye configuraciones cerradas (o circuitos) y abiertas. Cabe destacar que la configuración de la red se refiere a la red primaria, ya que es la que rige el funcionamiento hidráulico de la misma. Un circuito es un conjunto de tuberías conectadas en forma de polígono, donde el agua que parte de un punto puede volver al mismo después de fluir por las tuberías que lo componen. Cuando una red es cerrada (o tiene forma de malla), sus tuberías forman al menos un circuito. La ventaja de las redes cerradas es que en caso de falla, el agua

puede tomar trayectorias alternas para abastecer una zona en particular de la red. Una desventaja de las mismas es que no es fácil localizar las fugas.

La red abierta, por el contrario, se compone de tuberías que se ramifican sin formar circuitos (forma de árbol). Esta configuración de la red se utiliza cuando la planimetría y la topografía son irregulares dificultando la formación de circuitos. Este tipo de red tiene desventajas debido a que en los extremos muertos pueden formarse crecimientos bacterianos y sedimentación; además, en caso de reparaciones se interrumpe el servicio más allá del punto de reparación; y en caso de ampliaciones, la presión en los extremos es baja.

Una red de distribución se divide en dos partes para determinar su funcionamiento hidráulico: la red primaria, que es la que rige el funcionamiento de la red, y la red secundaria o "de relleno".

La red primaria permite conducir el agua por medio de líneas troncales o principales y alimentar a las redes secundarias. El diámetro mínimo de las tuberías correspondientes a la red primaria en Ciudad Universitaria es de 100 mm (4") y en el caso de la red secundaria diámetros menores a este, los cuales constituyen los diámetros de las tomas.

La forma de distribución en Ciudad Universitaria es en forma "mixta" debido a que tanto se suministra agua por gravedad, así como por bombeo directo a la red. En la distribución por gravedad el agua de la fuente se conduce o bombea hasta un tanque desde el cual fluye por gravedad hacia las entidades. Este es el método más confiable y se utilizó para el caso de Ciudad Universitaria debido a que se dispone de cotas de terreno suficientemente altas para la ubicación de tanques de regularización, así como para asegurar las presiones requeridas en la red; sin embargo, en el caso de distribución por bombeo, son las bombas las que abastecen directamente a la red y la línea. Este es el sistema menos deseable pues al variar el consumo en la red, la presión en la misma cambia también. Así, al considerar esta variación, se requieren varias bombas para proporcionar el agua cuando sea necesario. Las variaciones de la presión suministrada por las bombas se transmiten directamente a la red, lo que puede aumentar el gasto perdido por las fugas. La experiencia de operación en México ha mostrado que esta forma de distribución no es adecuada.

Los mas de 50 años de operación de la red ponen en evidencia algunos problemas derivados del tiempo, como lo son las incrustaciones, además, la fluctuación de presiones con incrementa el desgaste de la tubería y la aparición de fugas en las zonas más bajas.



Figura 27. Incrustaciones en las tuberías de agua potable

El personal encargado del mantenimiento de la red no cuenta con el equipo suficiente y adecuado para llevar a cabo acciones preventivas y correctivas. Respecto a las fugas, no tienen equipo para su detección, estas se identifican cuando los niveles de los tanques de regulación tardan mucho en recuperarse, para luego llevar a cabo recorridos por las zonas en que se registran pérdidas de presión; pero esto sólo en los sitios en donde se hallan instalados manómetros, en otro caso, la localización se lleva a cabo mediante el ruido “característico” de una fuga, cuando esto último sucede, la detección es otro proceso todavía más tardado, porque se hacen zanjas en puntos por donde debiera ir la tubería con el objeto de encontrar indicios de la fuga. PUMAGUA ha adquirido equipos detectores de fugas, mismos que en la medida de lo posible, harán posible la detección más rápida de las mismas.

No hay un indicador específico para determinar el valor de la eficiencia hidráulica en una red de distribución; sin embargo, la manera más práctica de valorarla es a través de algunos parámetros sobre la disponibilidad espacial y temporal del agua a los usuarios. Algunos de estos parámetros son: a) Consumo (l/usuario/día), b) Continuidad en el servicio de agua (horas/día), c) déficit entre el caudal de agua disponible en la red y el caudal de agua requerido por los usuarios ($\pm\%$) y d) Presión media del agua en la red de distribución (Kg/cm^2).

De acuerdo con la información disponible, el consumo per cápita en Ciudad Universitaria es de 20 l/usuario/día, el servicio de agua potable se proporciona durante las 24 hrs del día los 365 días del año, la presión media en la red de distribución de Ciudad Universitaria es de 35 Kg/cm², en tanto que con las condiciones actuales de la red no existe un déficit entre lo demandado por los usuarios y lo explotado de los pozos, antes bien, se pierde en fugas más de lo que se suministra. Podría concluirse que la eficiencia hidráulica del sistema de agua potable es aceptable; aunque estos parámetros por sí solos no son suficientes para concluir sobre la eficiencia hidráulica de la red y poder compararla con las eficiencias de diversos sistemas de agua potable del país y más allá de nuestras fronteras, si no que son necesarios otras variables para poder hacer una comparación, como lo pudieran ser: la edad de la tubería, su longitud, sus presiones, etc. Existe un indicador que incluye estas variables y tiene la bondad de poder ser comparable. El cálculo del **Índice de Fugas Estructurales (IFE)** permitirá concluir sobre la eficiencia del sistema de agua potable de Ciudad Universitaria; no obstante, su obtención demanda de datos que aun no ha sido posible mensurar.

(b) Piezas especiales.

Las piezas especiales son todos aquellos accesorios que se emplean para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, modificaciones de diámetro, uniones de tuberías de diferente material o diámetro, y terminales de los conductos, entre otros.

A lo largo de la red de distribución se encuentran poco más de 310 cruceros; muchos de ellos en condiciones que los hacen inaccesibles, como lo es el hecho de que estén llenos de agua, que existan líneas de energía eléctrica, que se hallen dentro de oficinas, en medio de la carpeta asfáltica, o bien, estén muy atorados, hecho que dificulta su apertura; inclusive, hay registros con profundidad de más de cinco metros, lo que los vuelve muy peligrosos ante la posible presencia de gases.

La mayor parte de la unión entre tuberías es a través de juntas mecánicas. Se ha dejado de utilizar hasta donde sea posible la termofusión para el caso de tuberías de Polietileno de alta densidad (PEAD) debido a que justamente en la zona de unión se ha producido una gran incidencia de fugas, principalmente en zonas con presiones por arriba de los 6 Kg/cm², en su lugar, se emplean juntas mecánicas, debido a que estas son prácticas y “sencillas” de instalar y

no requieren herramientas especiales, además de que existen adaptadores de este tipo de unión en tuberías plásticas



Figura 28. Cruceos de la red de distribución de agua potable. Línea de 10" con derivaciones a 4".

Las juntas mecánicas (Figura 41) consisten en unir un tubo con un extremo bridado (brida fija) y en disposición campana con otro tubo espiga o liso empleando una contra brida (brida móvil) y un anillo de sellado.

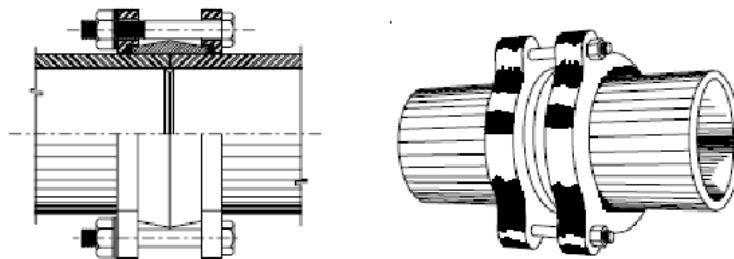


Figura 29. Junta Gibault generalmente empleada en uniones de tuberías. FUENTE: MAPAS 2007. CONAGUA.

La reducción de diámetros se hace por medio de reducciones bridadas tipo campana o bien a través de tee's reductoras (Figura 41).



Figura 30. Reducción de diámetros en la red. Izquierda: Reducción campana. Derecha: Tee reductora.

En los cruceros se encuentran cerca de 800 válvulas de seccionamiento de vástago saliente (Es decir, que este se desplaza según su eje vertical. Vástago hacia arriba: abierto. Vástago hacia abajo: cerrado), las cuales son utilizadas para separar o cortar el flujo del resto del sistema de abastecimiento en ciertos tramos de tuberías, bombas y dispositivos de control con el fin de revisarlos o bien, repararlos. La figura 44 muestra la ubicación de las válvulas hasta el momento registradas en planos, la mayor parte de estas presentan fugas. Existen válvulas expulsoras de aire, sobre todo al sur del campus universitario, zona en donde las líneas atraviesan terrenos con cotas muy pronunciadas y donde existe el riesgo de acumulación de aire en la tubería. Hay también Válvulas Check o antirretorno, sobre todo en los trenes de descarga de los pozos y equipos hidroneumáticos. En algunas dependencias se han encontrado Válvulas Reductoras de Presión, sobre todo en los ramales de alimentación de estas.

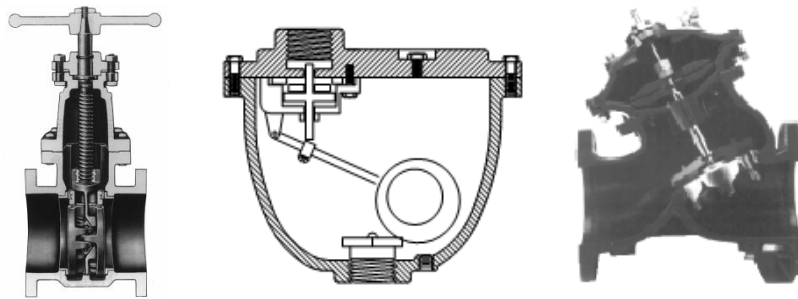


Figura 31. De izquierda a derecha: Válvula de seccionamiento, Válvula Expulsora de Aire y Válvula Reductora de Presión.

En la red se tienen instalados 45 manómetros para la detección de fugas, estos manómetros se encuentran instalados sobre la misma red de distribución y se ubican específicamente en cruceros. La figura 44 muestra la ubicación de los manómetros.



Figura 32. Localización de válvulas. En color naranja se encuentran las válvulas de compuerta, y en color azul la de expulsión de aire.



Figura 33. Ubicación de los 45 manómetros. FUENTE. DGOyC. UNAM

(c) Tomas de agua potable: Micromedición

La toma de agua potable tiene como función el proporcionar agua de la red de distribución para conducirla a la instalación hidráulica intradomiciliaria. Se divide en dos partes conocidas como ramal y cuadro. Se le llama ramal a la conexión que abarca desde el acoplamiento de la red de distribución hasta el codo inferior del cuadro. El cuadro es propiamente el conjunto de tubos y codos que forman una figura rectangular con el objeto de alojar un medidor y que sea cómoda su lectura. (MAPAS 2007. CONAGUA)

El esquema típico de las tomas para el caso de Ciudad Universitaria es un asunto muy particular: los diámetros de los ramales varían de 2" a 4" en 95% de las tomas levantadas, además, generalmente cada edificio cuenta con más de una toma. Se estima que existen más de 200 edificios en el campus, con la posibilidad de encontrar alrededor de 300 tomas. La disparidad entre los diámetros de la toma y los diámetros de los medidores Badger Meter que PUMAGUA recomienda instalar, ha motivado la elaboración de un Manual para la Selección, Instalación y Mantenimiento de medidores que explica la manera más recomendable de elegir un medidor teniendo como principal criterio las pérdidas de carga que este produce al ser instalado, así como brindar recomendaciones para su instalación y mantenimiento.

El desconocimiento por parte de la propia Dirección General de Obras y Conservación, así como de una gran parte de las propias entidades universitarias sobre la ubicación de las tuberías que suministran agua a sus edificios, motivó la ejecución de un programa de ubicación de tomas, en el se colaboró de manera conjunta con personal de la DGOyC al tiempo de recibir apoyo por parte de las entidades. Dentro de las dificultades más recurrentes en estos trabajos, han sido, por ejemplo, la falta de planos de instalaciones hidráulicas en cada dependencia los cuales brinden una idea sobre la ubicación de tuberías, además, la falta de uniformidad en los registros de servicios producen un gran retraso en los trabajos; en la mayor parte de las veces son necesarias la realización de pruebas de cierre de válvulas que permitan definir los edificios que son alimentados de uno o varios cruceros. Este tipo de pruebas condicionan la realización de los trabajos al tiempo de generar conflictos entre los usuarios.

Los trabajos llevados a cabo han permitido identificar hasta el momento 122 tomas de agua potable en 54 dependencias universitarias, lo que representa un avance del 38% en estos trabajos (De un total de 144 dependencias que se congregan en Ciudad Universitaria); de las tomas identificadas, sólo 35 de ellas cuentan con algún medidor (instalados dentro del programa de mejoramiento ambiental impulsado por la DGOyC y un grupo de expertos del IINGEN en 1997); de estos, sólo 3 funcionan. La tabla 17 muestra parte del inventario de los medidores de agua ubicados durante los trabajos de campo, mientras que las tablas 18 y 19 resumen la información recabada. El inventario completo de los medidores de agua instalados previamente puede consultarse en el Anexo 1 de esta tesis. De los 35 medidores de agua instalados e inventariados en estos trabajos, 43% son medidores de 2" mientras que el 40% corresponde a medidores de 4". (Tabla 20). Sólo el 8% de estos funcionan. Por otro lado, en las 122 tomas levantadas es necesario la reducción de diámetros y un cuadro de medición según las especificaciones establecidas en Manual de Selección, Instalación y Mantenimiento a Medidores de Agua Fría elaborado por PUMAGUA.

Tabla 14. Parte del inventario de medidores realizado durante las visitas de campo para identificar tomas de agua.



<p style="text-align: center;">21</p>		<p>Sector Hidráulico 2. DGOSE Toma 1. Medidor de 4" No funciona</p>
<p style="text-align: center;">22</p>		<p>Sector Hidráulico 2. Torre de Rectoría. Toma 1. Medidor de 2" No funciona</p>

Tabla 15. Dependencias Universitarias (1 – 27) con toma de agua ubicada.

No	ENTIDAD UNIVERSITARIA	Tomas ubicadas	Tomas con medidor
1	Almacén General	1	1
2	Anexo de Derecho	2	1
3	Base de Microbuses	1	0
4	Biblioteca Central	1	1
5	Casa Club del Académico	3	0
6	CELE	1	0
7	Centro de Educación Continua de Estudios Superiores del Deporte	1	0
8	Coordinación de Humanidades	1	0
9	DGOSE	1	1
10	DGSCA	1	1
11	Dirección General de Actividades Cinematográficas	1	0
12	Dirección General de Actividades Deportivas y Recreativas	1	1
13	Dirección General de Obras y Conservación	1	1
14	Dirección General de Proveduría	1	1
15	Dirección General de Relaciones Laborales	1	1
16	Estadio Olímpico Universitario	1	1
17	Ex reposo de atletas	1	0
18	Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	1	0
19	Facultad de Contaduría y Administración	3	2
20	Facultad de Derecho	2	1
21	Facultad de Economía	1	1
22	Facultad de Filosofía y Letras	4	1
23	Facultad de Ingeniería	7	1
24	Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia	15	0
25	Facultad de Odontología	3	1
26	IIMAS	2	1
27	Instituto de Ecología	1	0
		59	18

Tabla 16. Dependencias Universitarias (28 - 54) con toma de agua ubicada.

No	ENTIDAD UNIVERSITARIA	Tomas ubicadas	Tomas con medidor
28	Instituto de Geofísica	3	0
29	Instituto de Geografía	3	0
30	Instituto de Geología	2	0
31	Instituto de Ingeniería	12	0
32	Instituto de Investigación en Materiales	4	0
33	Instituto de Investigaciones Biomédicas (Nueva y vieja sede)	4	0
34	Instituto de Investigaciones Económicas	1	0
35	Instituto de Investigaciones Estéticas e Históricas	2	0
36	Instituto de Investigaciones Filológicas	1	0
37	Instituto de Investigaciones Filosóficas	1	0
38	Instituto de Investigaciones Jurídicas	2	0
39	Instituto de Investigaciones Sociales	1	0
40	Instituto de Química	3	0
41	Jardín Botánico	1	0
42	MUCA	1	0
43	Posgrado de Contaduría	3	2
44	Posgrado de Derecho	1	1
45	PTAR. Cerro del agua	1	1
46	Rectoría	1	1
47	Sala Netzahualcóyotl y zona de teatros	1	0
48	Sistema de Universidad Abierta	1	1
49	Talleres de Conservación	1	1
50	Torre II de Humanidades	1	0
51	Unidad de Posgrados	9	0
52	Unidad de Seminarios Ignacio Chávez	1	0
53	Unión de Universidades de América Latina	1	0
54	Zona Comercial y Gaceta UNAM	1	1
		63	8

Las condiciones físicas en que se encuentran la mayor parte de las tomas sugiere la realización de obra civil, reducción de diámetros para colocar nuevos medidores en sitios donde ya existe medidor y en los que aun no se han instalado, así como la sustitución, en algunos casos, de los accesorios (sobre todo válvulas) que conforman el ramal de alimentación de los edificios. Este

tipo de particularidades elevan el costo de instalación de cada medidor, ascendiendo este a más de \$10,000.00 pesos en promedio por medidor instalado (incluyendo el costo del medidor)

Tabla 17. Diámetros de medidores instalados en 1997 e inventariados por PUMAGUA.

Diámetro medidor	Cantidad	Porcentaje
2"	15	43%
4"	14	40%
6"	4	11%
8"	1	3%
12"	1	3%
	35	100.00%

Los trabajos de campo llevados a cabo han mostrado también los materiales de los arreglos de los ramales de alimentación a cada uno de los edificios, teniéndose que, 85% de las tomas son de Acero Galvanizado, mientras que un 10% son de Fierro Fundido y un 5% de Cobre. De momento no se han encontrado tomas con componentes plásticos.

(d) Fugas

Una fuga se define como una salida no controlada del agua en cualquiera de los elementos del sistema de distribución de agua potable (MAPAS, CONAGUA. 2007).

Las fugas pueden variar dependiendo de: tipo de suelo, calidad de agua, especificaciones, calidad de construcción y materiales utilizados, edad de las instalaciones y prácticas de operación y mantenimiento. Las fugas también pueden ocurrir en los tanques de regularización y cisternas, debido al agrietamiento de las estructuras, o al rebose de las mismas. (MAPAS, CONAGUA. 2007).

En la red, las fugas pueden presentarse como consecuencia del agrietamiento transversal, aplastamiento y agrietamiento longitudinal. El primer caso se debe a esfuerzos y vibraciones producidas por cargas superficiales; el segundo es resultado de una construcción defectuosa y el tercero se debe a la fatiga de los materiales, defectos de fabricación o golpe de ariete.

Fenómenos como la corrosión pueden incrementar este problema, o bien, otros como el junteo defectuoso de tubos o fallas en válvulas. (MAPAS, CONAGUA. 2007).

Las fugas pueden traducirse en pérdidas económicas para la Universidad debido a que se generan: *a)* Desperdicio de agua, *b)* Contaminación de agua, *c)* Aumento en el consumo de cloro, *d)* Aumento en el consumo de energía eléctrica, *e)* Crea una mala imagen institucional y *f)* Aumento del riesgo de la infraestructura.

Estudios realizados por el IMTA muestran que 90% de las fugas se presentan sobre las acometidas de agua, en tanto que el 10% restante sobre la red de distribución. Los caudales de las fugas por el contrario, son mayores en las redes que en las tomas. Por ejemplo, una gotera en una llave de 20 ml/seg representa 72 l/hora o bien, en 4 días 15 horas lo equivalente a una pipa de 8000 litros; por el contrario, suponiendo una fuga sobre una línea primaria de 900 l/hora la misma pipa de agua se llena en tan sólo 9 horas. (Figura 45)

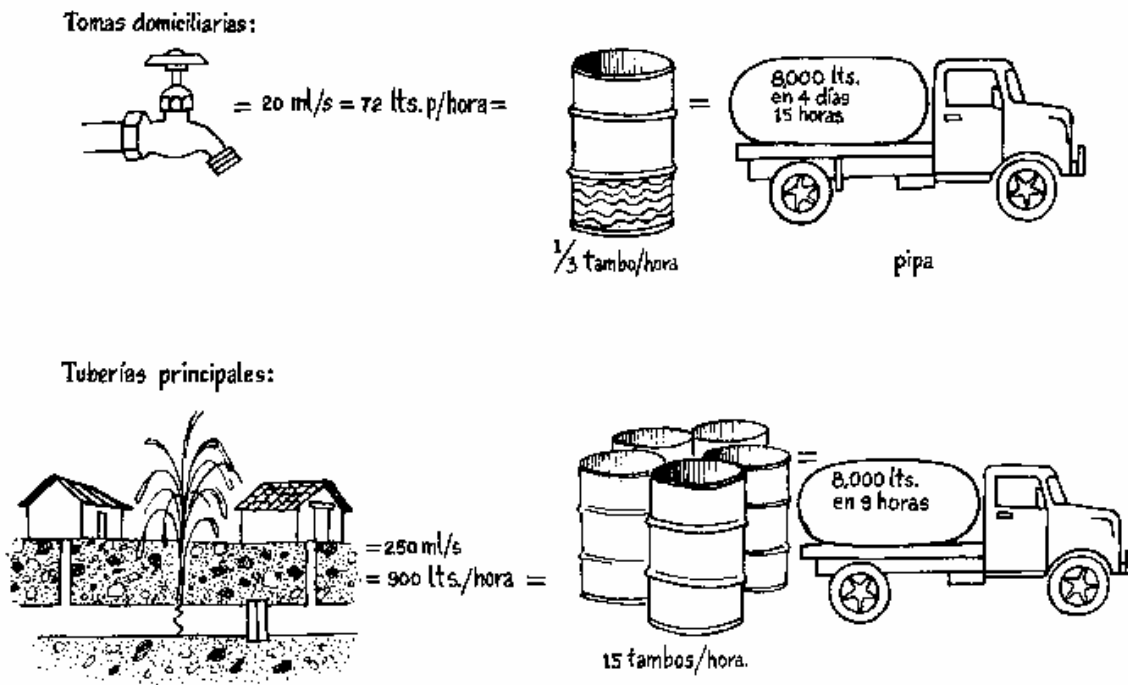


Figura 34. Fugas de agua en acometidas y en redes de distribución de agua. FUENTE: L. OCHOA. IMTA. 2007

Se han desarrollado una serie de métodos que buscan la detección y localización de fugas, entre los que destacan: *a)* Presión Diferencial, *b)* Sectores Hidráulicos, *c)* Reportes de Usuarios y *d)* Empleo de equipos electrónicos indirectos y directos. El primer método consiste en medir

presiones sobre tramos de tuberías en las que es posible localizar una fuga, de manera que en los tramos en donde exista una caída de presión es probable localizarla. El segundo método consiste en seccionar la red de agua, de modo que el suministro se haga sólo por un solo punto y colocando en este sitio algún equipo de medición que permita identificar los suministros nocturnos que, en la mayor parte de los casos, son indicio de existencia de fugas tanto en la red como al interior de los edificios. Los reportes de usuarios son más bien un método de tipo correctivo y se enfocan principalmente a la reparación de fugas visibles, la experiencia por parte de los organismos operadores muestran que una gran parte de las fugas no lo son. De cualquier modo, su ubicación espacial puede ayudar a visualizar las zonas o sectores con mayor incidencia de estas. El empleo de equipos electrónicos requieren de personal altamente especializado. Los equipos normalmente utilizados son el geófono y correladores, ambos basados en el sonido característico que produce una fuga. La manera más efectiva de detectar y localizar fugas es combinar los diferentes métodos existentes.

Mientras que las fugas en las ciudades en México representan entre el 30% y el 50% del agua suministrada con presiones entre 1 y 2 kg/cm², las fugas en redes en buenas condiciones (París, Barcelona, Singapur, Nagoya, etc.) fluctúan del 10% al 15% del suministro; pero con presiones de 4 ó 5 kg/cm². Los programas de reducción de fugas han sido muy poco o nada eficaces por una estrategia inadecuada; **en el caso de una red extensa y muy deteriorada: si no se controlan las presiones es ineficiente o inútil todo lo demás que se haga.** Todo lo demás quiere decir: (a) Nuevos suministros, (b) Ahorros de consumo y (c) Reparación o sustitución de red. (Capella V. Antonio. El problema de las fugas de agua)

En Ciudad Universitaria, el procedimiento que actualmente sigue el Taller de Agua Potable para la detección, localización y reparación de fugas se basa sólo en los reportes de usuarios y en menor medida por el método de presiones diferenciales. El procedimiento empleado es el siguiente:

1. Reporte por parte de usuarios de alguna dependencia de falla o falta del servicio o de transeúntes si la fuga se ha manifestado en la superficie.
2. Visita del personal de la DGOC al sitio para la verificación del problema.
3. Control de la fuga, en caso de conocer su alimentación.

4. Búsqueda mediante objetos metálicos que se ponen en contacto con la tubería con el objetivo de escuchar el correr del agua y detectar alguna irregularidad.
5. Localización mediante excavaciones en el sitio supuesto de la fuga
6. Reparación de la fuga o inhabilitación de la línea de conducción una vez descubierta y controlada.

Es importante mencionar que el equipo de detección es la misma herramienta que utilizan para la reparación, esto es, desarmadores, barretas, picos, palas, etc.; método que no es eficiente, ya que la reparación de una fuga que no es visible o superficial les lleva mucho tiempo, (pueden ser semanas o meses). Cuando la fuga se ha manifestado en la superficie, se recibe un reporte o se nota con un cambio en la presión de la tubería en donde se tienen manómetros instalados. Se hace una excavación en el sitio del manifiesto y se repara la fuga de inmediato o se inhabilita el tramo hasta su reparación. Con frecuencia no se conoce la ruta que sigue la tubería y eso dificulta la localización. Para esto, se hacen excavaciones con la continuidad y tamaño necesarios para seguir la tubería; se buscan registros (cajas de válvulas) con el mismo fin. Todos los viernes últimos de mes se acostumbra hacer revisiones de rutina a las líneas de conducción principales, bajo el procedimiento descrito anteriormente. Estos recorridos resultan de gran utilidad, ya que a raíz de los resultados que se obtienen, se le da mantenimiento a la Red. Sin embargo, existen problemas no evidentes que pueden pasar desapercibidos por los encargados de dichos recorridos.

En Ciudad Universitaria las fugas son visibles y ocultas. Las visibles brotan a la superficie y humedecen el terreno. La mayoría de estas fugas las reportan los propios usuarios o personal de cada entidad. Las fugas ocultas se filtran en el suelo y no se sabe donde están. A veces estas fugas entran a los drenajes, cajas de válvulas y son difíciles de encontrar. Muchas fugas ocultas son pequeñas cuando ocurren, pero crecen con el tiempo. Así, el promedio de vida de estas fugas puede ser de días, semanas y hasta de años. Las fugas se presentan en distintas formas. Algunas de ellas se presentan en los accesorios de las tuberías y en el cuerpo de la tubería, pudiendo ser estas rajaduras y agujeros. En las válvulas la falla más común se encuentra en la base de su volante y en las juntas. Particularmente en los tanques superficiales y cisternas, las fugas ocurren debidas al agrietamiento de las estructuras o al rebose de las mismas.

Por otro lado, se ha elaborado en base con proporcionada por la DGOyC un estudio histórico sobre la incidencia de fugas en la red para los años 2007, 2008 y hasta Junio de 2009. De este estudio se concluye que durante el año 2007 se reportaron un total de 236 fugas, mientras que en 2008 250 y, hasta el 30 de Junio de 2009 se habían presentado 128 reportes de fugas. Un hecho importante que muestra la incidencia de fugas es que éstas se presentan con mayor frecuencia en los meses con alta ocupación en Ciudad Universitaria (Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Septiembre, Octubre y Noviembre), mientras que la frecuencia de éstas disminuye hasta en un 60% durante Julio, Agosto, Diciembre y Enero, meses considerados como de baja ocupación (Figura 46). De acuerdo a su origen, se determinaron las principales causas de fugas en Ciudad Universitaria: *a)* Fluctuación de presiones, *b)* Mala calidad de materiales, *c)* Excedencia en la vida útil del material, *d)* Efectos ambientales en los materiales, *e)* Impactos accidentales, *f)* Asentamientos del terreno y *g)* Actos de vandalismo.

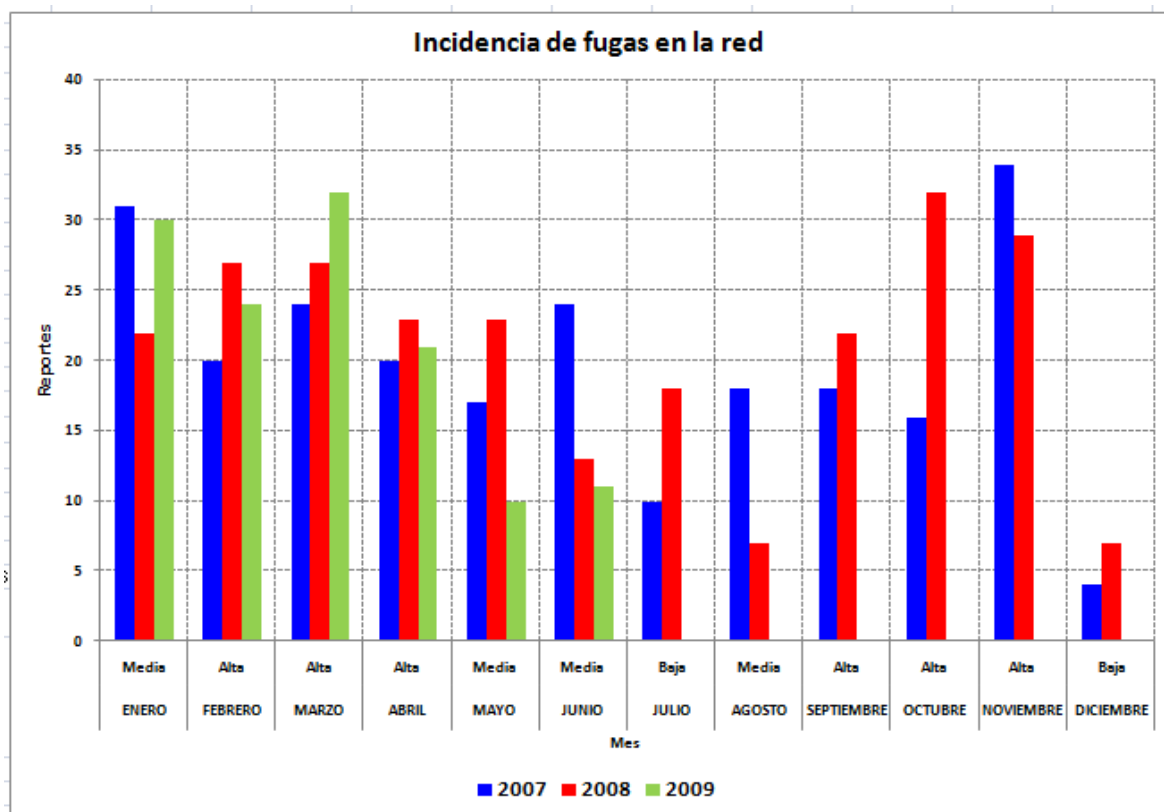


Figura 35. Incidencia de fugas en la red de agua potable según la ocupación en CU.

La incidencia de fugas visibles en los materiales muestra que un 41% de ellas se presenta en el acero galvanizado (material del 85% de las tomas de agua), seguido del PVC con 11.57 % y el

acero al carbón y cobre con 11.45%. La Tabla 21. Resumen los porcentajes de incidencias de fugas en los materiales de la red de agua potable de Ciudad Universitaria de la UNAM.

Tabla 18. Incidencia de fugas en Materiales de la red de agua potable.

MATERIAL	PROMEDIO ANUAL
AC/GALV	41.089%
AC/CAR	11.449%
ASBESTO-CEMENTO	1.430%
COBRE	11.184%
EXTRUPACK	13.134%
FIER/FUND	8.580%
PVC	11.572%
BRONCE	1.563%

(e) Balance Hidráulico 2008.

Con la información recaba a través de mediciones en campo, así como a la información proporcionada por la DGOyC, fue posible hacer un balance que refleja el modo y la cantidad de agua que se utilizó durante el año 2008 el cual se muestra en las siguientes figuras.

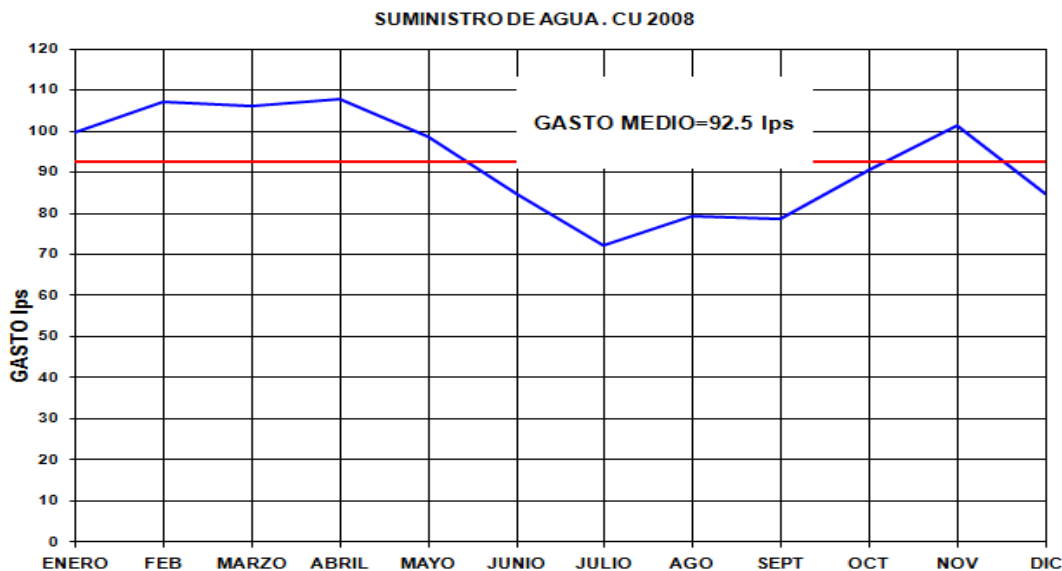


Figura 36. Estimación del Balance durante el Año 2008.

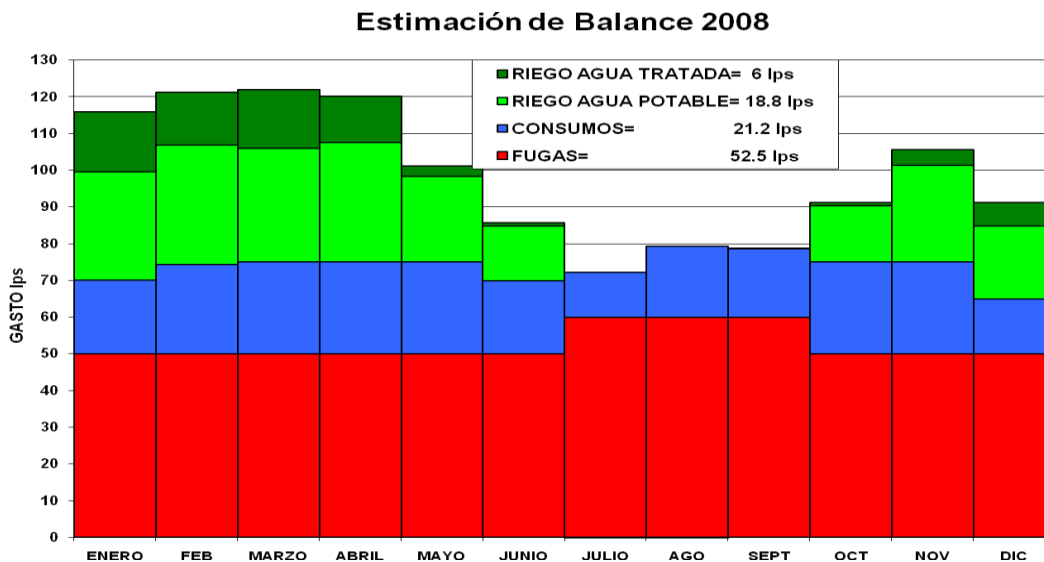


Figura 37. Estimación del Balance durante el Año 2008.

De acuerdo al Balance 2008 mostrado en la figura 48, se estima que el valor de las fugas asciende a un 56.74% del suministro total, en tanto que el consumo por parte de los 132,000 usuarios que diariamente se congregan en Ciudad Universitaria representa sólo el 22.95%, el riego de áreas verdes con agua potable demanda un 20.31% del suministro. Del total de agua empleada diariamente en Ciudad Universitaria, sólo un 6.75% es reutilizada para el riego de áreas verdes.

Con las acciones que se están llevando a cabo y aquellas que se planean ejecutar a lo largo de estos tres años que dura el programa dentro de Ciudad Universitaria, se llegará a un balance como se muestra en la siguiente figura:

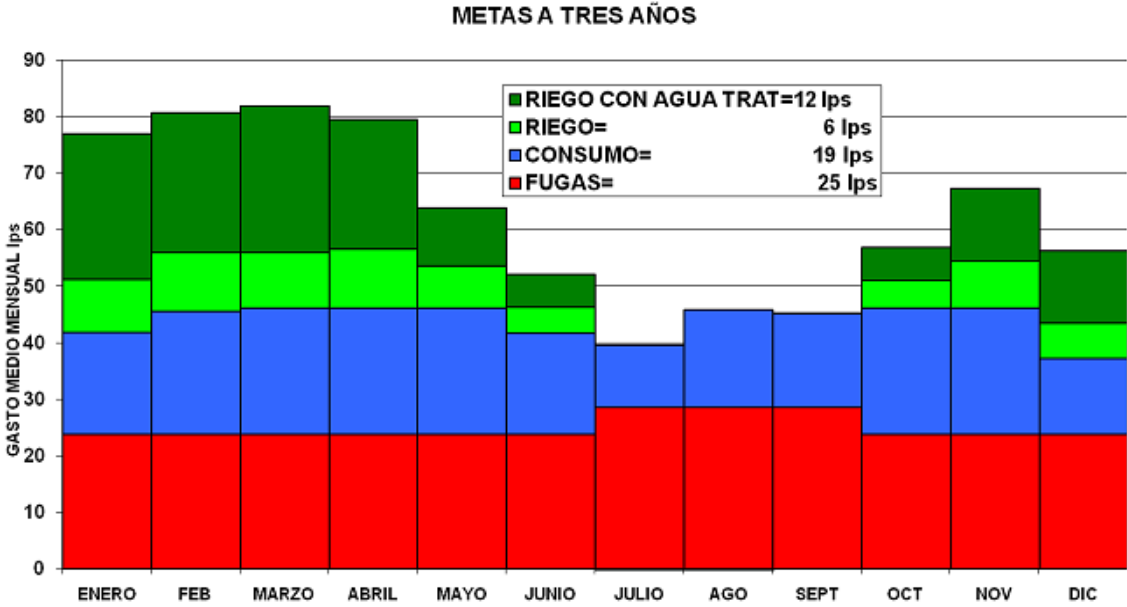


Figura 38. Balance hidráulico para el año 2011 en Ciudad Universitaria.

Para lograr conseguir las metas planteadas, PUMAGUA ha planteado e iniciado a ejecutar una serie de estrategias que buscan reducir pérdidas y consumos de agua, estas estrategias se describen a continuación.

2.3.- ESTRATEGIAS DE USO EFICIENTE DE AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

Una de las metas principales de PUMAGUA es el de lograr reducir un 50.0% el suministro de agua en Ciudad Universitaria en los próximos tres años (2009 – 2011). Para ello, se han establecido una serie de estrategias enfocadas a reducir las pérdidas y hacer mejor uso del agua en el consumo del líquido en todo el campus.

2.3.1.- Estrategias de reducción de pérdidas.

De acuerdo a cifras de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), las pérdidas en el sector urbano fluctúan entre el 35% y 50% del suministro total. El sistema de agua potable de Ciudad Universitaria no es la excepción, de hecho, comparte este problema con los organismos operadores de agua del país en el sentido técnico, financiero y de infraestructura.

La reducción de pérdidas físicas es una estrategia que permite optimar la infraestructura instalada debido a que admite que más usuarios dispongan de agua sin tener que aumentar la capacidad de producción de infraestructura. En este sentido, PUMAGUA ha establecido seis ejes estratégicos incluyendo un total de 19 estrategias de reducción de pérdidas y consumos. Estos ejes estratégicos y sus acciones permitirán lograr de manera gradual la meta propuesta, a continuación se describen.

a) MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS POZOS.

- Incrementar la eficiencia de los equipos de bombeo.
- Mejorar políticas de operación.
- Desarrollar un programa de mantenimiento en el corto y mediano plazo.

b) MEDIR EL CONSUMO.

- Implementar un programa de Macro medición de caudales
- Implementar un programa de micro medición en las entidades universitarias.
- Montar un Sistema Automático de Lectura (AMR) en Ciudad Universitaria.
- Montar un Sistema de Información Geográfica (SIG).

c) **RECUPERAR CAUDALES.**

- **Llevar a cabo un diagnóstico de la eficiencia física, hidráulica y energética del Sistema de Agua Potable de Ciudad Universitaria.**
- **Modelar matemáticamente el Sistema de Agua Potable de Ciudad Universitaria.**
- **Sectorización y control de presiones de la red de distribución.**
- **Iniciar con programa de rehabilitación de tuberías.**
- **Desarrollar un programa de detección de fugas.**
- **Desarrollar acciones de uso eficiente de agua en las dependencias universitarias.**

a) **MEJORAR LA EFICIENCIA EN LOS POZOS**

Dentro de las acciones a tomar en las fuentes de abastecimiento están, por una parte, el de **incrementar la eficiencia** de los pozos a partir de la elaboración de un Diagnóstico de Eficiencia Energética (DIE) consistente en la aplicación de diversas técnicas encaminadas a determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía en un sistema de bombeo, además de especificar cuánta de esa energía es desperdiciada. El DIE tiene por objetivos establecer condiciones para desarrollar el proyecto de eficiencia energética, identificar las medidas de eficiencia técnica que sean económicamente factibles, al tiempo de establecer los parámetros para la evaluación del proyecto. Entre los indicadores que permitirán establecer los avances en estos trabajos son el mejorar el Factor de Potencia en los equipos electromecánicos, lo cual permitirá tener menos caídas de tensión, además de disminuir las pérdidas de energía en el proceso de la transformación de la esta para el trabajo de bombeo. Esto se reflejará en una mayor eficiencia energética de los pozos y por tanto, en un menor consumo de electricidad.

Por otro lado, PUMAGUA montará un sistema de monitoreo en tiempo real con el objetivo de instalar y poner en operación un sistema de medición de niveles (Dinámicos) y calidad del agua en los pozos de agua potable. Este sistema de monitoreo permitirá contar con un sistema de alerta sobre variaciones importantes de los parámetros de calidad del agua, eficiencia de equipos de bombeo, así como conocer las tendencias y variaciones estacionales y de largo plazo en la extracción de agua. Con ello se podrán **establecer rangos de operación** normal de los pozos y poder establecer un **programa de mantenimiento** preventivo y, en su caso, de los mantenimientos correctivos.

En el aumento de la eficiencia de los pozos se deberá tener una eficiencia no menor al 70 %, trabajando en las horas no pico para abastecer los tanques de regularización funcionando solo en las horas que son necesarias para garantizar el abastecimiento

b) MEDIR EL CONSUMO

Con el objetivo de tener un control tanto en el suministro como en el consumo de Ciudad Universitaria, PUMAGUA está montando un sistema de medición integral automatizado que permite realizar con facilidad el análisis y recolección de información. Este sistema se está montando tanto a en la Macro y la micro medición.

Para la Macro medición se seleccionaron por sus múltiples ventajas medidores de la marca Badger Meter de tipo electromagnéticos para uso en líneas presurizadas de agua limpia, que incluyen: la unidad de medición (hermeticidad de sumersión IP68), la unidad electrónica (elemento secundario) para la transducción de la señal, el despliegue de la señal, caudal, totalización de volumen y los servicios complementarios. Los medidores cuentan con la disponibilidad de equipamiento para una futura escalación distribuido por el mismo proveedor. Con respecto a la unidad electrónica, es capaz de resistir daños comunes de intemperie y es de tipo remota (tiene un cable de transmisión de señal de hasta 150 m de longitud), puede ser programada en sitio sin requerir la utilización de computadoras personales laptop o palm top, sin embargo, cuenta con los esquemas de seguridad necesarios para que no pueda ser accedido por cualquier transeúnte, tiene comunicación RS232 y utiliza protocolo de comunicación Modbus. Los medidores utilizan un sistema de tele medición con la capacidad de escalación a los siguientes sistemas de lectura automática:

- Lectura por proximidad o toque.
- Lectura de radiofrecuencia de medio alcance (hasta 200 m) por interrogación o programación.
- Lectura por radiofrecuencia de largo alcance.
- Lectura por infraestructura de telefonía WiFi.
- Lectura por red fija.

Para el caso de Ciudad Universitaria, el sistema de tele medición es por radiofrecuencia de largo alcance en una banda de 900 MHz

Los medidores seleccionados para la Micromedición son de la marca Badger Meter y son de tipo volumétrico y funcionan bajo el mismo sistema de transmisión automática que los Macro medidores. Los micros medidores una vez instalados proporcionarán información referente a fugas y suministro dentro de cada institución, con lo cual se podrán instrumentar políticas para un mejor manejo y administración del recurso.

Todos los equipos de medición cuentan con data logger y un sistema de transmisión de datos el cual envía una señal de radio de 900 MHz a un equipo concentrador con la finalidad de poder disponer de la información en tiempo, forma y calidad para su posterior análisis. En conjunto, estos elementos forman parte del Sistema Automático de Lectura (AMR) por sus siglas en inglés (Automatic Meter Reading) que PUMAGUA está montando y espera tener completado a mediados del año 2010.

c) RECUPERAR CAUDALES

Las estrategias de recuperación de caudales están enfocadas a la recuperación de pérdidas físicas de agua en los diversos elementos del sistema de agua potable. Estas estrategias están sustentadas en el diagnóstico elaborado y que visualizó la magnitud del problema y permitió establecer las zonas (y etapas) donde la inversión de recursos económicos reditué en mayores ahorros de agua.

Entre las acciones más importantes enfocadas a la recuperación de caudales destacan: *a)* Programas de Macro y micro medición, *b)* Rehabilitación de equipos electromecánicos, *c)* Modelación matemática de la red de agua potable, *d)* programas de detección, ubicación y *e)* reparación de fugas.

La sectorización de redes de agua potable consiste en la delimitación hidráulica de las redes de distribución de agua para ejercer un mayor control operativo de parámetros como la presión, la cantidad de agua, detección de fugas, así como la calidad del agua e iniciar con ‘buen pie’ un

programa de control de pérdidas. Uno de los principales objetivos que se busca con la sectorización es la de incrementar la eficiencia hidráulica.

Por otra parte, se ha establecido un **programa de rehabilitación de tuberías** que es necesario reemplazar, comenzará por la zona central y de mayor presión, es decir, en las zonas con mayor recurrencia de fugas. Dentro de la rehabilitación, está la sustitución de válvulas que presentan fugas o que están rotas e impiden maniobras. Se está estableciendo un **programa de control de presiones** con la instalación de válvulas reguladoras de presión (VRP). Se implementará un **programa de detección de fugas** apoyado en equipo especializado para detección de fugas.

2.3.2.- Estrategias de reducción de consumos.

Las estrategias de disminución de consumo permiten ahorros significativamente menores que los obtenidos a través del control de presiones y reducción de fugas en las redes de distribución, y, en términos económicos, representan inversiones con tasas internas de retorno muchos mayores. La experiencia en PUMAGUA ha demostrado que por cada metro cúbico recuperado con la sustitución de muebles de baño se invierten cerca de \$500 pesos, en tanto que controlando presiones en la red al tiempo de reducir fugas, la inversión se reduce a menos de un peso por metro cúbico. Con la aplicación de estas acciones se espera alcanzar hasta un 10% de ahorro de agua. Las principales acciones que PUMAGUA ha venido desarrollando relativas a la disminución de consumos, son las siguientes:

d) APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE USO EFICIENTE DE AGUA EN ENTIDADES UNIVERSITARIAS.

- **Implantación de programas de uso eficiente de agua en las entidades universitarias.**
- **Reducción de fugas en los muebles de baños y aforo de fluxómetro**
- **Programa de cambio de muebles de baños de bajo consumo**

e) INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO.

- **Intercambiar agua potable por agua tratada.**
- **Instalar equipos de riego más eficientes.**
- **Hacer uso de los recursos naturales de la Reserva Ecológica del Pedregal.**

f) LLEVAR A CABO UN PROGRAMA DE COMUNICACIÓN / PARTICIPACIÓN

d) APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE USO EFICIENTE DE AGUA EN ENTIDADES UNIVERSITARIAS.

El primer paso del programa en el ahorro de agua dentro de los baños es *detectar las fugas en los baños* para repararlas, además de *aforar los fluxómetros* para que trabajen de acuerdo con la norma antes señaladas. Si gasta más de lo estipulado se ve la posibilidad de calibrarlo y si esto no es posible se recomienda realizar el cambio, ya que estará gastando más de lo permitido.

PUMAGUA ha elaborado especificaciones técnicas que tratan de normar los equipos de bajo consumo de que deben instalarse en la UNAM, las cuales han sido proporcionadas a la Dirección General de Obras y Conservación. Para ello se elaboró un manual que incluye las diferentes pruebas que se aplican a los muebles y los criterios que permiten definir si un mueble debe ser sustituido o bien, que continúe en servicio. En el manual se incluyen las especificaciones, como mingitorios de 0.5 lpf, sanitarios de 6 lpf, llaves de 2 l/m, regaderas de 10 l/m; todos los equipos deben venir calibrados de fábrica sin posibilidad de cambiar el gasto de la ficha técnica del mueble de baño, además, se brinda la asesoría a las dependencias realizando las pruebas a los muebles con que cuenta la entidad y con los que se adquieren a través del programa, cuando esta es la situación, si un mueble no cumple con alguna de las pruebas.

Se estima que este programa de mejoramiento de los muebles de baños, tanto en la reducción de fugas como el caudal usado en baños este dentro de las especificaciones, pueda estar avanzado en un porcentaje mayor al 70% hacia finales del año 2010.

e) AHORRAR AGUA EN EL RIEGO

Para ahorro de agua en el sistema de riego, PUMAGUA ha adoptado la reducción de consumos de agua potable siguiendo tres líneas de acción. La primera, la sustitución de agua potable para riego por agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento ubicadas en Ciudad Universitaria, la segunda es utilizar equipos de riego más eficientes y la tercera es el

cambio de vegetación en los jardines a vegetación autóctona de la reserva ecológica del pedregal.

La **sustitución de agua potable por agua tratada** destinada a riego, es una de las acciones primordiales para PUMAGUA. Actualmente, se riegan 105 hectáreas con agua potable y 50 con agua tratada. La meta es revertir la situación a mediados del año próximo y poder hacer mejor uso del agua potable. Para ello, se está trabajando en el mejoramiento de las Plantas de Tratamiento buscando incrementar su capacidad hasta los 50 l/s y, por supuesto, buscando que la calidad del agua de reuso no sólo cumpla con las actuales normas, si no que garantice un riego sin problemas de salud. Estas acciones son evaluadas por un grupo de trabajo conformado por la Facultad de Medicina, Instituto de Ecología, Dirección General de Servicios Médicos, Instituto de Ingeniería y la DGOyC. Este grupo de trabajo también analiza la calidad del agua potable, lo que permitirá proponer un sistema de desinfección que garantice una calidad de agua que haga posible que ya no se consuma el agua embotellada dentro de las instalaciones de C.U.

En relación a realizar un riego de jardines con menos consumo de agua, se está trabajando en buscar los **sistemas más óptimos para regar** de acuerdo a las características del lugar, ya sea con equipos más eficientes o bien con sistemas de automatización que garanticen un ahorro en el riego de forma uniforme y con el gasto necesario. Para ello se está buscando la tecnología de punta que existe en el mercado y que satisfaga las necesidades, lo que garantizaría tener una reducción del 30% en el consumo de agua para riego.

En cuanto a la cuestión de jardinería, las acciones a implementarse tienen que ver con hacer **uso de los recursos naturales** con que cuenta la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, ya que ésta cuenta con una biodiversidad muy grande, de las cuales hay plantas que no requieren de riego a lo largo del año, únicamente con el agua de lluvia pueden sobrevivir. Es por ello que se plantea sembrar este tipo de vegetación en algunos jardines, con lo cual se podría bajar el consumo de agua en riego.

f) COMUNICACIÓN / PARTICIPACIÓN

Para PUMAGUA es muy importante que participen los universitarios de todas las áreas, académicos, estudiantes administrativos, visitantes, vendedores y lavacoches; ya que de esa

forma será posible hacer que se integren en el programa; sin ello los trabajos anteriormente descritos llegarán rápidamente a su degradación sin importar a la comunidad la inversión y esfuerzo que la UNAM hace para llevarlos a cabo.

Para ello, PUMAGUA está trabajando activamente en las campañas adecuadas para cada uno de los actores, así como realizar reuniones con cada una de las dependencias para motivar su interés en el programa y su participación activa. Por otra parte, ya se está trabajando con grupos pilotos de alumnos en realizar diversas actividades que tienen que ver con el ahorro de agua, la idea es extrapolarlo a todas las facultades y escuelas formando clubs de alumnos que estén interesados en realizar actividades enfocadas al ahorro de agua dentro de sus dependencias, desde reportar fugas en los baños hasta realizar actividades de concientización de sus compañeros de estudios.

Capítulo 3.- Sectorización del sistema de agua potable.

3.1.- SECTORIZACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE.

El propósito de sectorizar la red de distribución de agua potable de Ciudad Universitaria es el de incrementar su eficiencia hidráulica y ejercer un mayor control operativo de parámetros como la presión, la cantidad de agua, detección de fugas, así como la calidad del agua e iniciar con 'buen pie' un programa de control de pérdidas con base a un análisis hidráulico de alto nivel, aplicando simuladores hidráulicos de redes de agua potable y tecnología de punta sobre sistemas de control automático y medición.

Actualmente en México se maneja indistintamente la sectorización de redes y los distritos hidrométricos; sin embargo, no es lo mismo. De hecho, un sector puede contener varios distritos hidrométricos dentro de su área. (Manual de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética. CONAGUA: 2009)

Los distritos hidrométricos son elementos que se aíslan hidráulicamente con movimientos de válvulas en forma temporal para realizar pruebas de consumos, detectar fugas y evaluar la eficiencia física. Su diseño se basa en especificaciones concretas, para que las pruebas de campo resulten confiables, así por ejemplo, se maneja un número de usuarios, con la idea de que en la medición de los caudales registrados en la entrada del distrito no se tengan errores significativos; o bien, el distrito puede tener una o varias entradas o salidas y puede estar abasteciendo a varios distritos, puesto que no se altera de ningún modo la prueba en turno.

En cambio la sectorización de redes de agua potable tiene otra connotación en su diseño, ya que se trata de formar elementos separados físicamente unos de otros, interconectados hidráulicamente sólo mediante líneas de conducción o circuitos primarios de la red que

entreguen agua en bloque. Así, el diseño de cada sector obedece más a la topografía de la Ciudad, a la ubicación y capacidad hidráulica de las captaciones, rebombeos, tanques, conducciones y tuberías a los valores de demanda de agua de los usuarios; y no a simples especificaciones de dibujo. Los sectores deben analizarse y diseñarse hidráulicamente en forma integrada, considerando el mínimo de cortes, conexiones, movimientos de válvulas e instalaciones de tuberías. Los sectores tienen forma irregular y el número de usuarios dentro de él depende de la disponibilidad de agua y de la infraestructura existente. La red de agua potable de Ciudad Universitaria fue segmentada en distritos hidrométricos; aunque su selección se debió propiamente a los criterios de selección de un sector, por ello, en esta tesis se le llamarán sectores y no distritos a los segmentos de red propuestos.

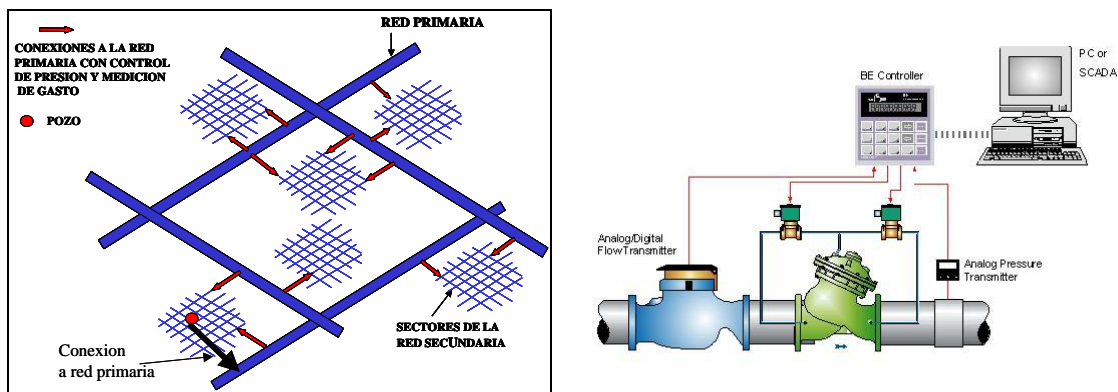


Figura 1. Sectorización de una red de abastecimiento con control de presiones y medición de gasto

El proyecto de sectorización de la red partió del diagnóstico elaborado del sistema, tras él se realizaron acciones para ejecutarlo en campo:

- Elaboración del modelo de simulación hidráulica de la red.
- Conformación de los nuevos sectores para redistribuir los caudales presiones.
- Análisis y diseño de la red sectorizada.
- Ejecución en campo del proyecto de sectorización.

3.2.- SELECCIÓN DE SECTORES HIDRÁULICOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

Un sector hidráulico es una porción de la red de distribución bien delimitada geográficamente que cuenta con una fuente de abastecimiento definida y con capacidad suficiente para cubrir la demanda de los usuarios y sus variaciones en el tiempo.

Para el caso de Ciudad Universitaria, se generaron cinco Sectores Hidráulicos, dos de los cuales serán controlados por Válvulas Reguladoras de Presión (VRP). Para definir el funcionamiento hidráulico de cada sector fue conveniente efectuar simulaciones del sistema, debido a que mediante modelos numéricos es posible modelar el funcionamiento de una red de agua potable de manera muy semejante a lo que sucede en la realidad.

El diseño de cada Sector Hidráulico obedeció, por una parte, a la topografía y en consecuencia las presiones existentes en la red. Por otro lado, se tomaron en cuenta la ubicación y capacidad hidráulica de los pozos, rebombeos, tanques reguladores, conducciones y tuberías a los valores de demanda de agua de los usuarios. Los sectores se analizaron y diseñaron hidráulicamente en forma integrada, considerando el mínimo de cortes, conexiones, movimientos de válvulas e instalaciones de tuberías. Los Sectores Hidráulicos propuestos poseen forma irregular y el número de usuarios dentro de ellos dependió de la disponibilidad de agua y la infraestructura existente, además se procuró que estos guardaran las actuales zonas de servicio definidas a partir de considerar las actuales políticas de operación del sistema.

El sistema opera generalmente de la siguiente manera: *(a)* el suministro en la Zona Cultural se obtiene directamente del pozo Vivero Alto, el agua restante se bombea al Tanque Vivero Alto, a lo largo de la tubería que une estos dos componentes se tienen algunas derivaciones directas hacia la red; *(b)* La parte central o casco viejo se abastece del Tanque Bajo, el cual a su vez recibe el agua del pozo multifamiliar, *(c)* algunos días del mes se utiliza el pozo de Química (para evitar inactividad en éste y posible contaminación), se envía agua al Tanque Bajo, de ahí se encuentra un sistema de bombeo el cual manda el agua hacia el Tanque Alto, de donde se abastece la zona del estadio, la Dirección de Obras, Actividades Recreativas, etc. Existe además una línea entre el Tanque de Vivero Alto y el Tanque Alto, que es utilizada para suministrar

agua entre a el Tanque de Vivero Alto y el Tanque Alto en situaciones en que los niveles de éste último disminuyen rápidamente o cuando un pozo queda fuera de operación. Las zonas de servicio definidas con la manera de operar el sistema de agua potable siguen el esquema mostrado en la siguiente figura:

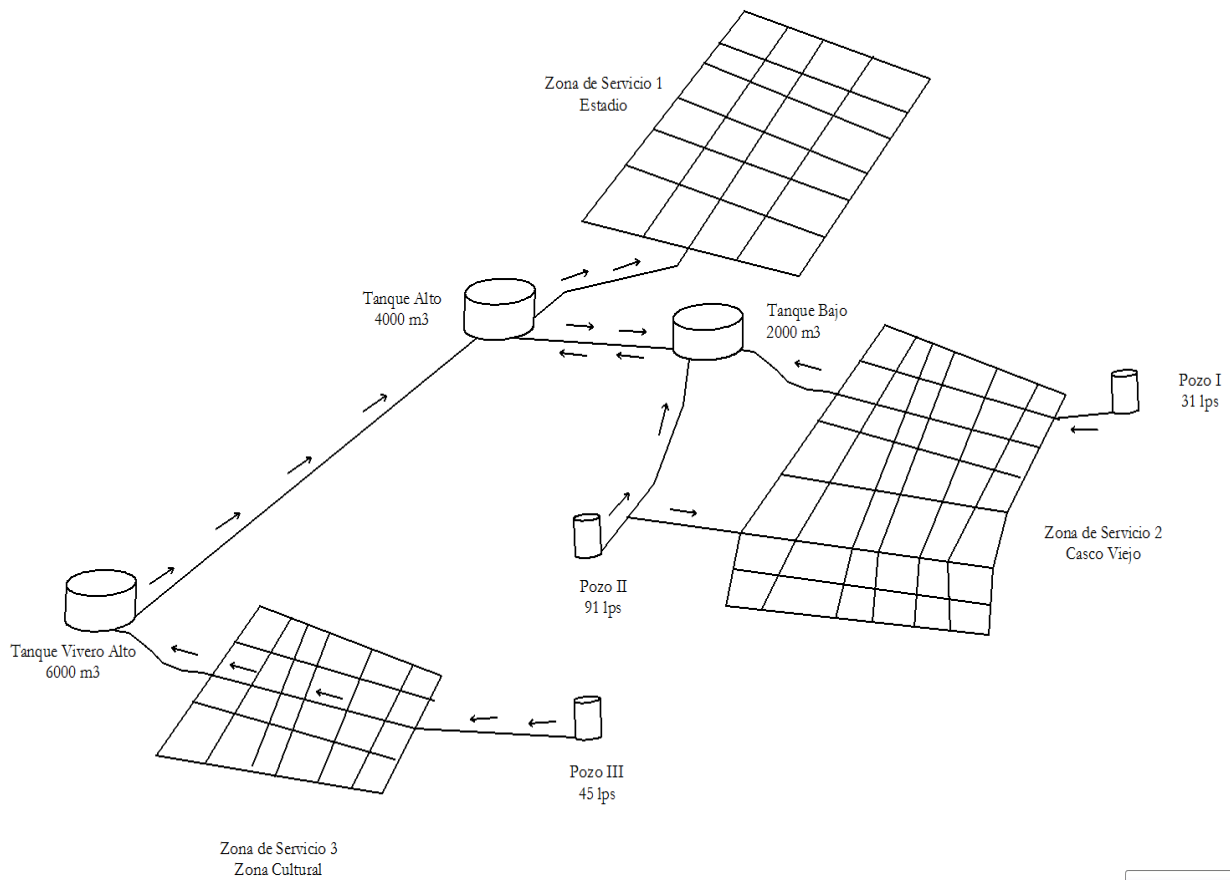


Figura 2. Zonas de servicio en Ciudad Universitaria.

Considerando la distribución del agua con las actuales políticas de operación del sistema, la información disponible en conjunto con la modelación matemática, se propusieron cinco Sectores Hidráulicos cuyo principal criterio lo constituyeron las magnitudes de las presiones obtenidas con la simulación. (Ver Figura 52)

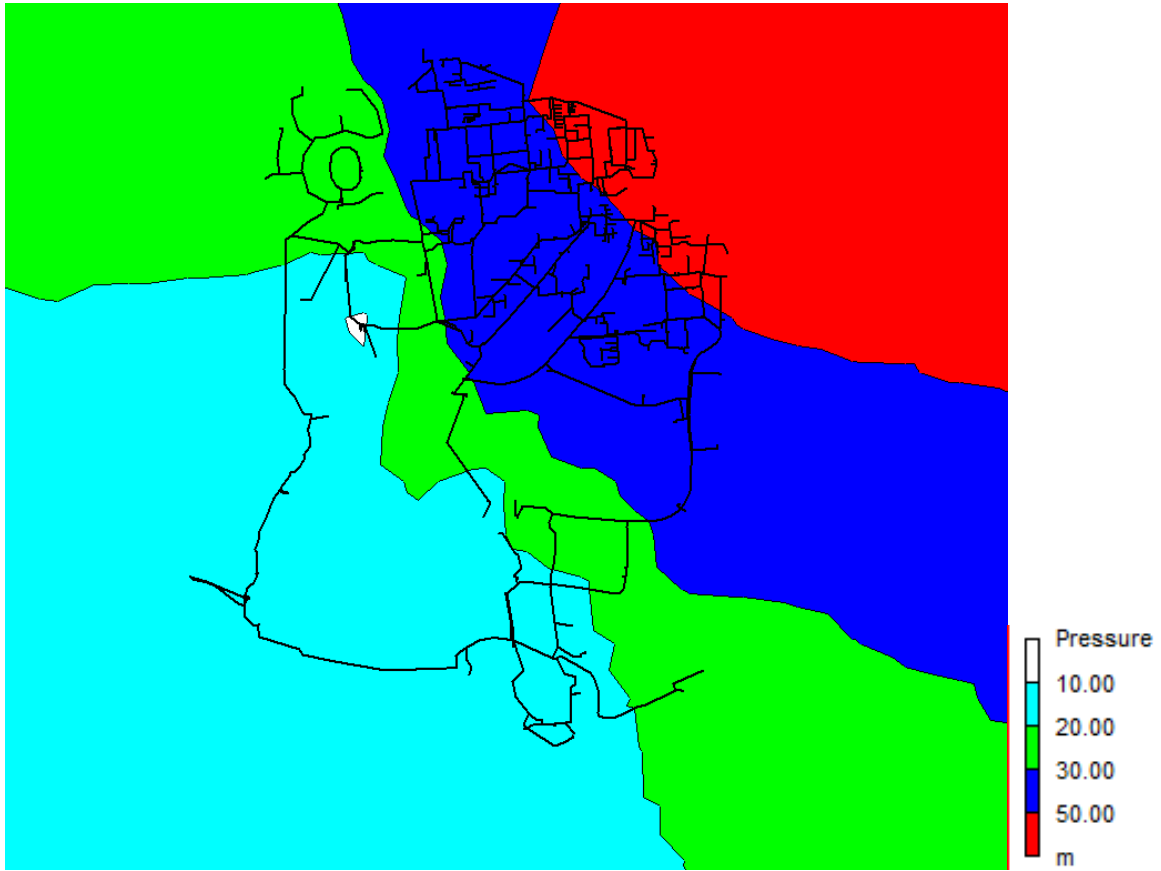


Figura 3. Curva de Isopresiones en la Red de distribución de agua potable. Las unidades de presión son metros de columna de agua.

Las diferencias entre de niveles en Ciudad Universitaria ascienden a más de los 70 m, por lo que las presiones en las zonas más bajas presentan valores de hasta 7 Kg/cm², por ello resultó conveniente el control de presiones a través de la instalación de Válvulas Regulatoras de Presión (VRP)

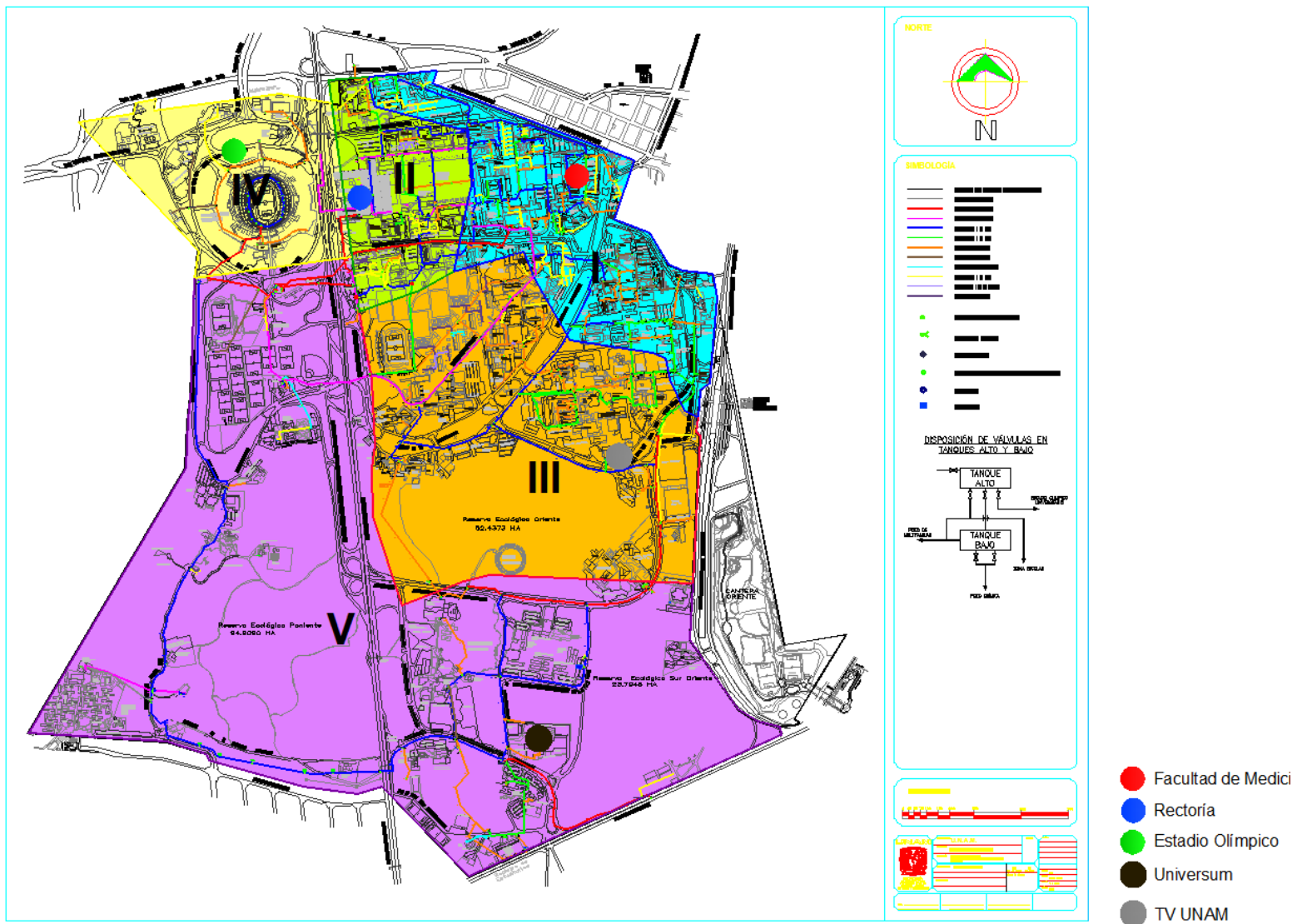


Figura 4. Sectores Hidráulicos para la red de distribución de agua potable.

3.3.- DIAGNÓSTICO DE LOS SECTORES HIDRÁULICOS DE CIUDAD UNIVERSITARIA.

Sector Hidráulico I (SHI)

El Sector Hidráulico I alberga 39 entidades universitarias con una población cercana a los 41,500 usuarios. De las estas 40.0 % son entidades con tendencia hacia la investigación, 26.0% entidades académicas y 34.0% a entidades de servicios y administrativas. La tendencia de ocupación de este sector está enfocada a la investigación y las actividades académicas. Esta clasificación resulta importante dada la relación que existe entre un tipo de usuario, el modo y en consecuencia la cantidad de agua usada por este. Mediciones recientes hechas por PUMAGUA muestran que un usuario dedicado a la investigación consume hasta tres veces más agua que un edificio administrativo. De modo que establecer la tendencia de usuarios dentro de un sector y correlacionarla con la cantidad de agua que estos consumen, brinda una idea del modo y cantidad de agua empleada dentro de este sector.

Un tipo de usuario se describe como la actividad a la cual está dedicada una entidad universitaria, o bien, en la cual muestra una mayor tendencia. PUMAGUA ha definido cinco tipos de usuario con fines meramente de clasificación y análisis todos ellos presentes en Ciudad Universitaria. De esta manera se definieron los siguientes tipo de usuario: Académico (Usuario tipo A), Investigación (Usuario tipo B), Cultural (Usuario tipo C), Administrativo (Usuario tipo D) y de Servicios (Usuario tipo E).

A pesar de ser un sector con una gran cantidad de institutos y centros de investigación, el grueso de la población se concentra en las Facultades y Unidades de Posgrado, de manera que la ocupación del sector se presenta de manera considerable durante los meses de Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre; mientras que esta disminuye durante Julio, Diciembre y Enero, meses correspondientes a periodos vacacionales o intersemestrales.

Tabla 1. Dependencias dentro del Sector Hidráulico I.

Sector Hidráulico 1.	
Dependencia	Usuario
CENTRO DE INFORMACION CIENTIFICA Y HUMANISTICA	D
FACULTAD DE ECONOMIA	A
GASOLINERA COPILCO	E
IIMAS	B
IINGEN (Edificios 2,3,4,y 13)	B
CELE	A
CENDI	E
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA	B
CLINICA DE ODONTOLOGIA	E
DIRECCION GENERAL DE ADMINISTRACION ESCOLAR	D
POSGRADO DE ARQUITECTURA	A
FACULTAD DE MEDICINA	A
FACULTAD DE ODONTOLOGIA	A
FACULTAD DE QUIMICA	A
FACULTAD DE VETERINARIA	A
HOSPITAL DE MASCOTAS	E
INSTITUTO DE QUIMICA	B
INSTITUTO DE FISIOLOGIA CELULAR	B
INSTITUTO DE GEOFISICA	B
INSTITUTO DE GEOGRAFIA	B
INSTITUTO DE GEOLOGIA	B
INSTITUTO DE NEOROBIOLOGIA	B
INSTITUTO DE QUIMICA	B
LABORATORIO DE AGUAS RESIDUALES	B
POSGRADO DE ODONTOLOGIA	B
POSGRADO DE PSICOLOGÍA	A
PSIQUIATRIA Y SALUD MENTAL	E
CEPE	A
DIRECCIÓN GENERAL DE PERSONAL	D
DIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y FOMENTO EDITORIAL	D
SUBDIRECCIÓN DE PROTECCIÓN A LA COMUNIDAD	D
TALLERES DE IMPRETA	E
TORRE II DE HUMANIDADES	D
UNIDAD DE POSGRADO	B
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS	B
COORDINACIÓN DE AREAS VERDES	B
POSGRADO DE DERECHO	D
ANEXO DE DERECHO	A
VIVERO FAUSTINO MIRANDA	E

El Sector Hidráulico I cuenta con 14,110 metros de tubería, de los cuales 70% es acero, 20% PVC y 10% fierro fundido. La edad de la tubería, sobre todo la correspondiente a acero y fierro fundido rebasa los 50 años de operación. Se estima que los usuarios en este sector demandan hasta 9.61 l/s de agua durante los meses de alta ocupación, en tanto que en los meses considerados de baja ocupación la demanda estimada disminuye hasta 2.3 l/s. La presión media en el sector es de 55 metros de columna de agua o 5.5 Kg/cm², lo que sugiere una alta presencia de fugas visibles y no visibles tanto en la red como al interior de las entidades.

Durante 2007 la DGOyC atendió 112 reportes de fugas en este sector, que equivalen al 47% del total de las fugas reportadas a esta dependencia en toda C.U. durante ese año. En 2008 se atendieron 94 fugas, lo que representó el 37 % de todos los reportes en el año. Hasta junio de 2009, se habían reportado 57 fugas (44% del total de fugas reportadas en el campus).

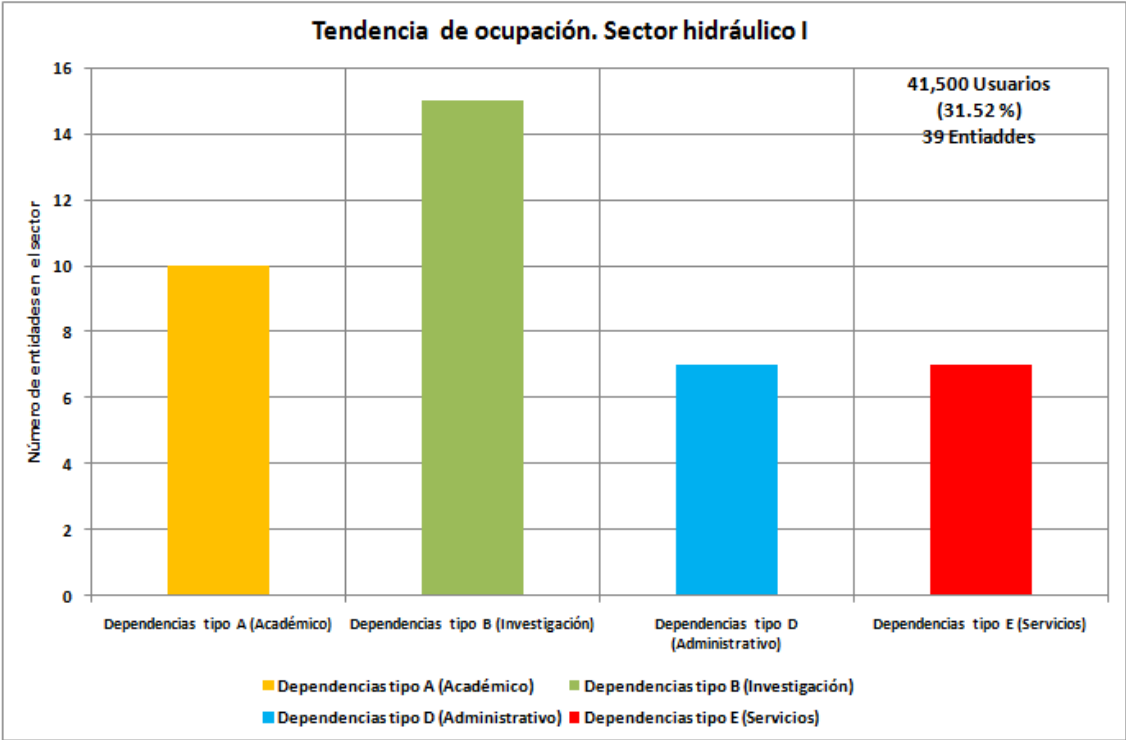


Figura 5. Tendencia de dependencias en el Sector I Hidráulico.

Mediciones recientes muestran que las pérdidas en este sector pueden representar hasta el 75% del suministro.

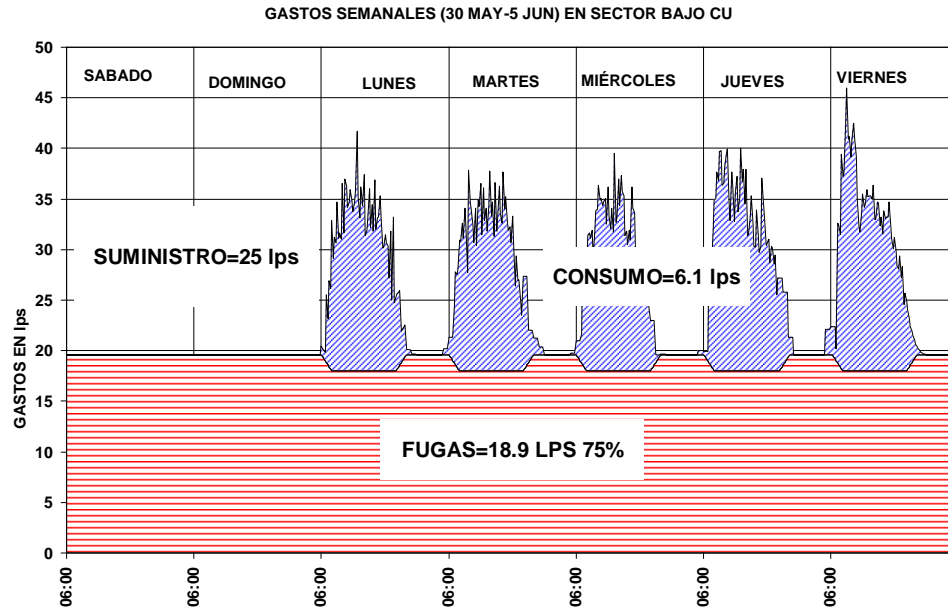


Figura 6. Suministro y pérdidas de agua en el sector hidráulico I.

En este contexto resulta imperioso instalar una Válvula Reguladora de Presión a la entrada de este sector, de modo que, al disminuir la presión, disminuya la frecuencia de rotura de tuberías y, en consecuencia, el caudal perdido. Se estima que con la instalación de esta válvula se puedan disminuir hasta 12 l/s. Este tipo de válvulas pueden ser programadas para cada día del año o pueden programarse para disminuir presiones durante la noche y vacaciones, periodos en los que, debido a la baja demanda, la presión y pérdidas de agua se incrementan.

SECTOR 1. RELACIÓN PRESIÓN-FUGAS

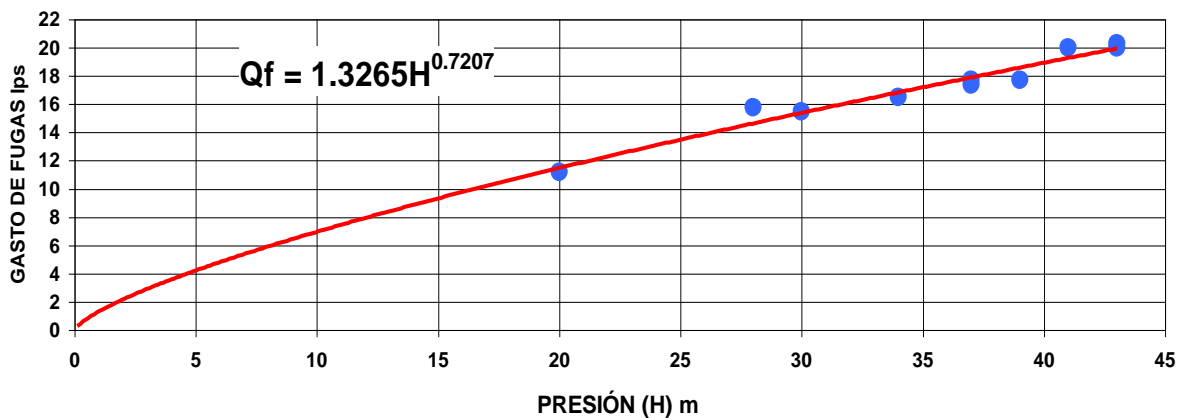


Figura 7. Relación Presión – Fugas del Sector Hidráulico I.

Esta relación es exclusiva del Sector Hidráulico I. De momento no ha sido posible la obtención de esta relación de los restantes cuatro sectores.

Las Figuras 57 y 58 muestran los escenarios con y sin control de presiones en este sector y en la red en general, de ellas resulta cierto la necesidad de reducir presiones: las zonas en color rojo en la primera figura corresponden a las zonas con mayor presión y más bajas (7 Kg/cm^2) de Ciudad Universitaria. Luego de la instalación de las VRP (Figura 58) adquieren un color verde que son presiones de aproximadamente 3 Kg/cm^2

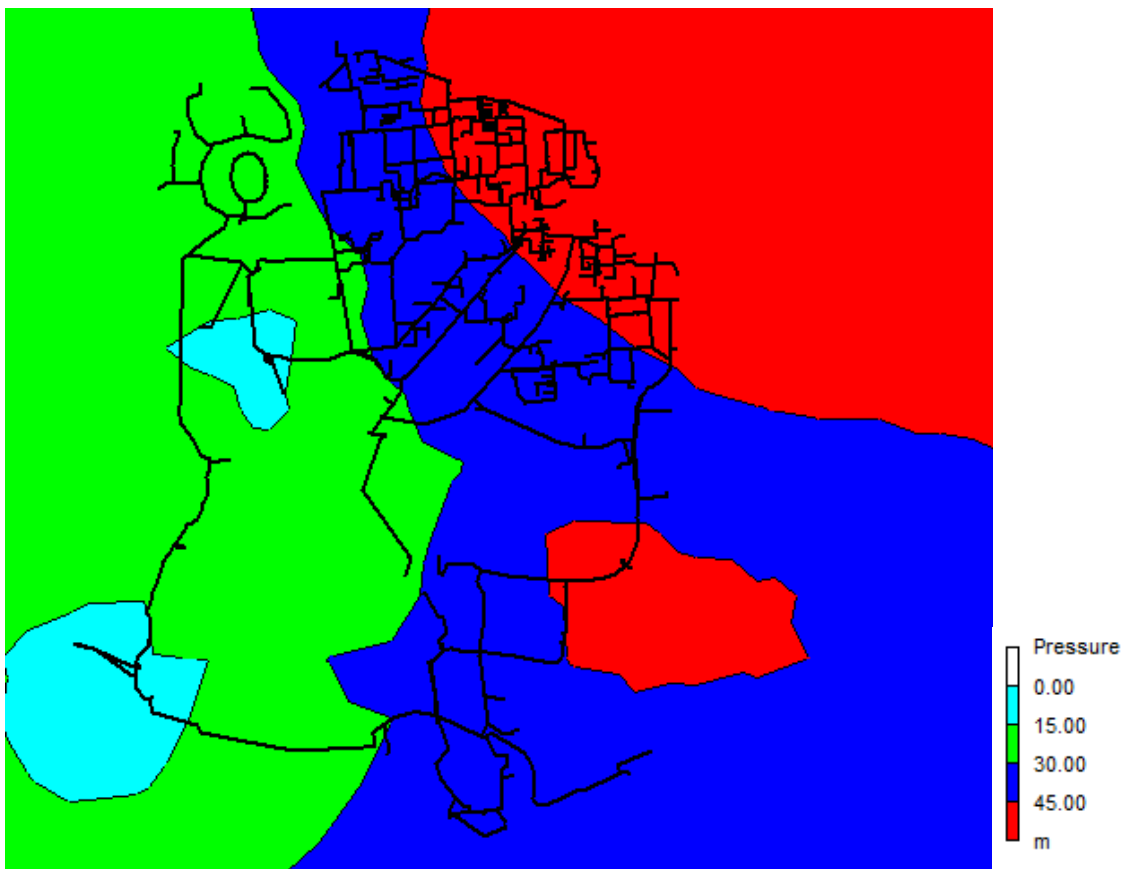


Figura 8. Reducción de pérdidas de agua con la instalación de la VRP en el Sector I Sin control de presiones.

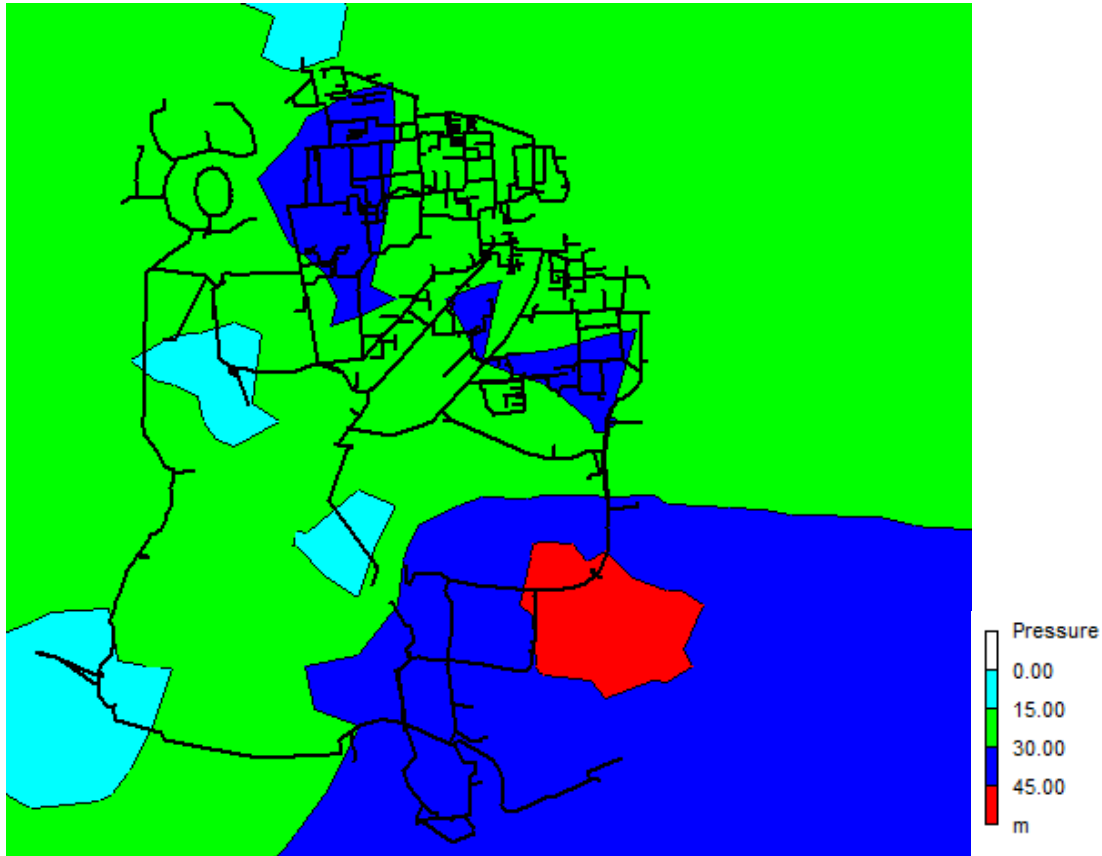


Figura 9. Reducción de pérdidas de agua con la instalación de la VRP en el Sector I con control de presiones.

Sector Hidráulico II (SHII)

El sector Hidráulico II alberga a 20 entidades universitarias con una población cercana a los 38,650 usuarios. De las 20 entidades que se encuentran en este sector, 40.0% son entidades de tipo académico, 30.0% de tipo administrativo y otro 30.0% enfocadas a la investigación. La tendencia de este sector es académico – administrativo. El grueso de la población se concentra sobre todo en Facultades, de manera que la ocupación del sector es semejante a la del Sector Hidráulico I.

El Sector Hidráulico II cuenta con 8,884 metros de tubería, 90% es tubería de acero y 10% Fierro Fundido. La edad de la tubería, sobre todo la correspondiente a acero y fierro fundido rebasa los 50 años de operación. Se estima que los usuarios en este sector demandan hasta 8.9 l/s de agua. La presión media en el sector es de 40 metros de columna de agua o 4.0 Kg/cm², lo que sugiere presencia de fugas visibles y no visibles tanto en la red como al interior de las entidades.

Tabla 2. Dependencias dentro del Sector Hidráulico II.

Sector Hidráulico II	
Dependencia	Usuario
RECTORIA	D
BIBLIOTECA CENTRAL	E
MUCA	E
ZONA COMERCIAL Y GACETA UNAM	D
FACULTAD DE ARQUITECTURA	A
DGOSE	D
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS	A
FACULTAD DE DERECHO	A
ANEXO DE DERECHO	A
POSGRADO DE DERECHO (NUEVA Y VIEJA SEDE)	A
COORDINACION DE CONSEJOS ACADÉMICOS DE AREA	D
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS MÉDICOS	E
DIRECCIÓN GENERAL DE CCH	D
ALBERCA OLIMPICA	E
CANCHAS DEPORTIVAS	E
COMISIÓN TÉCNICA DE FUTBOL AMERICANO	D
FACULTAD DE PSICOLOGÍA	A
IINGEN (Edificios 8, 11, 12 y 18)	B
DEPARTAMENTO DE MEDICINA FAMILIAR	A
FACULTAD DE INGENIERÍA (CONJUNTO PRINCIPAL)	A

Durante 2007 la DGOyC atendió en este sector 29 reportes de fugas, lo que representó el 12% del total de fugas reportadas a esta dependencia durante ese año. En 2008 se atendieron 40 fugas, equivalentes al 16 % de los reportes atendidos. Hasta junio de 2009, se habían reportado en este sector 19 fugas que representan el 18% de las 128 que se habían atendido hasta esta fecha en toda C.U.

Similar a lo hecho en el Sector Hidráulico I, se llevaron a cabo mediciones que mostraron pérdidas de 5 l/s.

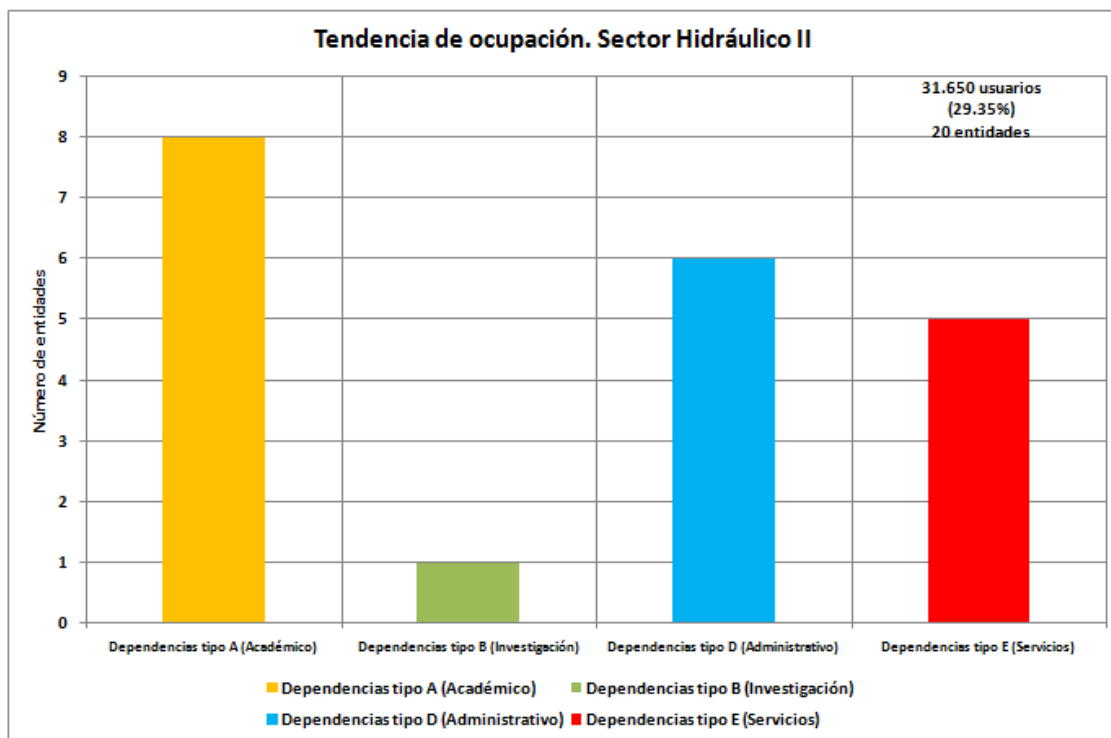


Figura 10. Tendencia de entidades en el Sector Hidráulico II.

Al igual que con el sector I, se llevaron a cabo Mediciones con un equipo portátil que mostraron pérdidas de 5 l/s. La Figura 62 muestra un gasto base de 25 l/s; no obstante 20 l/s corresponden a las pérdidas en el Sector I previamente medidas. Lo anterior resulta válido si consideramos que ambos sectores comparten una línea de conducción que los alimenta.

Debido a la magnitud de las presiones medias en la red, así como a la magnitud de las fugas, en este sector no se consideró colocar una VRP. Esta decisión se corroboró con el modelo matemático ya mencionado.

Sector Hidráulico III (SHIII)

El Sector Hidráulico III alberga 31 entidades universitarias con una población cercana a los 35,000 usuarios. De estas, 32% son entidades de tipo administrativo, 29% de tipo académico y 39% dependencias enfocadas a la investigación y los servicios. La tendencia de ocupación en el sector es académico – administrativo.

El Sector Hidráulico III cuenta con 10,545 metros de tubería: 40% es acero, 25% fierro fundido y 35% Asbesto. La edad de la tubería, sobre todo la correspondiente a acero y fierro

fundido rebasa los 50 años de operación, el asbesto, por el contrario, cuentan con una edad de 25 años. Se estima que los usuarios en este sector demandan hasta 8.10 l/s de agua. La presión media en el sector es de 45 metros de columna de agua o 4.5 Kg/cm², lo que sugiere una alta presencia de fugas tanto en la red como al interior de las entidades.

Durante 2007 la DGOyC atendió en este sector 59 reportes de fuga, equivalentes al 25% de las fugas reportadas a esta dependencia durante ese año. En 2008 se atendieron 71 fugas que representaron el 28.5 % de los reportes atendidos. Hasta junio de 2009 se habían reportado en este sector 32 fugas; es decir, el 25% de las 128 que se habían atendido hasta ese mes.

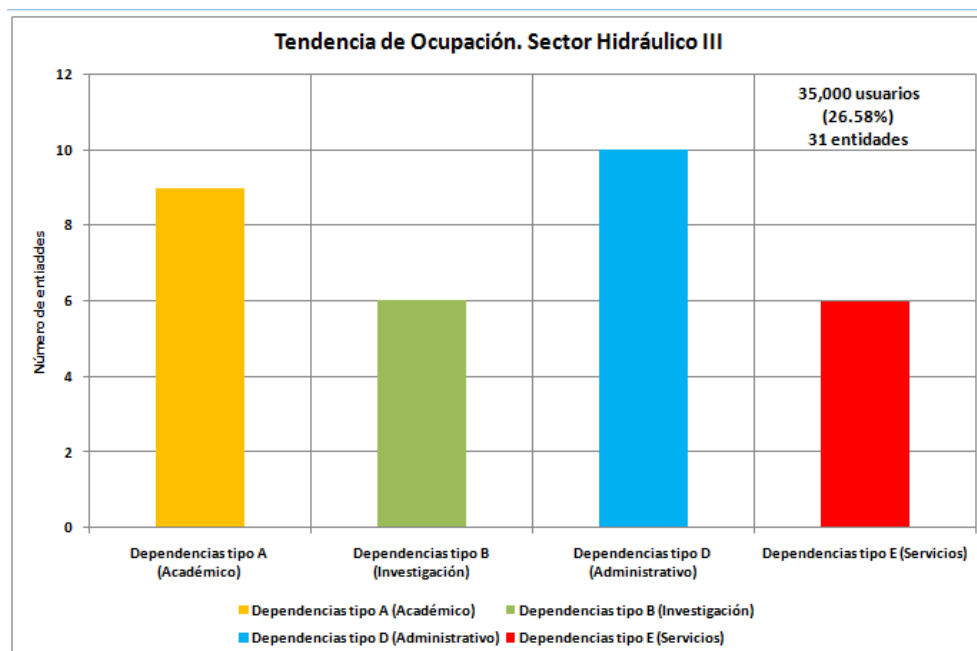


Figura 11. Tendencia de entidades en el Sector Hidráulico III.

Se llevaron a cabo mediciones permitiendo establecer la magnitud de las pérdidas en 11 l/s. De acuerdo a la modelación matemática resultó necesaria la instalación de una Válvula Reguladora de Presión en este sector. Se estima que con la instalación de esta Válvula se reduzcan hasta 5 l/s la magnitud de las fugas en este sector. Las Figuras 61 y 62 muestran los escenarios con y sin reducción de presiones en el sector Hidráulico III y en la red en general.

Tabla 3. Dependencias dentro del Sector Hidráulico III.

Sector Hidráulico III	
Dependencia	Usuario
ESTADIO DE PRÁCTICAS "TAPATÍO MENDEZ"	E
FRONTON CERRADO	E
ESCUELA NACIONAL DE TRABAJO SOCIAL	A
ANEXO DE INGENIERÍA	A
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO (FI)	A
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN	A
INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES	B
INSTITUTO DE FISICA	B
INSTITUTO DE ASTRONOMIA	E
INSTITUTO DE MATEMÁTICAS	B
PROGRAMAS UNIVERSITARIOS	D
COORDINACION DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA	D
IINGEN	B
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES	B
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	D
FACULTAD DE CIENCIAS	A
FACULTAD DE QUIMICA CONJUNTOS D Y E	A
COORDINACIÓN DE UNIDADES ABIERTA Y A DISTANCIA	D
POSGRADO DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN	A
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS DE CÓMPUTO ACADÉMICO	D
FACULTAD DE CIENCIA POLÍTICAS Y SOCIALES	A
POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS POLITICAS Y SOCIALES	A
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS	B
SISTEMA DE UNIVERSIDAD ABIERTA	D
CENTRO DE INSTRUMENTOS	D
TIENDA UNAM	E
DIRECCIÓN GENERAL DE ACTIVIDADES CINEMATOGRAFICAS	D
DIRECCIÓN GENERAL DE TELEVISIÓN UNIVERSITARIA (TV UNAM)	D
ALMACÉN DE CONSTRUCCIÓN DE LA DGOC	E
BODEGAS DE ARTES VISUALES Y TEATRO.	E
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS	D

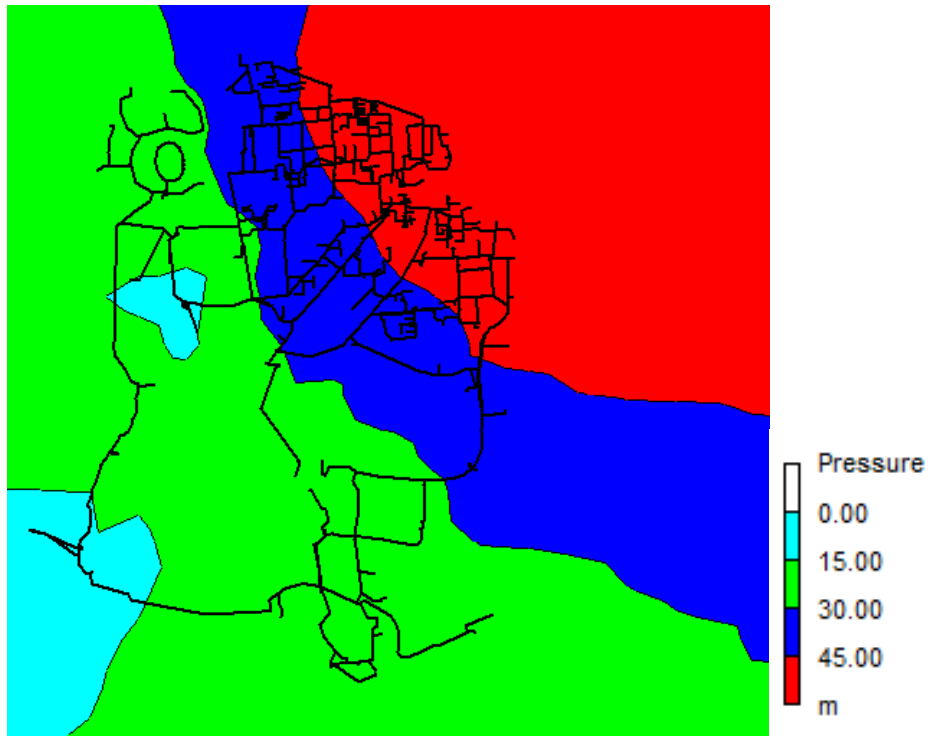


Figura 12. Reducción de pérdidas de agua con la instalación de la VRP en el Sector Hidráulico III sin control de presiones.

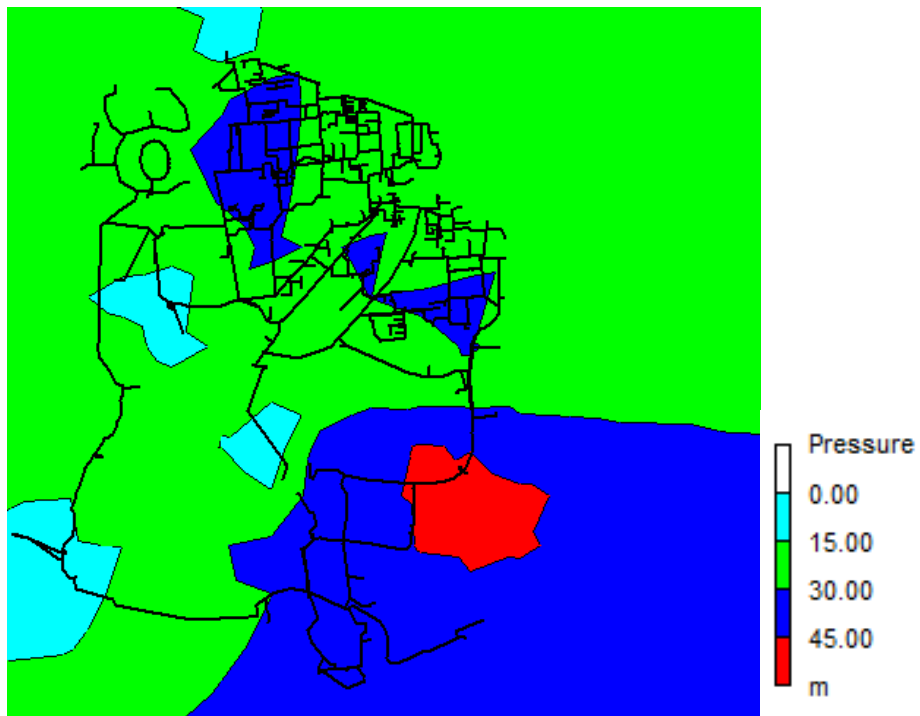


Figura 13. Reducción de pérdidas de agua con la instalación de la VRP en el Sector Hidráulico III con control de presiones.

Sector Hidráulico IV (SHIV)

El Sector Hidráulico IV alberga a 20 entidades universitarias con una población cercana a los 3,800 usuarios. En este sector se encuentra ubicado el estadio Olímpico Universitario con capacidad de hasta 68,000 personas. Estimaciones hechas muestran que el consumo de agua en un evento con estadio lleno representa hasta 6.94 l/s. De las 20 entidades que se encuentran en este sector, 54% son entidades de tipo administrativo el 46% entidades de servicios. La tendencia de ocupación de este sector es administrativo – servicios.

Este es el sector más pequeño, pues cuenta con solo 4,510 metros de tubería, de los cuales 90% es tubería de acero y el restante tubería de fierro fundido. Se estima que los usuarios en este sector demandan hasta 0.88 l/s de agua. La presión media es de 30 metros de columna de agua o 3.0 Kg/cm².

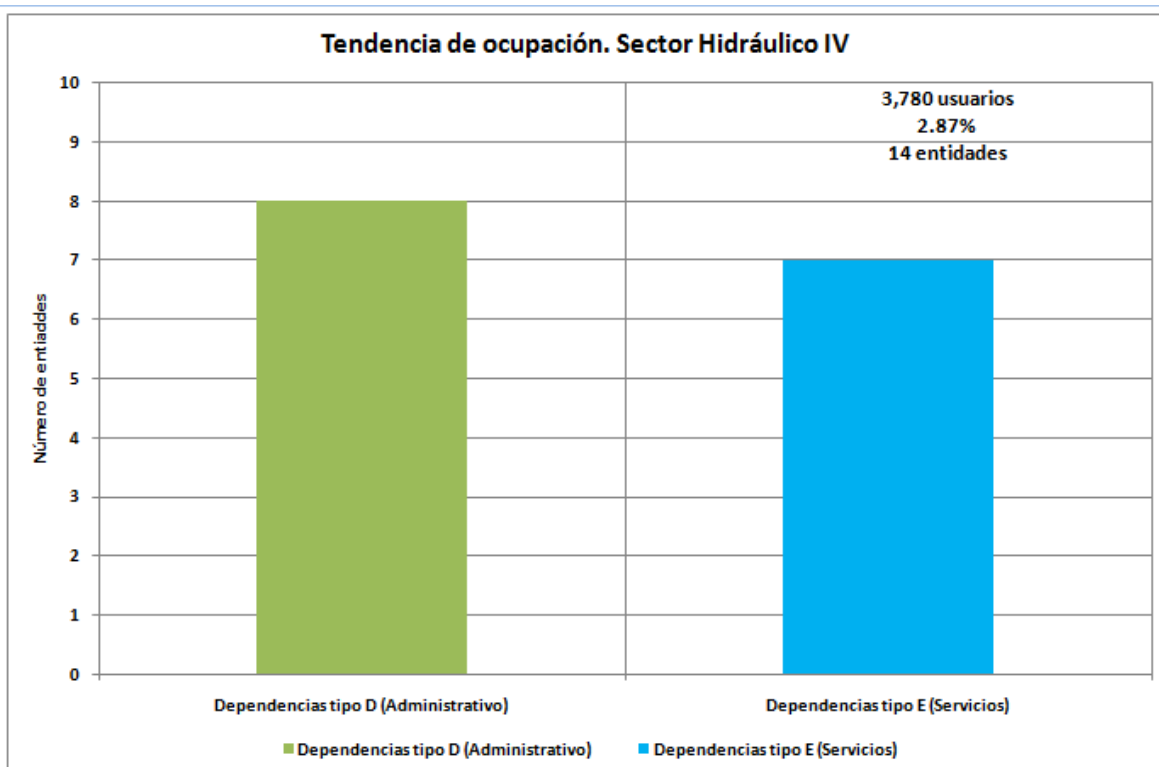


Figura 14. Pérdidas en el Sector Hidráulico IV.

Tabla 4. Dependencias dentro del Sector Hidráulico IV.

Sector Hidráulico IV	
Dependencia	Usuario
CASA CLUB DEL ACADÉMICO	D
COORDINACIÓN DE ASESORES	D
DIRECCIÓN GENERAL DE ACTIVIDADES DPORTIVAS Y RECREATIVAS	D
UNIÓN DE UNIVERSIDADES DE AMÉRICA LATINA	D
DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN	D
DIRECCIÓN GENERAL DE RELACIONES LABORALES	D
DIRECCIÓN GENERAL DE PROVEDURÍA	D
TALLERES DE CONSERVACIÓN	D
ESTADIO OLÍMPICO UNIVERSITARIO	E
CENTRO DE BOXEO Y LEVANTAMIENTO DE PESAS	E
MEDICINA DEL DEPORTE E INVESTIGACIÓN	E
ESTACIÓN DE BOMBEROS	E
MULTIFAMILIAR DE PROFESORES	E
PUMITAS	E

El Sector Hidráulico IV es el de menor reporte de fugas en los tres años analizados, teniéndose durante el año 2007 un total de 9 reportes de fuga, lo que representó tan sólo el 3.7% de las fugas durante ese año. En 2008 se atendieron 16 fugas y, hasta Junio de 2009, se habían reportado en este sector un total de 15 fugas (3.9%) de las 128 que se habían atendido hasta esta fecha. Mediciones en este sector muestran una pérdida de 1.6 l/s.

Sector Hidráulico V (SHV)

El Sector Hidráulico V representa la zona cultural de Ciudad Universitaria, en el se hallan 39 entidades entre teatros, museos, restaurantes así como direcciones generales. Este sector es un uno muy concurrido los fines de semana. Se estima en este sector una población fijas de 12,800 usuarios. De acuerdo a la agenda estadística de la UNAM, se sabe que en este sector recibe cada fin de semana hasta 10,000 personas.

De las 39 entidades que se encuentran en este sector, 37% corresponde a entidades de tipo administrativo, 33% de tipo cultural y 30% de las demás dependencias corresponden a

entidades enfocadas a la investigación y los servicios La tendencia de este sector es administrativo – cultural. En este sector se cuenta con 15, 446 metros de tubería, 20% es tubería de acero, 80% tubería de PVC. Se estima que los usuarios en este sector demandan hasta 3.18 l/s de agua La presión media en el sector es de 20 metros de columna de agua o 2.0 Kg/cm², lo que ha derivado que muchos de los institutos ubicados en este sector busquen soluciones como equipos hidroneumáticos, además, la mayor parte de las tuberías metálicas se encuentran incrustadas.

El Sector Hidráulico V es el segundo sector con menos reporte de fugas en los tres años analizados. En el año 2007 se hicieron un total de 28 reportes de fuga, lo que representó tan sólo el 11.80% de las fugas durante ese año. En 2008 se atendió a 29 reportes de fugas y, hasta Junio de 2009, se habían reportado en este sector un total de 15 fugas (11.7%) de las 128 que se habían atendido hasta esta fecha. Se llevaron a cabo mediciones en este sector que permitieron identificar pérdidas de 13 l/s, equivalentes a poco más de la mitad de pérdidas medidas en el Sector Hidráulico I, si embargo, en el sector I se tiene una presión media de 55 metros de columna de agua y tubería metálica. En cambio, 80% de la tubería en el sector V es plástica y la presión media en la red es de 20 metros de columna de agua. Situación demasiado preocupante considerando que la mayor parte de este tipo de tuberías no rebasan los 20 años de instaladas.

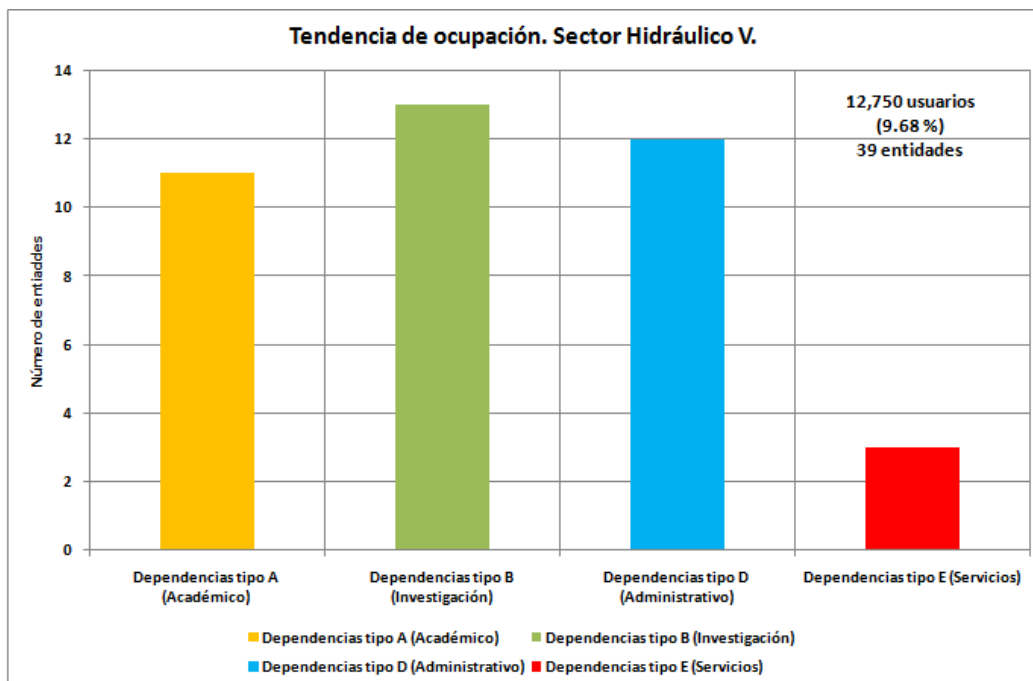


Figura 15. Pérdidas en el Sector Hidráulico V.

Tabla 5. Dependencias dentro del Sector Hidráulico V.

Sector Hidráulico V	
Dependencia	Usuario
BIBLIOTECA NACIONAL Y FONDO RESERVADO	C
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN EN HUMANIDADES	A
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE LA UNIVERSIDAD Y LA EDUCACIÓN	B
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE LA UNIVERSIDAD Y LA EDUCACIÓN	B
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTÉTICAS E HISTÓRICAS	B
INSTITUTO DE BIOLOGÍA	B
INSTITUTO DE ECOLOGÍA	B
JARDÍN BOTÁNICO EXTERIOR	B
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS	B
MESA VIBRADORA	B
UNIDAD DE SEMINARIOS "IGNACIO CHÁVEZ"	E
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS	B
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES	B
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOLÓGICAS	B
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS	B
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES JURÍDICAS	B
CENTRO UNIVERSITARIO DEL TEATRO	C
MUCA	C
UNIVERSUM	C
CCU - Sala de Conciertos Nezahualcoyotl	C
CCU - Salas Cinematográfica Jose Revueltas	C
CCU - Salas Cinematográfica Julio Bracho	C
CCU - Sala Miguel Covarrubias	C
CCU - Sala Carlos Chavez	C
CCU - Teatro Juan Ruiz de Alarcon	C
CCU - Foro Sor Juana Inez de la Cruz	C
DIRECCIÓN GENERAL DE PLANEACIÓN	D
DIRECCIÓN GENERAL DE INCORPORACIÓN Y VALIDACIÓN	D
OFICINA ZONA CULTURAL DE LA DGO	D
ALMACEN DE COMPOSTA DE LA D.G.O.C.	D
ALMACEN DE BIBLIOTECAS Y HEMEROTECAS	D
TALLER MECANICO	E
OFICINAS ADMINISTRATIVAS EXTERIORES	D
Dirección General de Servicios Generales y Archivo de la UNAM	D
Registro de Aspirantes	E
ARCHIVO GENERAL	D
Patronato UNIVERSUM	D
	D
Dirección General de Servicios de Computo Academico - Zona Cultural	D
Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial - Zona Cultural	D

Las siguientes tablas y figuras resumen la información mencionada líneas arriba.

Tabla 6 . Resumen de información de sectores hidráulicos

Sector Hidráulico	Usuarios	Tendencia	Longitud de tubería (m)	Demanda media estimada (lps)	Pérdidas (lps)	Presiones medias en la red (mca)	Numero de tomas	Cisternas
SH1	41,500.00	Investigación	14,110.00	9.61	20.00	55	79	18
SH2	38,650.00	Académico	8,884.00	8.95	5.00	40	65	5
SH3	35,000.00	Administrativo	10,545.00	8.10	11.00	45	71	17
SH4	3,780.00	Administrativo	4,510.00	0.88	1.60	30	32	11
SH5	12,750.00	Cultural/Administrativo	15,446.00	2.95	13.00	20	51	11
	131,680.00		53,495.00	30.48	50.60		298	62

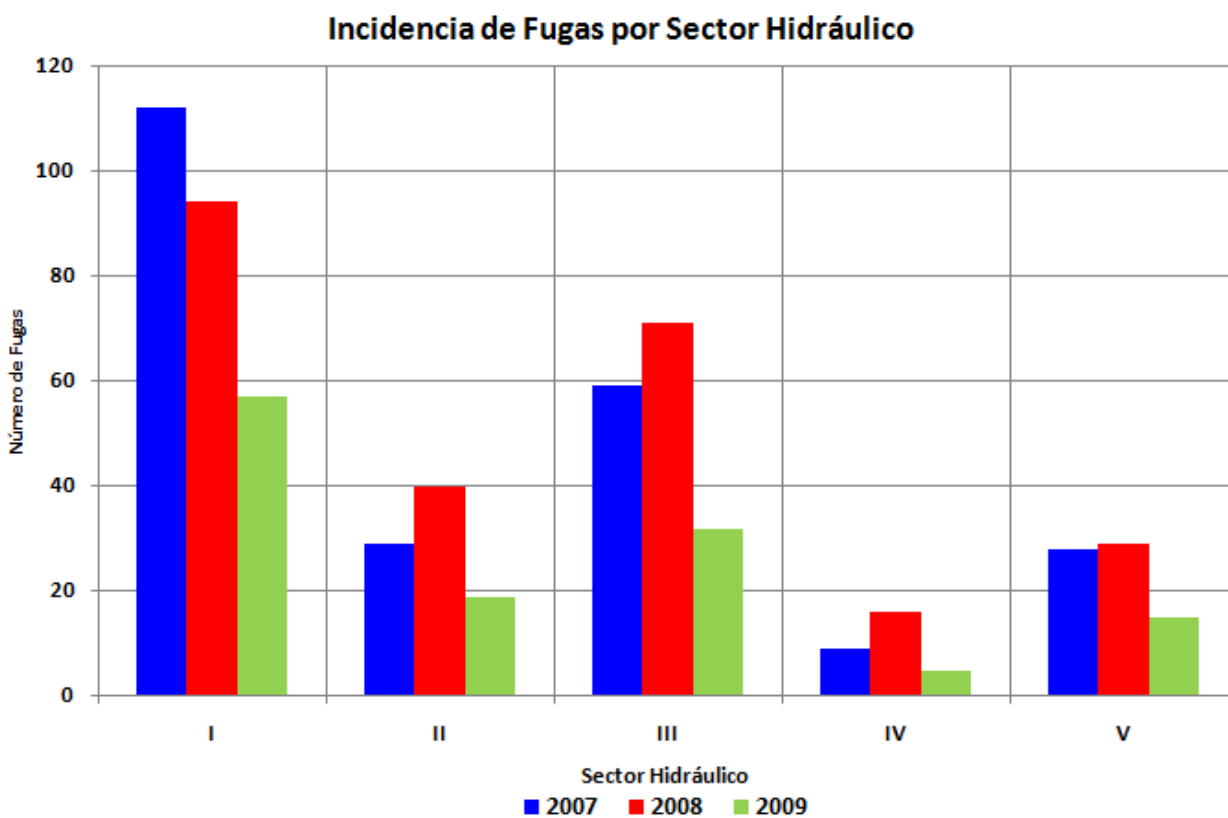


Figura 16. Incidencias de fugas por sector hidráulico. FUENTE. DGOyC. UNAM

3.4.- METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se puede demostrar que en una red extensa y muy deteriorada es indispensable instalar un control de presiones (Ciudad Universitaria presenta hasta 70 m.c.a en la zona oriente), naturalmente con una sectorización de la red para que las demás medidas que se tomen para reducir fugas y mejorar el suministro sean eficaces. Si no se controlan las presiones, todo lo demás que se haga resulta muy ineficiente o incluso inútil. Las acciones paralelas se refieren a:

- Programas de reparación de fugas y de sustitución de infraestructura.
- Ahorros de agua por parte de los usuarios
- Nuevos suministros.



Figura 17. Trabajos de sectorización de la red de agua potable.

La causa de lo anterior se encuentra en la alta sensibilidad de las fugas a las presiones, de tal manera que, por ejemplo, cuando se reparan las tuberías de una zona, las presiones aumentan ligeramente en el resto de la red y el agua ahorrada en esa zona se pierde en las zonas que todavía no han sido reparadas. Lo mismo se puede decir con los ahorros de consumo por parte de los usuarios. Para la ejecución de los trabajos de sectorización de la red de distribución se realizaron en coordinación estrecha con la DGOyC las siguientes actividades:

1. Se llevó a cabo una inspección en campo de los sectores propuestos, validando aquellas válvulas y cruceros a seccionar durante los trabajos de sectorización.
2. En aquellos casos en donde no existió alguna válvula de seccionamiento requerida, se realizó el levantamiento de las condiciones físicas y las obras civiles que se requerían para la instalación de las mismas.
3. Se identificaron en el plano aquellos puntos donde se pretende instalar cada válvula reguladora de presión. Se realizó el levantamiento en campo de estos puntos estratégicos verificando que exista el crucero indicado en el plano y por otro lado, validando el punto en función de las condiciones físicas para la instalación.

Una vez terminados los recorridos de verificación y validación de las válvulas de seccionamiento y de las ubicaciones de los puntos de instalación de las VRP, se realizaron las pruebas en campo de confirmación de cada sector. Para lo anterior se ejecutaron las siguientes actividades:

- a) Se aisló cada sector cerrando todas las válvulas de seccionamiento correspondientes comprobando que no existe suministro de agua por algún punto desconocido por los operadores de la red debido a tuberías que no estén indicadas en el plano.
- b) Se hicieron pruebas de presión cero, para evitar el que se purgue la tubería.
- c) Se instaló un medidor portátil en el punto donde se propone instalar la VRP, durante siete días consecutivos.
- d) Con los curvas de consumo obtenidos con el medidor ultrasónico, se propuso el diámetro de la VRP para cada sector.

Esta metodología fue aplicada en cada sector hidráulico en colaboración con personal de la red de agua. Estas actividades dieron inicio el pasado 30 de Mayo de 2009 y los resultados nos han mostrado la magnitud del problema a resolver.

3.4.1. Macro y micro medición.

La Macromedición se refiere a la medición del suministro a un sistema de agua potable, en cambio la micro medición se enfoca a la medición de los consumos por parte de los usuarios o entidades universitarias.

3.4.2.- Medición de suministro y consumo.

Medición del Suministro

Con el objetivo de tener un control tanto en el suministro como en el consumo de Ciudad Universitaria, PUMAGUA está montando un sistema de medición integral automatizado que permite realizar con facilidad el análisis y recolección de información. Este sistema utiliza tecnología que se encuentre a la vanguardia y se ajusta de mejor manera a las condiciones de Ciudad Universitaria y a los alcances del proyecto en sus diversas etapas.

Ciudad Universitaria cuenta con tres pozos profundos con los cuales suministra agua a 140 entidades universitarias, el riego de 100 hectáreas y 132,000 usuarios por día, por lo que resultó imperioso instalar medidores en estos puntos.

El sistema de medición de suministro (Macro medición) y consumo (micro medición) seleccionado que cumple con las condiciones de Ciudad Universitaria es el que proporciona la empresa Badger Meter, este sistema cumple con las especificaciones de generar datos íntegros de volumen y gasto disponibles en forma y en tiempo, que permitan ser convertidos en información para la toma de decisiones que reditúen en el ahorro de agua y energía en el campus de Ciudad Universitaria. Es decir, desde el punto de vista de procesamiento de información los datos generados por los medidores presentan la exactitud deseada (± 0.05 %) y su lectura es confiable. Adicionalmente, presentan características que permiten asegurar una larga vida útil, considerando el entorno de su instalación.

Para la medición del suministro o Macro medición se seleccionaron medidores de tipo electromagnético para uso en líneas presurizadas de agua limpia, que incluyen la unidad de medición (hermeticidad de sumersión IP68), la unidad electrónica (elemento secundario) para la transducción de la señal, el despliegue de la señal, caudal, totalización de volumen y los servicios complementarios. Los medidores cuentan con la disponibilidad de equipamiento para la futura escalación, distribuido por el mismo proveedor. Con respecto a la unidad electrónica, es capaz de resistir daños comunes de intemperie y es de tipo remota (tiene un cable de longitud de hasta 150 m), puede ser programada en sitio sin requerir la utilización de computadoras personales laptop o palm top, sin embargo, cuenta con los esquemas de seguridad necesarios para que no pueda ser accesado el teclado por cualquier transeúnte, tiene comunicación RS232 y utiliza protocolo de comunicación Modbus. Los medidores utilizan un sistema de telemedición con la capacidad de escalación a los siguientes sistemas de lectura automática:

Los medidores cumplen con la norma oficial mexicana NOM-012-SCFI-1994 para la medición de agua en conductos cerrados presurizados. Cuentan con la certificación estadounidense NSF61 (aprobación de materiales utilizados en los sistemas de servicio de agua potable para la ingesta humana). Las fábricas de producción de medidores cuentan, en sus procedimientos de control de calidad, con certificación ISO-9001.

Finalmente, el sistema de lectura seleccionado es el de Badger Orion Gateway que tiene las siguientes características: cada medidor cuenta con un datalogger el cual almacena los datos y una antena transmisora Orion, en intervalo horario cada transmisor Orion puede almacenar información hasta 2 años. La última lectura es recibida y almacenada en cada receptor Gateway, los Orion Gateway almacenan los datos de los transmisores y pueden ser recuperados cada hora con base de hasta 2000 transmisores por Gateway, en cualquier momento los datos se mantienen disponibles con sistema al paso y móvil (mediante un dispositivo HandHeld Orion); la información se concentra en una central, donde se puede procesar mediante el software Orion y obtener gráficas de consumo con diversas opciones o generar un archivo *.txt para manipular los datos de la forma requerida por el operador.

Ciudad Universitaria cuenta con diez puntos en los cuales se advirtió la necesidad de instalar un medidor electromagnético para la medición del suministro al campus y Sectores Hidráulicos. Durante 2008 se llevó a cabo la instalación de cinco de estos medidores: Dos medidores de 12” en Tanque Bajo, un medidor de 6” para Pozo I y un medidor de 10” en los Pozos II Y III, respectivamente.

Una segunda etapa programada para llevarse a cabo durante 2010 contempla la instalación de otros cinco medidores electromagnéticos a instalarse en cada uno de los Sectores Hidráulicos propuestos, así como la instalación de tres sensores ultrasónicos de nivel en los Tanques de Regulación.

Durante la primera etapa llevada a cabo durante 2008, se llevaron a cabo trabajos de campo con los que se definieron los sitios y requerimientos para la instalación.

Dimensiones del arreglo para medidor Electromagnético 10” correspondiente al Pozo II. Multifamiliar

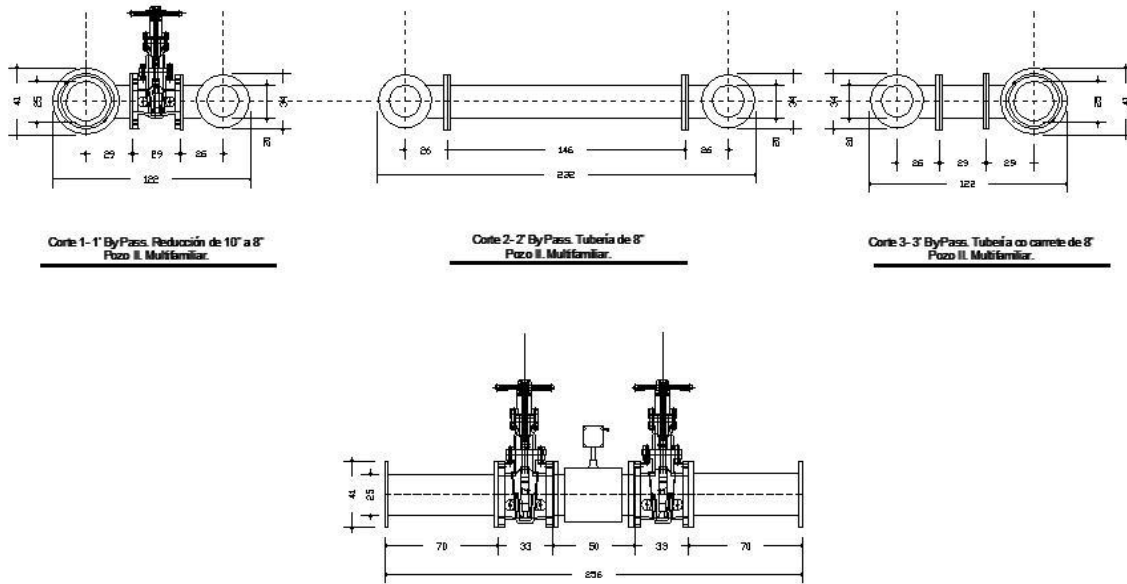


Figura 18. Dimensiones del arreglo propuesto para Medidor Electromagnético en Pozo II.



Figura 19. Visitas de campo realizadas a los puntos de instalación de los medidores electromagnéticos

La instalación se llevó a cabo durante el mes de Diciembre de 2008 en periodo vacacional a manera de garantizar el suministro de agua al sistema en caso de una eventual emergencia.



Figura 20. Instalación de Medidores Electromagnéticos.

La puesta en marcha consistió en programar las unidades de medición (l/s), salida de pulsos (1 pulso por m³), establecer rangos de medición y el sentido del flujo junto con un totalizador. El display de los medidores fue colocado en un gabinete con llave especial de la cual se tiene copia especial junto con un UPS para regular las variaciones de voltaje. En las siguientes imágenes se observa el gabinete y UPS empleados en cada punto de medición.



Figura 21. Medidor Electromagnético en Tanque Bajo Lado Norte y Sur, respectivamente.

Con la instalación y puesta en Marcha de estos medidores ha sido posible la medición en continuo de los caudales de agua que se inyectan al sistema de agua potable. Estas mediciones muestran que, en promedio, se extraen 100 l/s de los pozos y un máximo de 170 l/s. Los medidores colocados cuentan con un dispositivo almacenador de datos que permite visualizar las actuales políticas de operación de los pozos.

Extracción de agua en los Pozos.

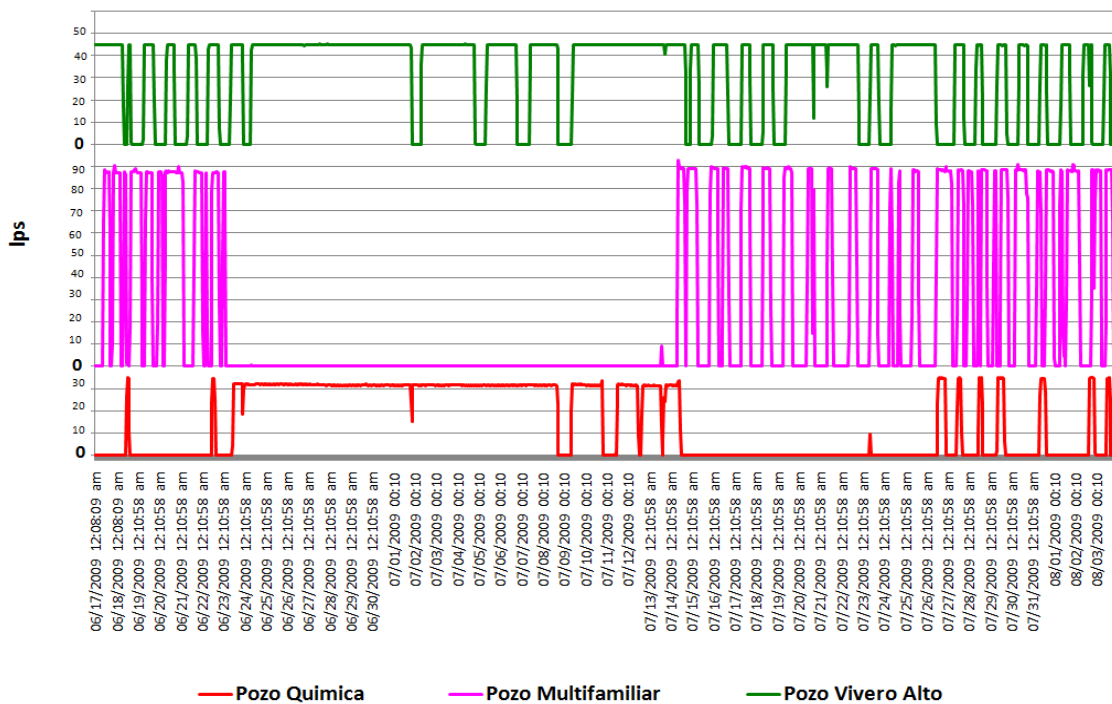


Figura 22. Extracción de agua de los pozos.

Curva horaria Tanque bajo Norte. Sectores I y II Hidráulicos.
 $Q_{min} = 25 \text{ lps}$

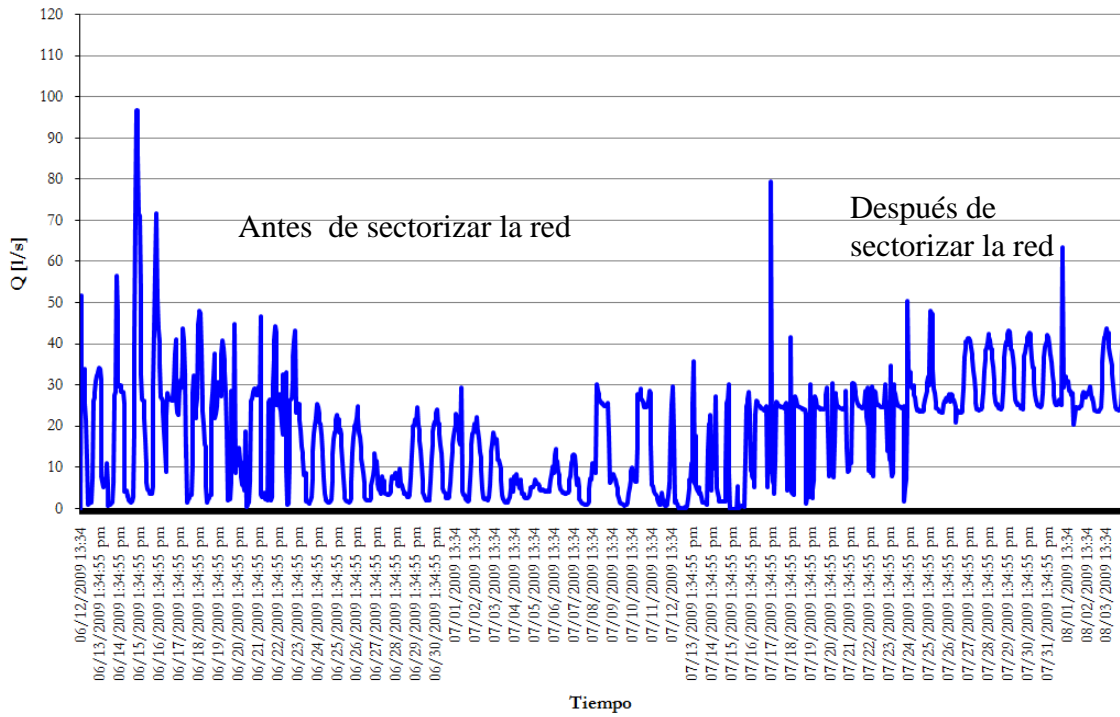


Figura 23. Suministro de agua desde Tanque Bajo a los sectores I y II.

Curva horaria
 "Tanque Bajo Sur".
 Rebompeo entre Tanque Bajo y Tanque Alto.

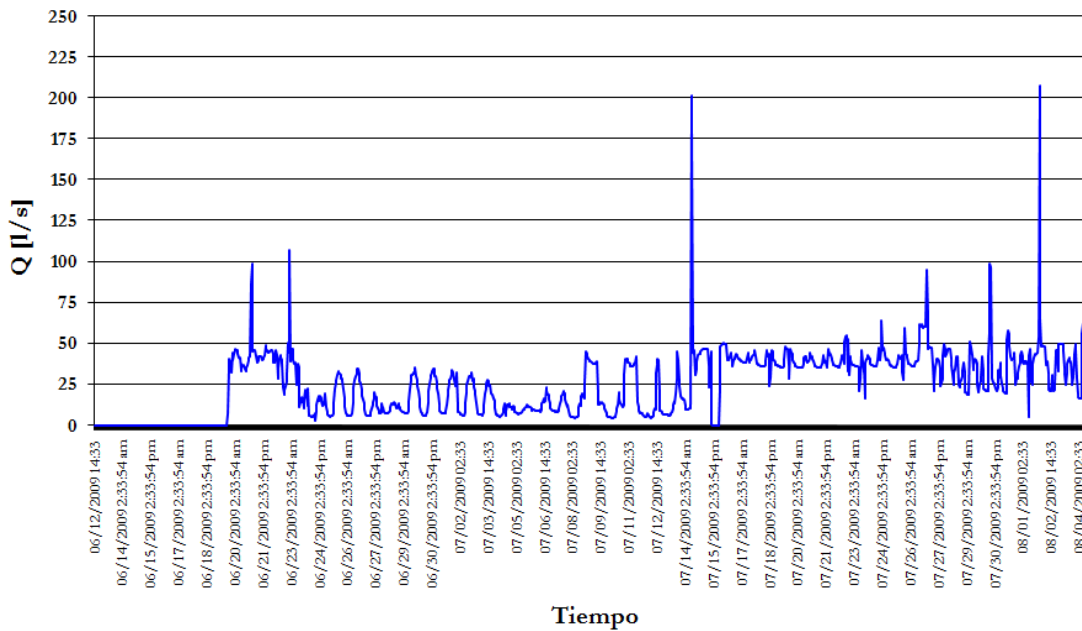


Figura 24. Rebompeo entre Tanque Bajo y Tanque Alto.

Los primeros análisis realizados a la información proporcionada por los medidores electromagnéticos muestran el patrón de suministro de agua en los sectores I y II.

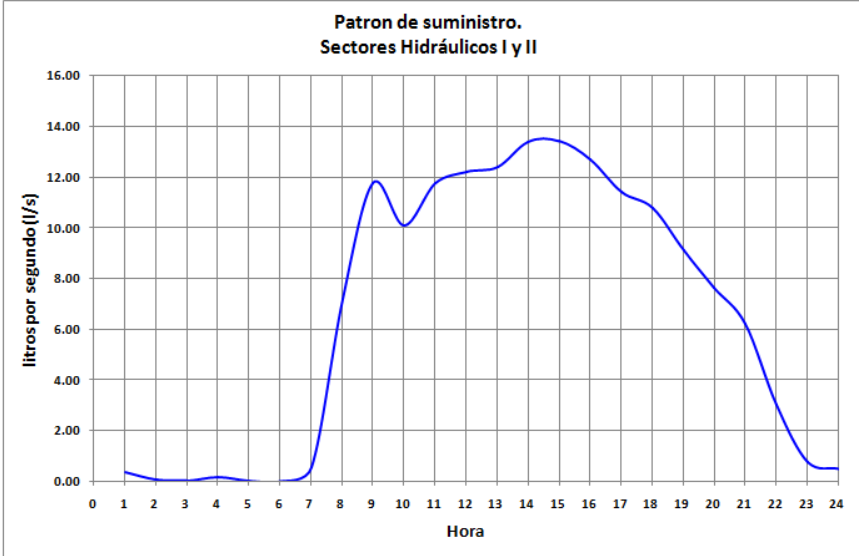


Figura 25. Patrón de suministro de los sectores I y II, respectivamente.

Esta curva considera sólo el consumo de parte de los cerca de 80,000 usuarios presentes en estos dos sectores y cuyas pérdidas ascienden a 25 l/s. De acuerdo a estas mediciones el consumo per cápita en estos sectores es de 15 l/usuario/día. El comportamiento del consumo en estos sectores sigue la siguiente evolución: de las 0:00 hrs a las 8:00 am se presenta el 5% del total consumo; de 8:00 am y hasta las 21:00 hrs el 92% del, en tanto que de las 21:00 hrs a las 24:00 hrs sólo el 3% (Ver figura 75).

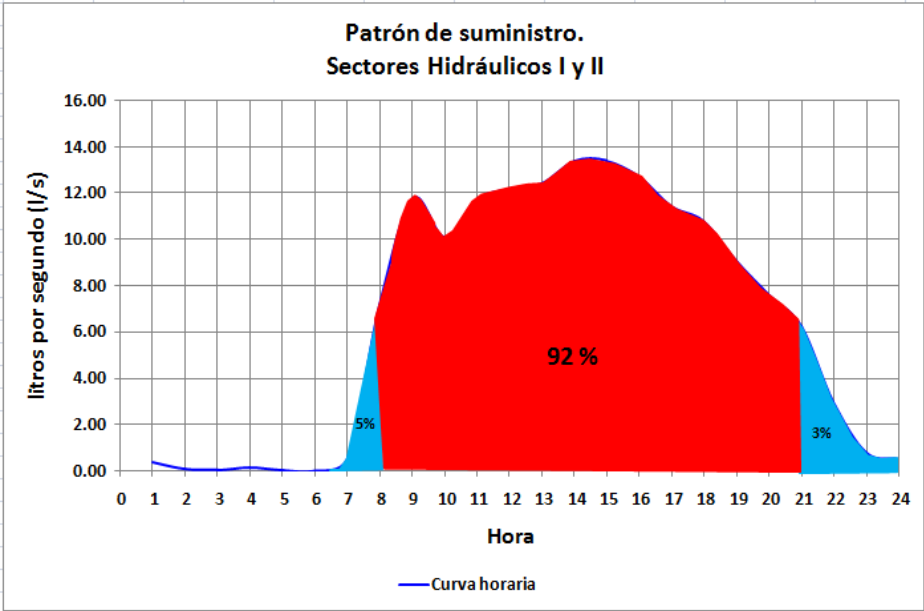


Figura 26. Comportamiento del consumo en los sectores I y II.

Los cinco medidores instalados recientemente son parte de los diez que PUMAGUA tiene contemplado instalar en la red primaria de Ciudad Universitaria. Falta aun instalar cinco Medidores Electromagnéticos a la entrada de cada Sector Hidráulico propuesto. Los arreglos propuestos para la sectorización y control de presiones se muestran en las siguientes figuras:

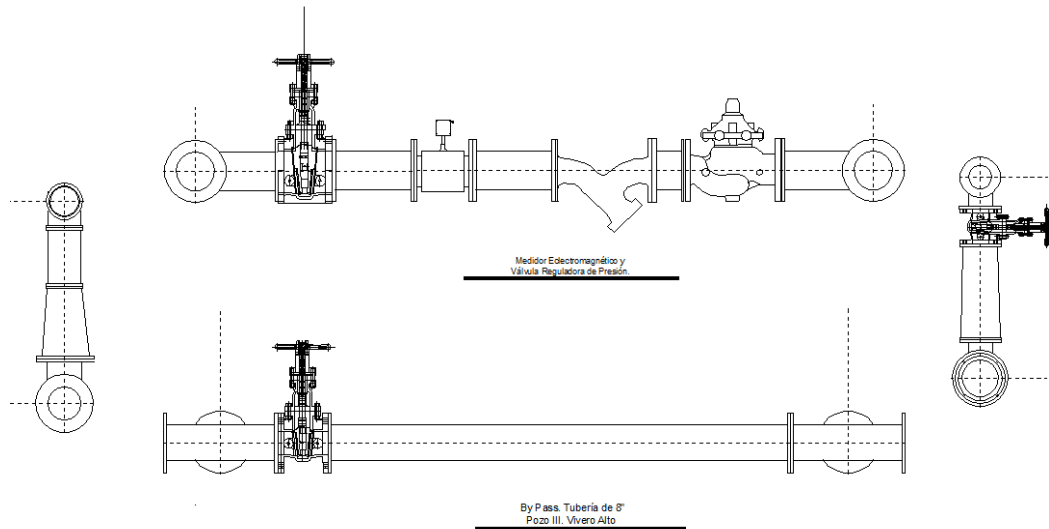


Figura 27. Arreglo de medición y control de presiones propuestos por PUMAGUA a instalarse en los sectores I y III.

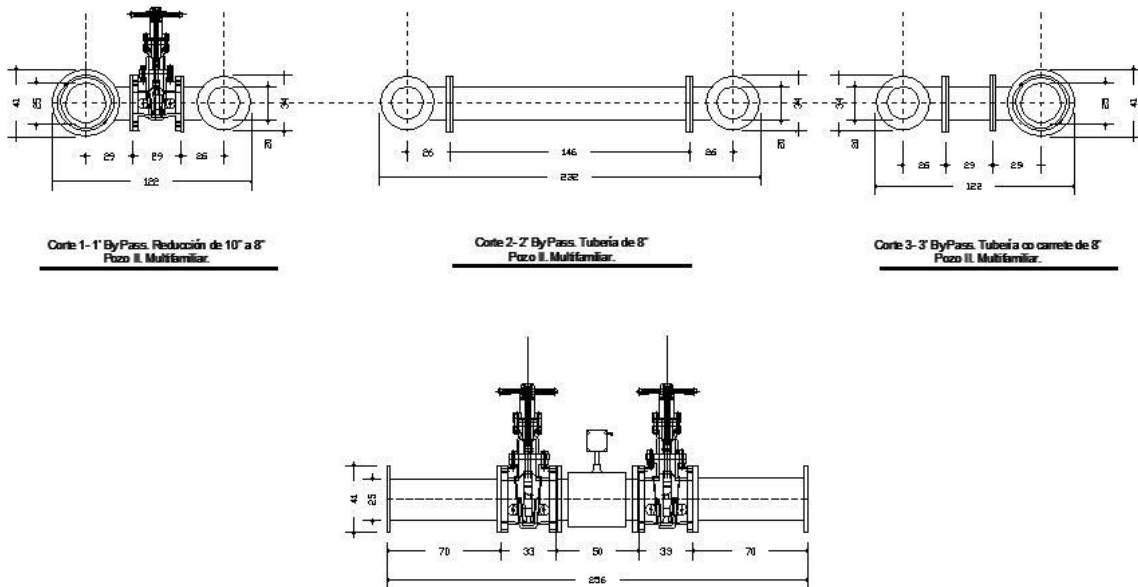


Figura 28. Arreglo de medición y control de presiones propuestos por PUMAGUA a instalarse en los sectores II, IV y V.

Por otro lado, se tiene contemplado la instalación de medidores de nivel en los tanques de regulación. El objetivo de estos trabajos son: a) Conocer la variación de niveles de agua en los

tanques de regulación, b) Determinar la variación (Diaria y Horaria) de la demanda de agua dentro del campus universitario y c) Determinar la cantidad de agua que se envía a los taques y a la red de distribución. Para cumplir con los objetivos arriba señalados, se instalarán tres medidores ultrasónicos de nivel Badger Meter en los tanques de regulación, estos medidores cuentan con las siguientes características técnicas: Electrónica de Gabinete de plástico **IP65**, 2 canales 4 – 20 mA, 5 relevadores, data logger integral, interfase RS232/RS485, **fuelle 90 - 230 VAC** 414165 Sensor Bat – 52 L, 0 – 8 metros + 50 metros cable Bracket para montaje de sensor. La instalación incluye todos aquellos trabajos que son necesarios para dejar funcionando los medidores de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante.

Medición del Consumo

La cuantificación del consumo por parte de los usuarios o dependencias de C.U. implica la instalación de micro medidores en la toma de cada dependencia universitaria. Los medidores seleccionados para la micro medición son de tipo volumétrico y funcionan bajo un sistema de transmisión automática de lectura por radiofrecuencia, esta consiste en una red de equipos distribuidos físicamente, denominados “concentradores”, comunicados entre sí y que captan las lecturas de los medidores cercanos y se transmiten de nodo en nodo hasta que finalmente se concentran todas ellas en uno o más puntos comunes donde se entregan a una computadora. Estos equipos utilizan la misma tecnología de los Macromedidores.

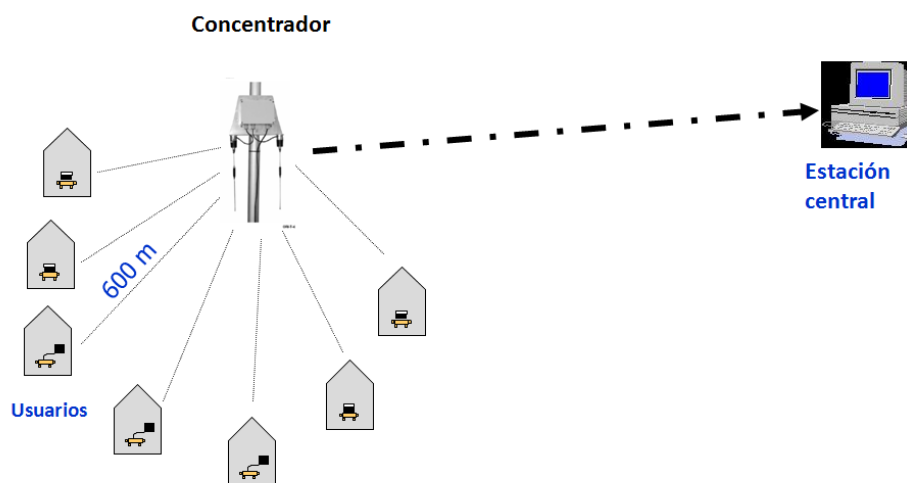


Figura 29. Esquema del sistema de medición por radiofrecuencia implementado por PUMAGUA. FUENTE: Badger Meter S.A de C.V.

Los micro-medidores proporcionarán información referente a las fugas y consumos dentro de cada institución, con lo cual se podrán instrumentar políticas para un mejor manejo y administración del recurso.

Todos los equipos de medición Badger Meter cuentan con data logger y un sistema de transmisión de datos, el cual envía una señal de radio de 900 MHz a un equipo repetidor; o bien, la señal es recibida directamente en un equipo concentrador o Gateway, el cual tiene la capacidad de recibir la señal hasta de 2,000 transmisores (medidores) con la finalidad de disponer de la información en tiempo, forma y calidad para su posterior análisis. En conjunto, estos elementos forman parte del Sistema Automático de Lectura (AMR por sus siglas en inglés: (Automatic Metering Reading), el cual utiliza transmisión inalámbrica. La información se canaliza vía red en una central donde es procesada mediante un software, lo que hace posible la obtención de gráficas de consumo al tiempo de hacer más rápido el análisis de la información. PUMAGUA espera completar este sistema al término del primer semestre de 2010.

Medidores Instalados

Al día de hoy se tienen 48 medidores de agua instalados en 18 dependencias universitarias. Se tienen proyectados la instalación de otros 161 medidores más en otras 53 dependencias. De los cuales se ha hecho la entrega de 114 equipos. Con la instalación de los medidores se tendrá un avance del 50% de la meta propuesta además, será posible medir el consumo de agua a poco más de 50,000 universitarios. Las tablas siguientes muestran los avances que se tienen en la instalación de los medidores de agua en las dependencias que poco a poco se han integrando al PUMAGUA.

Tabla 7 . Dependencias con medidor Instalado.

ENTIDADES QUE CUENTAN CON MEDIDORES INSTALADOS Actualizada hasta 25 01 10					
DEPENDENCIAS	MEDIDORES				
	Proyectados	Entregados	Instalados	SECTOR	Edificios con Fuga
IINGEN	12	12	12	SECTOR I	5
FACULTAD DE VETERINARIA	15	15	14	SECTOR I	3
INSTITUTO DE GEOLOGÍA	2	2	2	SECTOR I	2
INSTITUTO DE GEOFISICA	3	3	3	SECTOR I	1
COORDINACIÓN DE HUMANIDADES	1	1	1	SECTOR V	Por Medir
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS	1	1	1	SECTOR V	0
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES	1	1	1	SECTOR V	Por Medir
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES JURÍDICAS	2	1	1	SECTOR V	0
INSTITUTO DE QUIMICA	3	3	3	SECTOR I	2
INSTITUTO DE ECOLOGÍA	1	1	1	SECTOR V	0
RECTORÍA	1	1	1	SECTOR II	Por Medir
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES	3	3	2	SECTOR III	Por Medir
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS	1	1	1	SECTOR V	Por Medir
DIRECCIÓN GENERAL DE ACTIVIDADES CINEMATOGRÁFICAS	1	1	1	SECTOR III	Por Medir
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS	1	1	1	SECTOR IV	Por Medir
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOLÓGICAS	1	1	1	SECTOR V	Por Medir
TOTAL	49	48	46		

Tabla 8 . Dependencias con medidor por Instalar.

ENTIDADES CON MEDIDORES POR INSTALAR Actualizada hasta 25 01 10					
DEPENDENCIAS	MEDIDORES			SECTOR	Edificios con Fuga
	Proyectados	Entregados	Instalados		
INSTITUTO DE INVESTIGACION DE MATERIALES	1	1	0	SECTOR III	Por Medir
FACULTAD DE INGENIERIA	7	7	0	SECTOR II	Por Medir
UNIDAD DE SEMINARIOS "DR. IGNACIO CHÁVEZ"	1	1	0	SECTOR V	Por Medir
JARDÍN BOTÁNICO	1	1	0	SECTOR V	Por Medir
COORDINACIÓN DE POSGRADO	3	1	0	SECTOR I	Por Medir
DGSCA	2	2	0	SECTOR V	Por Medir
INSTITUTO DE BIOLOGÍA	1	1	0	SECTOR V	Por Medir
FACULTAD DE VETERINARIA	1	1	0	SECTOR I	Por Medir
IIMAS	2	2	0	SECTOR I	Por Medir
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA	2	2	0	SECTOR I	Por Medir
INSTITUTO DE MATEMÁTICAS	1	1	0	SECTOR I	Por Medir
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS	1	1	0	SECTOR III	Por Medir
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES	4	4	0	SECTOR III	Por Medir
CELE	1	1	0	SECTOR I	Por Medir
CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA	2	2	0	SECTOR I	Por Medir
PUMA	1	1	0	SECTOR I	Por Medir
UNIVERSUM	2	2	0	SECTOR V	Por Medir
FACULTAD DE DERECHO	5	5	0	SECTOR I	Por Medir
MUAC	1	1	0	SECTOR V	Por Medir
TOTAL	39	37	0		

Para la selección de los diámetros de los medidores instalados se siguieron los criterios establecidos en el Manual de Selección, Instalación y Mantenimiento de Medidores de Agua Fría elaborado por PUMAGUA, y que está disponible en la página Web de PUMAGUA.

Análisis de información

Contando con estos 48 medidores instalados y con las mediciones hasta el momento disponibles, se ha iniciado un primer análisis de la información que ha mostrado los patrones de consumo en diferentes tipos de dependencias universitarias o tipos de usuario presentes en el campus; además, ha permitido calcular consumos per cápita para usuarios en diferentes tipos de dependencias y por sector hidráulico. Los análisis muestran los consumos mensuales por dependencia, lo que permite establecer patrones de tipo estacional de suministro de agua y, al mismo tiempo, evaluar las reducciones de pérdidas ante la instrumentación de medidas de reducción de fugas en el interior de sus instalaciones. También ha sido posible medir las pérdidas de agua ocasionadas por fugas y el mal uso que se da al líquido en el interior de cada instalación.

Tipos de usuario

El modo y la cantidad de agua utilizadas por las diferentes dependencias de C.U. cambia en función de las actividades que se llevan a cabo en las instalaciones de cada una de ellas; por ejemplo, una dependencia de tipo administrativo utiliza el agua en modo muy diferente a una dependencia de tipo académico. Estas divergencias en cuanto a la forma y cantidad de agua fundamentan lo que se ha convenido denominar “tipo de usuario”. Un tipo de usuario se describe como la actividad a la cual está dedicada una dependencia universitaria, o bien, en la cual muestra una mayor tendencia. PUMAGUA ha definido cinco tipos de usuario con fines meramente de clasificación y análisis, todos ellos presentes en Ciudad Universitaria:

- ✓ Académico (Usuario tipo A),
- ✓ Investigación (Usuario tipo B),
- ✓ Cultural (Usuario tipo C),
- ✓ Administrativo (Usuario tipo D) y
- ✓ Servicios (Usuario tipo E).

Patrón de suministro de agua

La clasificación anteriormente mostrada resulta útil dada la relación que existe entre un tipo de usuario, el modo y, en consecuencia, la cantidad de agua usada por éste. Mediciones recientes hechas por PUMAGUA muestran que un usuario dedicado a la investigación consume hasta cinco veces más agua que un usuario administrativo. Así, al identificar la tendencia de usuarios dentro de un sector hidráulico y correlacionarla con la cantidad de agua que éstos consumen, se obtiene una idea del modo y cantidad de agua empleada dentro de este sector. Los patrones de suministro de cada tipo de usuario se muestran en la siguiente figura

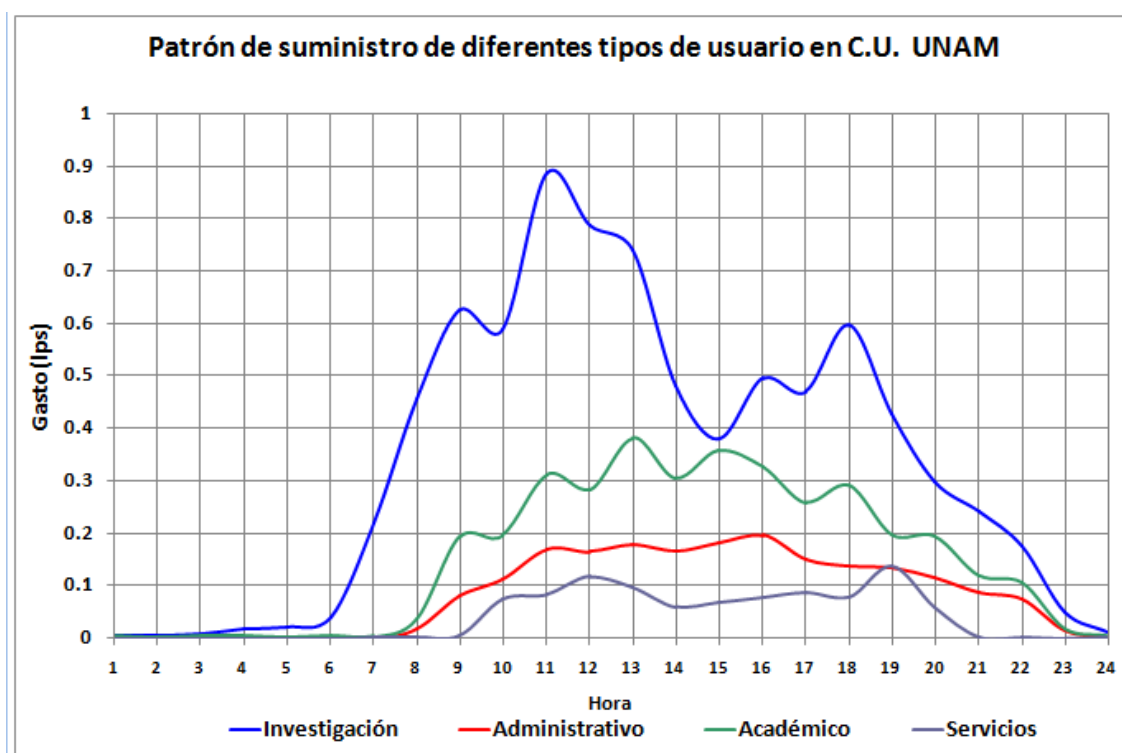


Figura 30. Patrón de consumo para diferentes tipos de usuario presentes en Ciudad Universitaria de la UNAM.

Para este análisis se tomaron las mediciones de un edificio por cada tipo de usuario definido y se obtuvo un patrón promedio, el cual fue comparado con los patrones de los demás usuarios. Los resultados indican que, por ejemplo, una dependencia dedicada a la investigación consume tres veces más agua que una dependencia académica, tres y media veces más que una dependencia administrativa y hasta cinco veces más que una dependencia de servicios, como lo es un comedor o una biblioteca. La razón de ello puede deberse a que en una dependencia

dedicada a la investigación se cuenta con gran número de equipos de laboratorio que demandan agua durante las 24 horas del día, o bien, que estos equipos demandan una gran cantidad de agua cuando operan. En cambio, en una dependencia exclusivamente académica y administrativa el agua se utiliza mayoritariamente en los sanitarios por parte de los alumnos y personal del edificio. Un usuario de servicios emplea la mayor parte del agua una vez terminada la hora de la comida o cuando es necesario lavar los utensilios del establecimiento.

En términos generales, la demanda de agua por parte de los diferentes tipos de usuario se expresa de la siguiente manera: de las 00:00 hrs a las 7:00 hrs se presenta el 1.21% de la demanda, en tanto que de las 07:00 hrs a las 22:00 hrs el 98.23%, y de las 22:00 hrs a las 24:00 hrs el 0.57%, tal y como lo muestran la Figura 80 y Tabla 30.

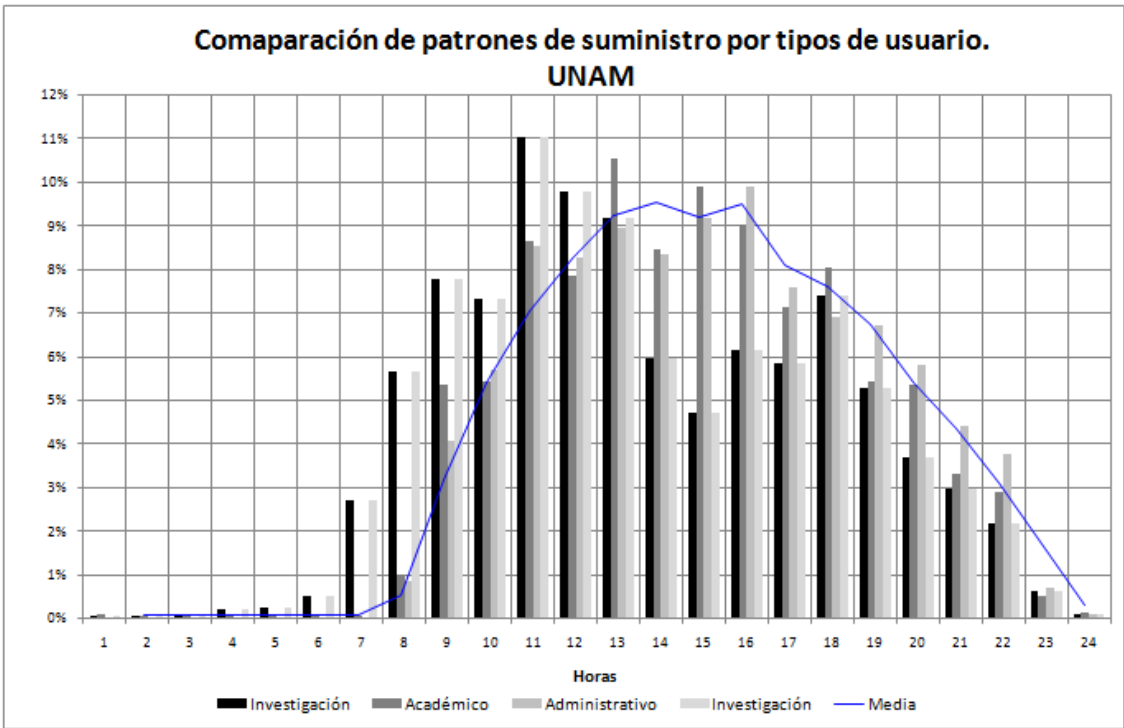


Figura 31. Comparación de suministro horario por tipo de usuario en términos del total del suministro por tipo de usuario. De las 0:00 hrs a las 7:00 hrs se presenta el 1.21 % de la demanda; de las 7:01 hrs a las 22:00 hrs el 98.23 % y de las 22:01 hrs a las 23:59 hrs el 0.57%.

La Figura 80 muestra la comparación horaria del suministro en términos del volumen total suministrado a cada tipo de usuario. Es de notar que la demanda se concentra principalmente de las 07:00 hrs a las 22:00 hrs. La media móvil muestra precisamente las horas de mayor

demanda a lo largo del día. La desviación estándar resultante sugiere una dispersión de los datos con respecto al valor promedio (media) cercana a cero, por lo que la media es representativa de la demanda en los diferentes tipo de usuarios. ($\sigma = 0.03990$)

Tabla 9 . Variación de la demanda Horaria

Usuario	Variación de la demanda		
	0:00 - 07:00 hrs	07:00 - 22:00 hrs	22:01 - 23:59 hrs
Académico	0.71%	98.61%	0.68%
Investigación	4.01%	95.23%	0.76%
Administrativo	0.05%	99.16%	0.79%
Servicios	0.05%	99.90%	0.05%
	1.21%	98.23%	0.57%

Coefficientes de Variación Horaria

De acuerdo con el análisis realizado, se cuenta con los coeficientes de variación que se derivan de la fluctuación de la demanda debido a las actividades desarrolladas en cada dependencia. Los requerimientos de agua dentro de cada instalación no son constantes durante el año ni el día, sino que la demanda varía en forma horaria y diaria. En atención a la importancia de estas fluctuaciones, es necesario obtener el gasto máximo horario, el cual se determina multiplicando el coeficiente de variación horaria por el gasto medio diario (Ecuación 1). La Comisión Nacional del Agua publicó valores para este coeficiente resultando éste de 1.55.

$$Q_{max} = C_{vh} Q_{med}$$

Ecuación 1

Donde:

Q_{max} = Gasto máximo horario, en litros/segundo

Q_{med} = Gasto medio diario, en litros/segundo

C_{vh} = Coeficiente de Variación horaria

Con los análisis elaborados, PUMAGUA ha obtenido los valores de estos coeficientes para los diferentes tipos de usuario ya previamente mencionados, y se calcularon a partir de la Ecuación 2.

$$C_{vd} = \frac{Q_{max}}{Q_{med}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Estos coeficientes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10 . Coeficientes de Variación horaria obtenidos por PUMAGUA.

Usuario	Cvd
Académico	2.53
Investigación	2.65
Administrativo	2.37
Servicios	2.62
Promedio	2.54

En el caso del usuario de tipo C, Cultural, de momento no se dispone de información que sirva de base para el cálculo de este coeficiente.

Suministros nocturnos y cuantificación de Fugas

Con la información de los 48 medidores instalados es posible cuantificar las fugas dentro de los edificios; para ello se recurre generalmente a la curva de medición obtenida a partir de la información que almacena cada medidor. Existe otra manera de conocer si en un edificio existe una fuga, la cual consiste en hacer la verificación con un equipo portátil de recolección de datos (Trimble Ranger, de la empresa Badger Meter), que es útil para recolectar lecturas de medidores equipados con un transmisor de radio. El transmisor posee un algoritmo que envía una señal de “fuga potencial” cuando el medidor que se pretende leer no ha dejado de operar al menos 24 horas continuas. Esta misma señal la recibe el equipo central, en donde se recolectan las lecturas de los diversos medidores instalados. La posible fuga se comprueba una vez descargada la información del medidor.

Con la curva horaria obtenida a partir de la información de un medidor, es posible notar un consumo continuo durante 24 horas. Esto es lógico en el caso de un edificio en donde existen equipos que demandan agua precisamente durante 24 horas, pero no en edificios en donde las

actividades se desarrollan exclusivamente durante el día. Cuando éste es el caso, se dice que el edificio cuenta con una fuga en su interior, y una forma de cuantificar esta fuga es a partir del suministro nocturno, que es aquel suministro registrado por el medidor desde las 00:00 hrs a las 07:00 hrs, cuando, según los patrones de suministro obtenidos, se presenta sólo el 1.21% del total de la demanda; no obstante, una fuga ocurre continuamente durante las 24 horas del día, por lo que su cuantificación a partir del suministro nocturno se expresa con la siguiente relación:

$$Q_{fuga} = \left(\frac{24}{7}\right) Q_{nocturno} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Q_{fuga} = Gasto de fuga, en litros/segundo

$Q_{nocturno}$ = Gasto nocturno, en litros/segundo

Consumos per cápita

Con el análisis antes descrito, es posible obtener el consumo per cápita, que es la cantidad de agua asignada a cada usuario, considerando todos los consumos y sin tomar en cuenta las pérdidas físicas; sus unidades están dadas en litros/habitante/día.

El consumo per cápita por cada tipo de usuario se obtiene dividiendo el consumo total por tipo de usuario (administrativo, académico, cultural, investigación y de servicios) entre el número de habitantes. Como cada tipo de usuario tiene una cantidad de población muy diferente, se tomaron consumos per cápita promedio por tipo de usuario. La **Tabla 28** muestra los consumos per cápita promedio por tipo de usuarios obtenidos hasta el momento por PUMAGUA.

Tabla 11 . Consumos per cápita promedio por tipo de usuario.

Tipo de Usuario	Consumo per cápita (l/hab/día)
Académico	13.35
Administrativo	46.10
Investigación	15.00
Servicios	21.00

Es importante hacer notar que los consumos per cápita no reflejan en modo alguno una relación con los patrones de suministro mostrados anteriormente. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que aunque los consumos per cápita no están relacionados con los patrones de suministro, sí lo están, y de manera muy estrecha, con la población de cada uno de ellos. De esta manera, en un usuario de tipo académico existe una mayor población que en un usuario de tipo investigación, aunque la estancia del primero en el edificio es relativamente más corta, lo cual se ve compensado si consideramos la existencia de más de un turno en estas dependencias. Un consumo per cápita administrativo mucho mayor se explica por el tiempo que permanece este tipo de usuario dentro de un edificio.

La instalación de medidores ha permitido detectar fugas en el interior de las dependencias y ha sido posible cuantificarlas a partir del suministro nocturno (Ecuación 3). Se cuenta con medición desde abril de 2009 con un total de 39,192 m³ de agua, de los cuales se han perdido en fugas 9,986 m³, que representan el 25% del caudal suministrado a los edificios. El 60 % de estas pérdidas, en relación al volumen total medido, se concentran tan sólo en dos entidades. En la primera columna, de izquierda a derecha, de la tabla 33, se muestra el total de metros cúbicos medidos, la segunda el volumen medido de fugas, la tercera muestra el porcentaje de fugas respecto al volumen medido de su edificio y la cuarta columna muestra el porcentaje de fugas en relación al volumen total medido.

Mensualmente, PUMAGUA envía un reporte de suministro de agua a dependencias que cuentan con medidor instalado, la manera de interpretar los reportes de suministro de agua se ilustra a manera de ejemplo con el reporte enviado al Instituto de Geología. Los reportes a las demás entidades son similares.

Resumen

Todos los reportes de suministro de agua contienen en la primera hoja un resumen de las mediciones promedio del edificio. Esta hoja consta de 4 columnas, la primera de ellas (de izquierda a derecha) representa el suministro promedio de agua de lunes a viernes, la segunda y tercera columna el suministro promedio durante sábados y domingos, respectivamente y la cuarta columna muestra la magnitud de fugas de agua.

Son promedios las primeras tres columnas debido a que el suministro de agua fluctúa dependiendo del día y la hora. La magnitud de las fugas en caso de presentarse, es constante durante todo el tiempo a menos que la presión en la red se incremente o bien, surjan nuevas fugas al interior del edificio. Lo anterior se ve reflejado en los registros del medidor toda vez que se registra un incremento en la magnitud del caudal base, que es aquel caudal diferente de cero que el medidor registra durante todo el día.

En esta hoja se incluye el periodo de medición que es el lapso de tiempo en que se reportan las mediciones, así como el nombre de la entidad a la cual se reporta el suministro de agua. De lado derecho se deja un espacio con la leyenda observaciones. Las unidades son metros cúbicos por día.

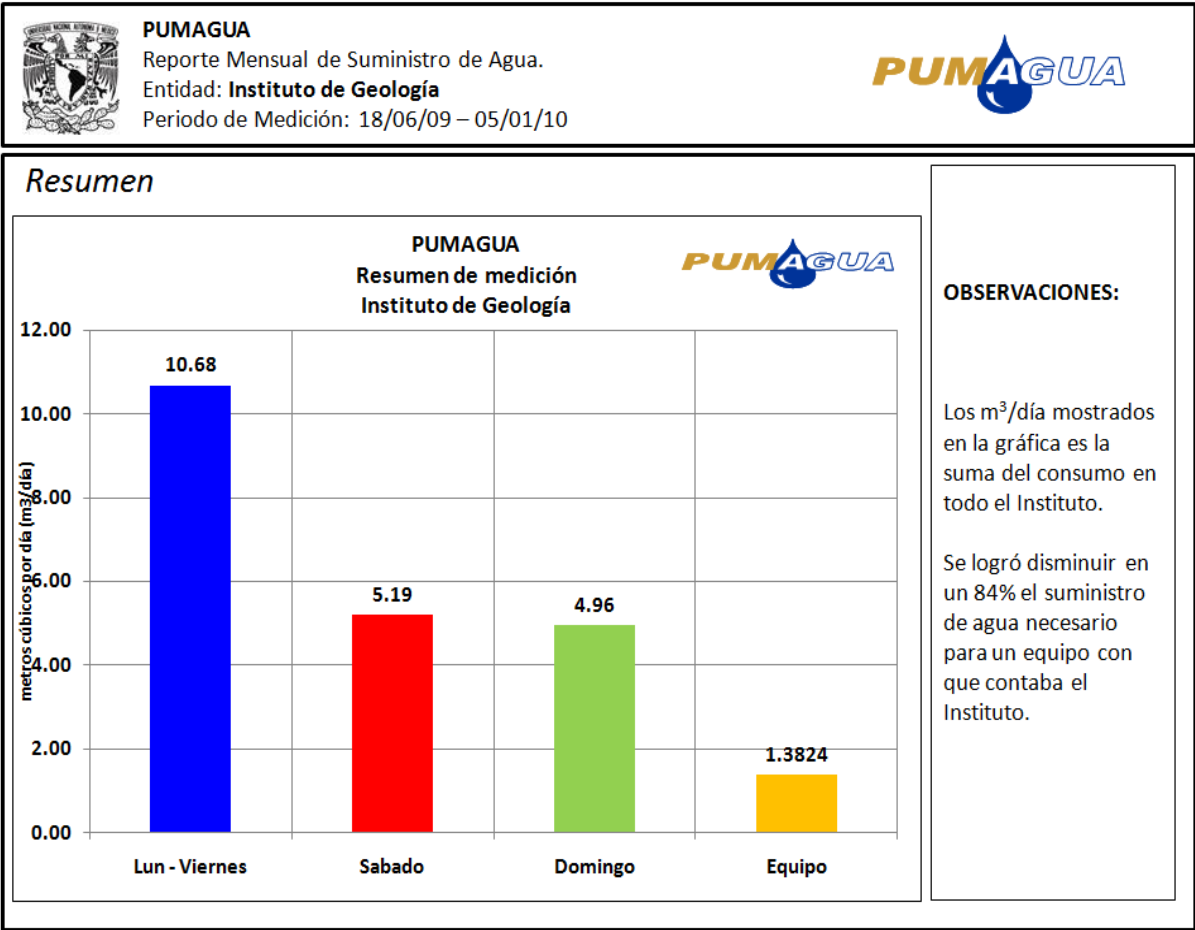


Figura 32. Informe de agua enviado por PUMAGUA a las dependencias que cuentan con medidor instalado.

La segunda hoja del reporte consta de la suma del suministro que por mes ingresa al edificio. En esta hoja cada barra representa los metros cúbicos de agua que ingresaron al edificio por cada mes. Cuando la medición inició en un día diferente al primero se indica la fecha en que el medidor comenzó a registrar lecturas. Las unidades son metros cúbicos por mes.

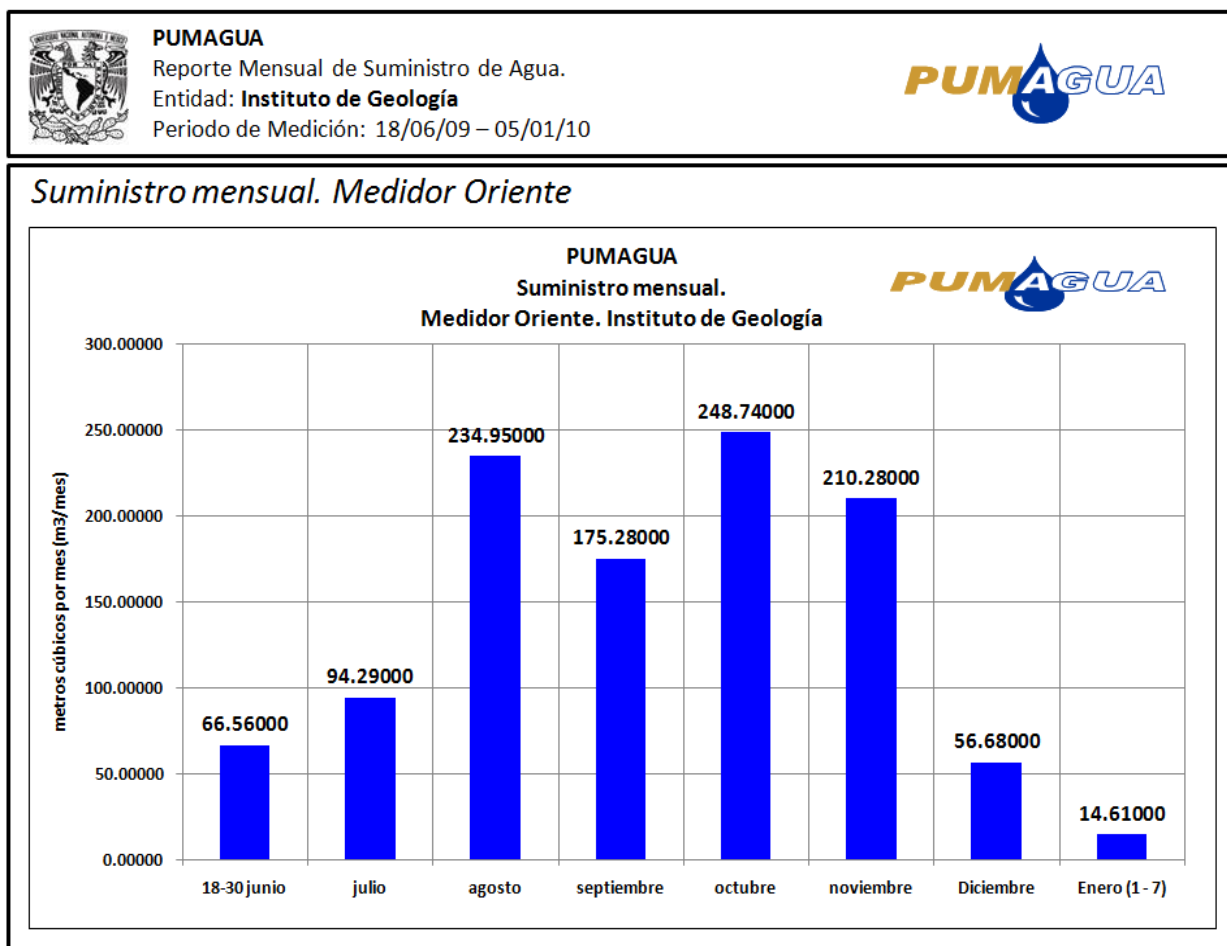


Figura 33. Reporte del suministro mensual.

La tercera hoja del reporte consta de la suma del suministro de agua que por día ingresa al edificio. En esta hoja cada barra representa los metros cúbicos de agua que ingresaron al edificio por cada día. Las unidades son metros cúbicos por día

En la cuarta hoja se muestran propiamente la fluctuación de la demanda de agua por día y por hora, y es además posible identificar posibles fugas en un edificio, esto último se logra visualizando si en la gráfica existe un caudal diferente de cero (caudal base) en las mediciones. Generalmente en edificios con laboratorios se emplean equipos que demandan agua durante las 24 horas del día, por lo que el caudal instantáneo diferente de cero no puede considerarse

fuga, más bien se le considera como pérdida asociada a un mal uso. En esta hoja se colocan los valores del gasto máximo, $Q_{\text{máximo}}$, medio, Q_{medio} y mínimo, $Q_{\text{mínimo}}$, de las lecturas. Al gasto mínimo suele asociarse el valor del caudal base; aunque no siempre es así, es por ello que se recomienda revisar particularmente esta gráfica a modo de visualizar caudales base distintos de cero, este caudal, dicho sea de paso, lo representan las fugas. Las unidades son litros por segundo.

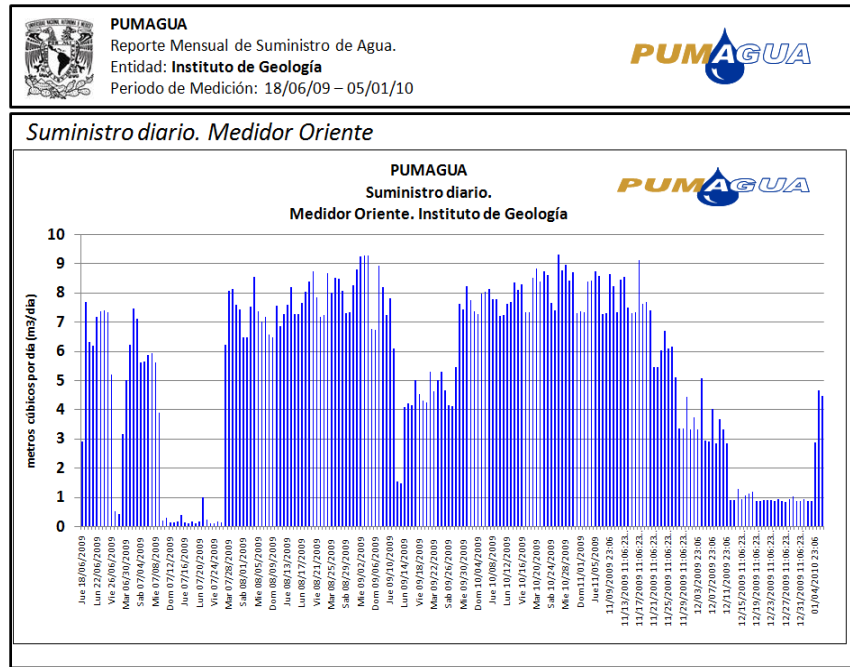


Figura 34. Reporte del suministro diario a entidades.

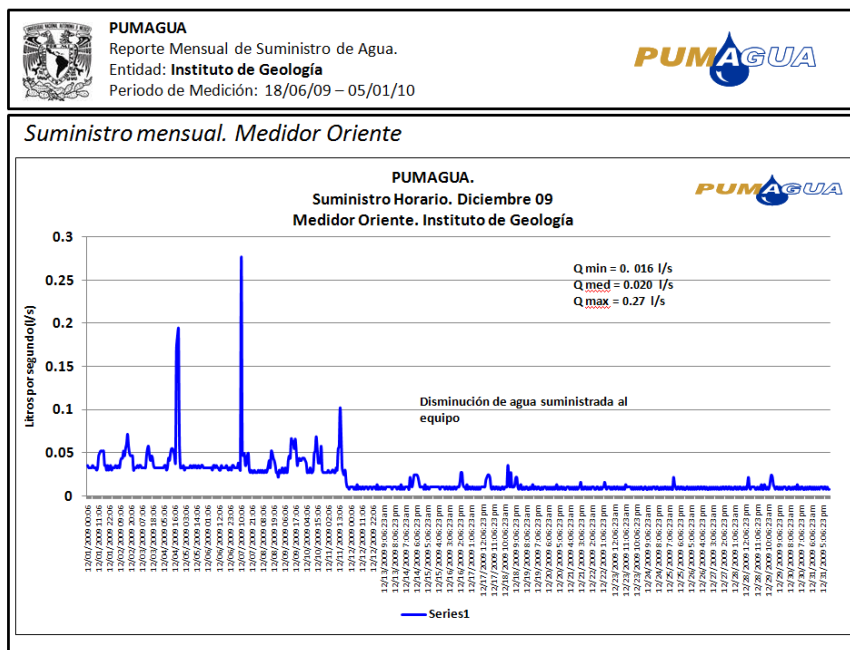


Figura 35. Reporte de suministro instantáneo. Es posible identificar descensos en fugas o cambios en el uso del agua con esta gráfica.

Tabla 12 . Totalizador de mediciones con los equipos instalados.

Mediciones Actualizadas hasta el 5 de Enero de 2010				
Entidad	Volumen medido (m ³)	Volumen Fugas (m ³)	Porcentaje respecto volumen medido (%)	Porcentaje respecto al volumen total medido (%)
Instituto de Investigaciones Biomédicas	1437.0	173.9	12.1%	1.7%
Filmoteca	4312.9	2889.7	67.0%	28.9%
Instituto de Ecología	509.4	21.6	4.2%	0.2%
<i>Instituto de Química</i>				
Edificio A.	1621.7	402.7	24.8%	4.0%
Edificio B.	882.4	467.7	53.0%	4.7%
Edificio C.	861.6	0.0	0.0%	0.0%
<i>Instituto de Geofísica</i>				
Medidor Poniente.	583.7	0.0	0.0%	0.0%
Medidor Oriente.	184.9	53.6	29.0%	0.5%
Edificio Anexo.	225.5	0.0	0.0%	0.0%
<i>Instituto de Geología</i>				
Medidor Poniente	739.0	0.0	0.0%	0.0%
Medidor Oriente	1101.4	0.0	0.0%	0.0%
Instituto de Investigaciones Económicas	1762.8	6.7	0.4%	0.1%
Instituto de Investigaciones Filológicas	1405.1	140.5	10.0%	1.4%
Instituto de Investigaciones Jurídicas	391.3	0.0	0.0%	0.0%
<i>Facultad de Veterinaria</i>				
Edificio 1 Norte.	138.6	0.0	0.0%	0.0%
Edificio 1 Sur.	1135.4	0.0	0.0%	0.0%
Edificio 2.	2144.3	107.2	5.0%	1.1%
Edificio 3.	2435.8	701.0	28.8%	7.0%
Edificio 4. Posgrado	439.4	0.0	0.0%	0.0%
Edificio 5.	111.9	0.0	0.0%	0.0%
Edificio 6.	1960.6	196.1	10.0%	2.0%
Edificio 9.	334.5	0.0	0.0%	0.0%
Edificio 10.	3860.5	3088.4	80.0%	30.9%
Edificios 11 y 12.	785.2	549.6	70.0%	5.5%
<i>Instituto de Ingeniería</i>				
Edificios 1 y 7.	1234.0	148.1	12.0%	1.5%
Edificio 2.	349.3	0.0	0.0%	0.0%
Edificio 3.	354.4	109.9	31.0%	1.1%
Edificio 6.	708.4	77.9	11.0%	0.8%
Edificio 8.	216.7	110.5	51.0%	1.1%
Edificios 12 y 18.	1047.2	109.4	10.5%	1.1%
Edificio 13.	87.1	43.5	50.0%	0.4%
Edificio 5.	2696.0	161.8	6.0%	1.6%
Edificio 4.	160.0	3.2	2.0%	0.0%
Torre de Ingeniería	2324.3	423.9	18.2%	4.2%
Azul y Oro	650.1	0.0	0.0%	0.0%
TOTAL	39192.2	9986.8		
Poncentaje de pérdidas	25.5%			

3.4.3.- Medición de pérdidas en la red.

La medición de pérdidas en la red de distribución fue posible luego de la ejecución de las siguientes acciones:

- a) Se aislaron los cinco Sectores Hidráulicos, cerrando todas las válvulas de seccionamiento que lo aislaban y se comprobó que no existiera algún otro suministro de agua por algún punto desconocido por los operadores de la red debido a tuberías que no estén indicadas en el plano.
- b) Se hizo una prueba de presión cero en sector hidráulico I, para evitar que se purgue la tubería.
- c) Una vez verificado cada sector, se instaló un medidor portátil ultrasónico en el punto donde se propone instalar la VRP, al menos siete días consecutivos o bien se hicieron mediciones en horarios en donde el consumo de agua por parte de los usuarios fuera mínimo, por ejemplo, en días domingo o periodos vacacionales.
- d) En las mediciones hechas en los sectores I y V, respectivamente fue necesario dejar el equipo de medición durante varios días y quedó en resguardo de personal de la DGOyC mismos que, cada diez minutos, tomaron y anotaron lectura en formatos proporcionados por PUMAGUA
- e) Finalmente, en gabinete se analizó la información de cada una de las mediciones.

La modelación matemática mostró la conveniencia de sectorizar la red de agua potable de Ciudad Universitaria. La característica de los Sectores Hidráulicos propuestos es que el suministro de agua se da sólo por un solo tubo definido a través de la modelación, al ser este el único medio de suministro es posible la medición de los caudales demandados para consumo así como de las pérdidas de agua. Para ello, se llevó a cabo un programa de medición en los sectores desde Mayo pasado. Las mediciones se iniciaron en fines de semana entre las 9:30 y las 15:00 horas (Generalmente días domingo) debido a que en estos días las actividades en el campus se ven disminuidas de manear muy considerable como lo es el caso de los sectores I, II y III, exceptuando, por supuesto, el sector V (Zona cultural del campus) en el cual la actividad

se incrementa precisamente en estos días, en consecuencia, las mediciones iniciaron en un viernes por la mañana y concluyeron un lunes por la tarde. Esta misma situación la comparte el sector IV (Estadio olímpico); no obstante se decidió medir en este sector en un fin de semana en la cual no hubiera actividad en el estadio a modo de medir pérdidas exclusivamente

En los sectores I y V fue necesaria la colocación del equipo portátil 6 y 4 días, respectivamente, en tanto que la medición en los sectores II, III y IV se realizó por espacio de dos horas. Adicionalmente, se volvió a medir durante las vacaciones administrativas de Julio y Agosto pasado con el fin de confirmar los caudales identificados como fugas.

Las mediciones en los sectores se llevaron a cabo con un medidor ultrasónico portátil, que cuenta con un rango de precisión de $\pm 0.5\%$ y ha resultado útil para medir caudales en los diversos tipos de material presentes en las tomas y la red de distribución de Ciudad Universitaria. Para la colocación del medidor fue necesario contar con un tramo recto de tubería que permitiera la colocación de los sensores sobre la tubería y, al mismo tiempo, garantizara un perfil de velocidades en el flujo del agua que hiciera posible la medición dentro del rango de precisión. En todos los casos la medición se hizo sobre un tramo recto con lo que se aseguraron las condiciones de medición demandadas por el equipo, ante lo cual fue necesaria la apertura de una zanja. Las características de las tuberías que alimentan a cada sector y que fueron programadas en el equipo se muestran la tabla 34.

La forma de distribución de agua potable en Ciudad Universitaria es en forma “mixta” debido a que tanto se suministra agua por gravedad, así como por bombeo directo a la red. Esta forma de operación, según diversos estudios, no es la adecuada en un sistema de agua potable debido a que se reduce el tiempo de vida útil de los materiales de las tuberías hasta 10 veces, propiciando con ello una mayor frecuencia de rotura en las tuberías y en consecuencia una mayor cantidad de fugas. Durante las mediciones fue necesario garantizar el suministro de agua a la red por gravedad, de manera que cada derivación de las líneas de conducción hacia la red fue cerrada por personal de la DGOyC para garantizar que el caudal registrado en el equipo de medición representara el caudal que ingresa a cada sector.

Tabla 13 . Características de las tuberías que alimentan a cada sector hidráulico.

SECTOR	ENTRADA	CARACTERÍSTICAS	
		Diámetro (in)	Material
I	Facultad de Ingeniería	10	Acero al carbón
II	Tanque bajo	12	Acero al carbón
III	Pozo II	10	Acero al carbón
IV	Tanque alto	12	Acero al carbón
V	Tanque Vivero Alto	20	PEAD

Los resultados de las mediciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 14 . Características de las tuberías que alimentan a cada sector hidráulico.

SECTOR	Q_{FUGAS}	Vol_{FUGAS}
	l/s	m ³ /día
I	20	1,728.0
II	5	432.0
III	11	950.4
IV	1.6	138.2
V	13	1,123.2
Suma	50.6	4,371.84

Medición de pérdidas en el Sector Hidráulico I.

Para aislar el Sector Hidráulico I se cerraron un total de once válvulas de seccionamiento de modo que el suministro de agua fuera por sólo una tubería de 10", ubicada debajo de la facultad de Ingeniería.

Una vez aislado el Sector Hidráulico I se colocó un medidor portátil sobre tubería que suministra agua al sector. El equipo de medición fue colocado durante una semana en este sitio y personal de la DGOyC tomó e hizo registro de lectura de los caudales instantáneos que arroja el medidor. El medidor portátil cuenta con data logger o dispositivo almacenador de datos con el cual fue posible la medición tanto del consumo como de las pérdidas presentes en este sector (Ver Figura 85)

GASTOS MEDIDOS EN EL SECTOR 1

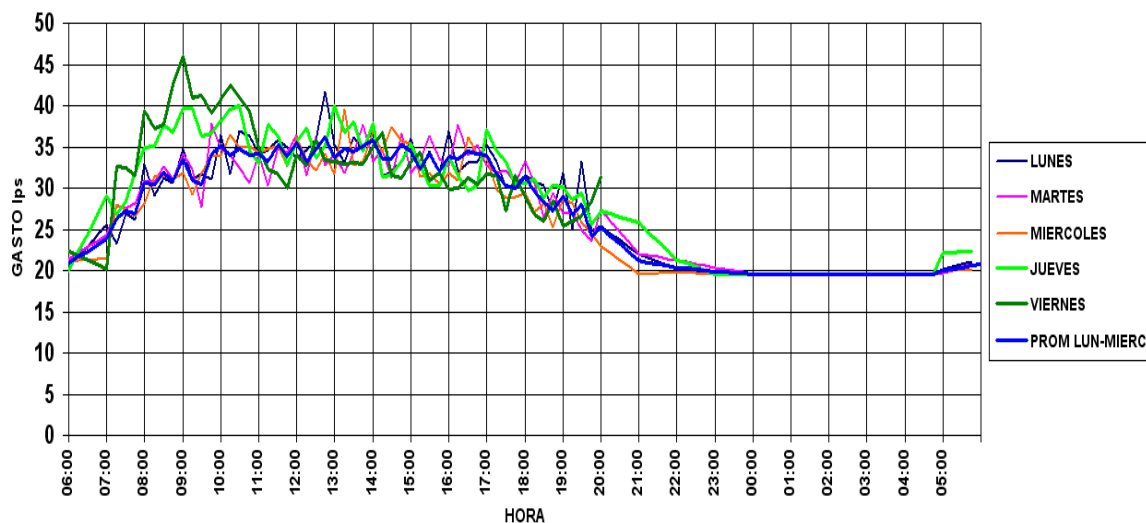


Figura 36. Gastos medidos en el sector I.

Las mediciones mostraron que en este sector se pierden 20 l/s, es decir, 1661 m³ de agua por día de los 2297 m³ que se suministran lo que representa una pérdida de hasta el 75% del suministro. Los picos que se observan durante la mañana los días jueves y viernes, son el reflejo del riego con agua potable. Este consumo es de 74 m³ durante las horas de riego equivalentes al 13% del consumo total en este sector que es de 562 m³ por día, siendo éste tan solo el 25% del suministro total del sector (2297 m³ por día) según las mediciones realizadas por PUMAGUA con apoyo de la Dirección General de Obras y Conservación. (Ver Figura 87)



Figura 37. Colocación de medidor para medición de pérdidas en los Sectores Hidráulicos de Ciudad Universitaria.

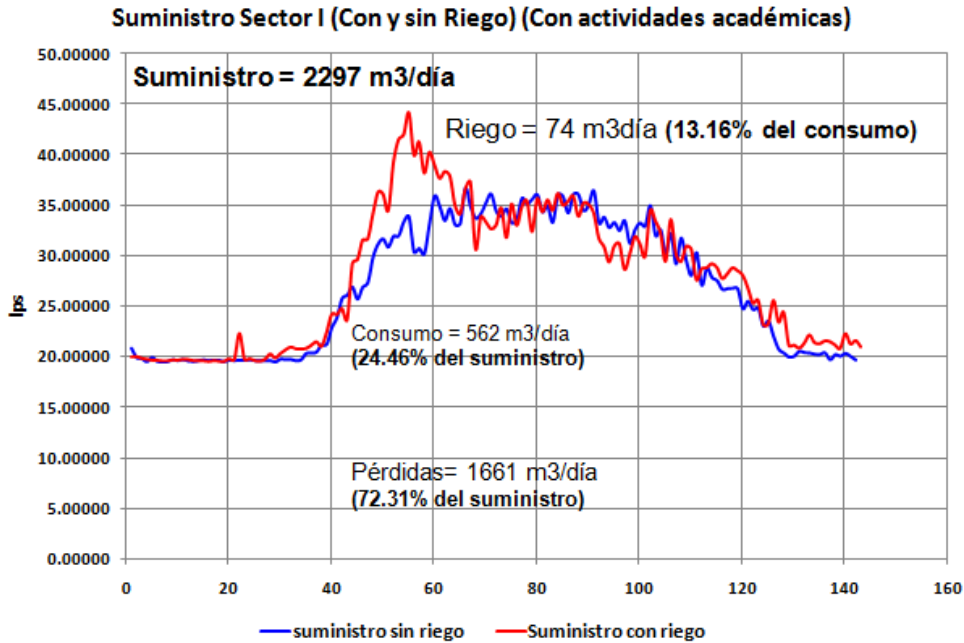


Figura 38. Suministro, Consumo y Pérdidas en el Sector Hidráulico I con y sin riego.

Medición de pérdidas en el Sector Hidráulico II.

Para aislar el Sector Hidráulico II y medir pérdidas se cerraron en total dos válvulas de seccionamiento de modo que el suministro fuera por una sola tubería Esta tubería es la misma que suministra agua al Sector Hidráulico I.

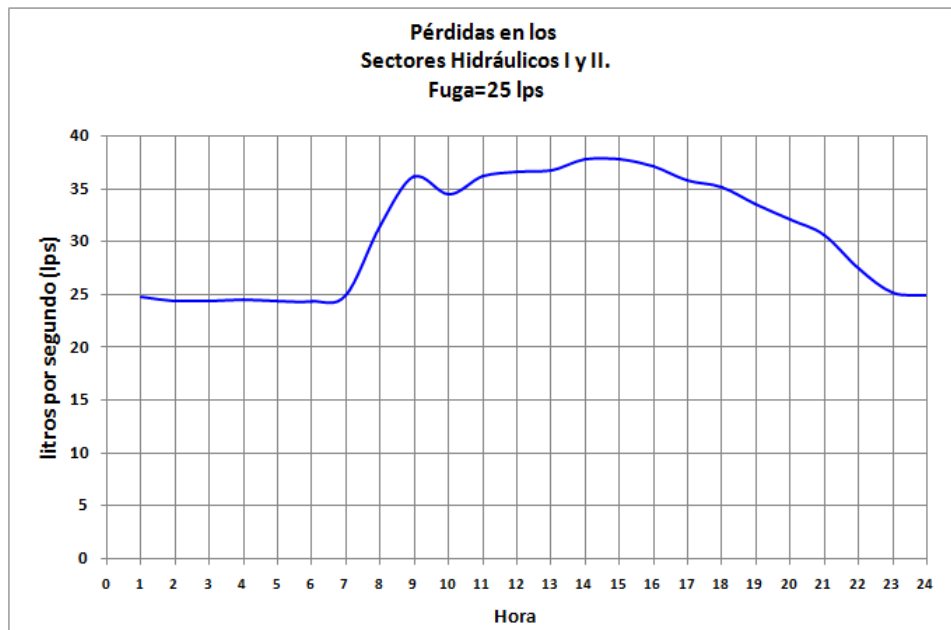


Figura 39. Medición de pérdidas en el sector II.

La figura 88 muestra el suministro de los sectores I y II con un gasto base de 25 l/s. Cabe señalar que la tubería que alimenta al Sector Hidráulico II también suministra agua al Sector Hidráulico I; por lo tanto, de los 25 l/s mostrados en la curva 20 l/s corresponden a las pérdidas del Sector Hidráulico I ubicado aguas abajo del sector II, de modo que las pérdidas en el Sector Hidráulico II resultan de 5 l/s.

Medición de pérdidas en el Sector Hidráulico III.

Para las mediciones en el Sector Hidráulico III fue necesario seccionar dos válvulas. Las pérdidas de agua en este sector ascienden a 11 l/s.

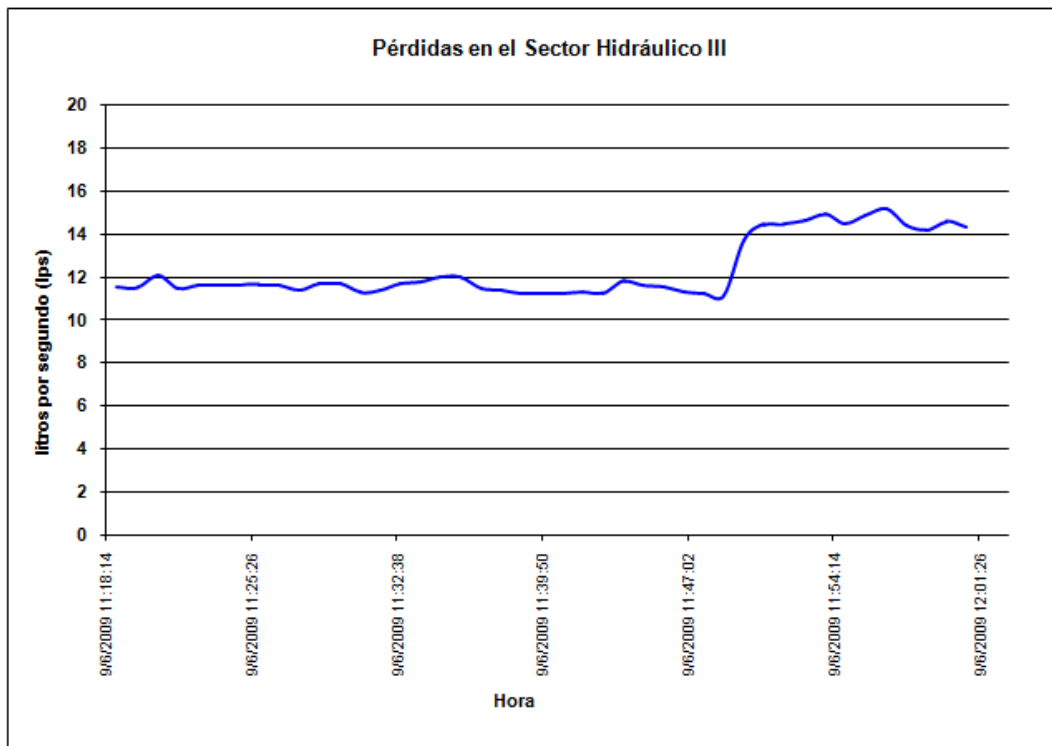


Figura 40. Pérdidas en el sector III.

Medición de pérdidas en el Sector Hidráulico IV.

Para medir las pérdidas de agua en el Sector Hidráulico IV no se requirió ningún cierre de válvulas para poder aislar el sector dado que este se alimenta directamente del Tanque Alto. Las mediciones mostraron que en este sector se pierden 1.6 l/s.

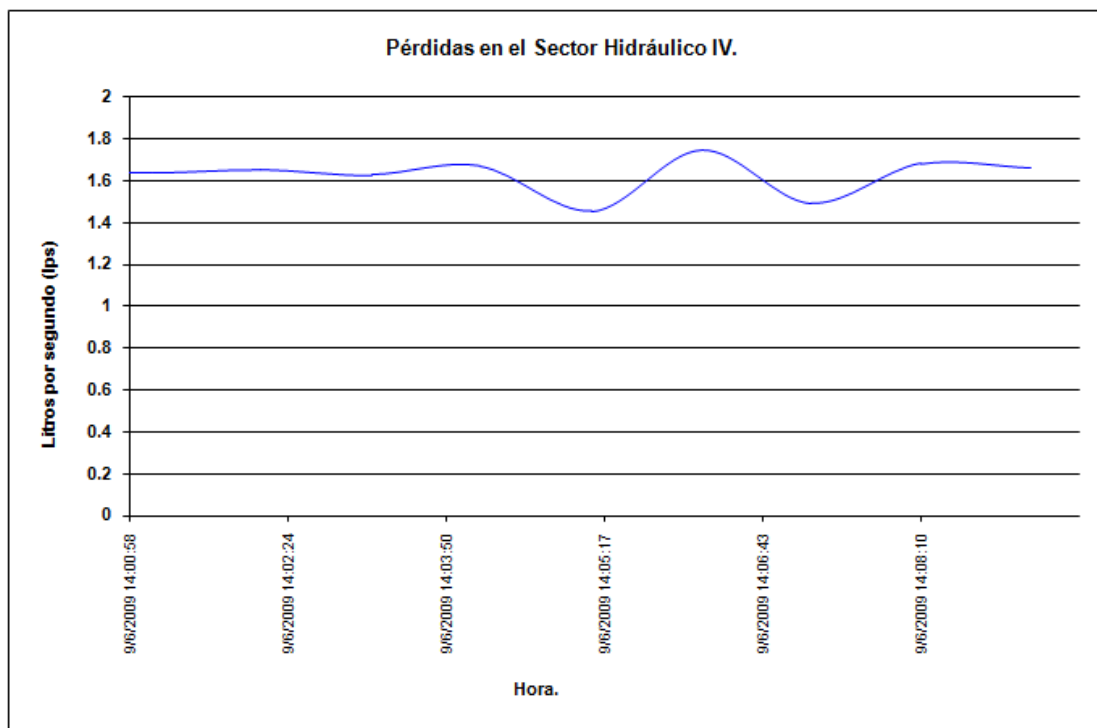


Figura 41. Pérdidas en el sector IV.

Medición de pérdidas en el Sector Hidráulico V.

Para la medición de las pérdidas de agua en el Sector Hidráulico V fue necesario el cierre de dos válvulas para aislarlo y garantizar que el suministro se hiciera sólo por gravedad. La medición en este sector mostró que en este sector se pierden 13 l/s.

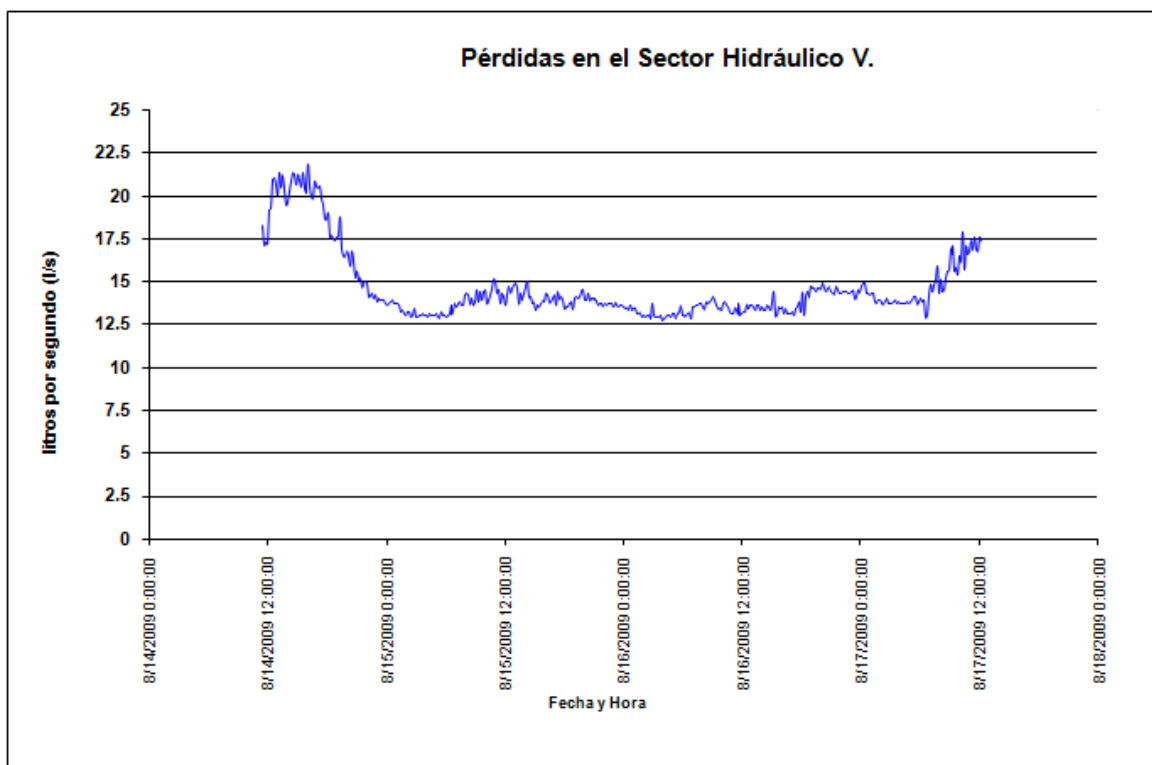


Figura 42. Pérdidas en el sector V.

En resumen, las mediciones realizadas en los cinco Sectores Hidráulicos confirman las hipótesis planteadas durante la etapa de diagnóstico. De acuerdo a las mediciones, la extracción promedio de agua de los pozos es de 100 l/s y máximo de 170 l/s. De los 100 l/s extraídos el 50% se pierde en fugas tanto en la red, como al interior de las instalaciones de las entidades universitarias. Las pérdidas actuales de agua son equivalentes a tirar toda el agua que se extrae del pozo III durante 24 horas del día. Mediciones recientes indican que 75% del agua se pierde en la red de distribución y 25% al interior de los edificios.

Las fugas en Ciudad Universitaria de la UNAM (50 l/s) equivalen a tirar 1.58 millones de metros cúbicos por año, lo que representa un costo para la Universidad estimado en 197.5 millones de pesos.

- Costo marginal del agua en el Valle de México = $\$15/\text{m}^3$
- Costo anual = $1.58 \text{ millones m}^3 * \$15/\text{m}^3 = \$23.7 \text{ millones/año}$
- Costo actualizado (tasa de 12%)= $\$197.5 \text{ millones}$
- En el área metropolitana se estiman
- Fugas de 24,000 l/s (valor $\$95,000 \text{ millones}$)

Se ha estimado que el costo de PUMAGUA es de 150 millones de pesos, lo que representa una relación beneficio costo de 1.31 y Tasa Interna de Retorno de menos de un año, lo que evidentemente lo vuelve en un programa altamente rentable, además de ser ejemplo en el uso eficiente de agua.

3.4.- MODELACIÓN DE LA RED CON Y SIN PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO.

Los modelos de simulación matemática son la base para el cálculo hidráulico para diferentes estados que se producen en una red de distribución. Del producto de estas simulaciones se extraen resultados que serán considerados en la planificación, operación y gestión de la red. Es importante tener en cuenta que el problema de análisis está resuelto actualmente a través de programas de cómputo sí se dispone de datos, situación que normalmente no ocurre. Para afrontar este tipo de obstáculos, el análisis hidráulico de las redes de distribución puede dividirse en dos: red de distribución nueva y otra aquella que se encuentre en servicio, tal es el caso de la red de agua potable de Ciudad Universitaria.

En caso de tener una red nueva, el problema se reduce considerablemente, ya que la información existente proviene de los parámetros de diseño, caso contrario ocurre con una red en servicio donde las dificultades se incrementan. Bajo estas circunstancias, los parámetros con los que se proyectó la red se han modificado por el propio funcionamiento de ésta. El conocimiento de qué parámetros y las circunstancias que hacen que varíen son fundamentales en el momento de estimarlos. En términos generales, el modelo se alimenta con los siguientes datos:

1. Datos de la infraestructura hidráulica:

- Trazo de la red
- Altimetría
- Material y diámetro de las tuberías
- Tanques (elevación y dimensiones)
- Válvulas: tipo y estado (cerrada, semiabierta o abierta)
- Bombas

2. Datos operacionales:

- Itinerario de operación de las bombas
- Tandeos
- Demanda de agua potable

En el modelo matemático de la red de distribución de Ciudad Universitaria parte de esta información se tomó del catastro de la infraestructura y mediciones de campo. El flujo en las redes de agua potable es no permanente durante todo el día debido a la variación horaria de la demanda, por lo que el tiempo es una variable fundamental en la modelación de redes de agua potable. Existen dos tipos de modelación: *estática y dinámica*.

1.- Modelación Estática o de flujo permanente

En este tipo de modelos se supone que los caudales demandados e inyectados permanecen constantes respecto al tiempo, no existen variaciones en la operación en la red, y el nivel en los tanques es fijo. Es cierto que las redes de distribución de agua potable no permanecen invariables a lo largo del tiempo, no obstante esta clase de modelos se emplean frecuentemente para analizar el comportamiento de la red con los caudales máximos horarios, y así someterlas a las condiciones más desfavorables.

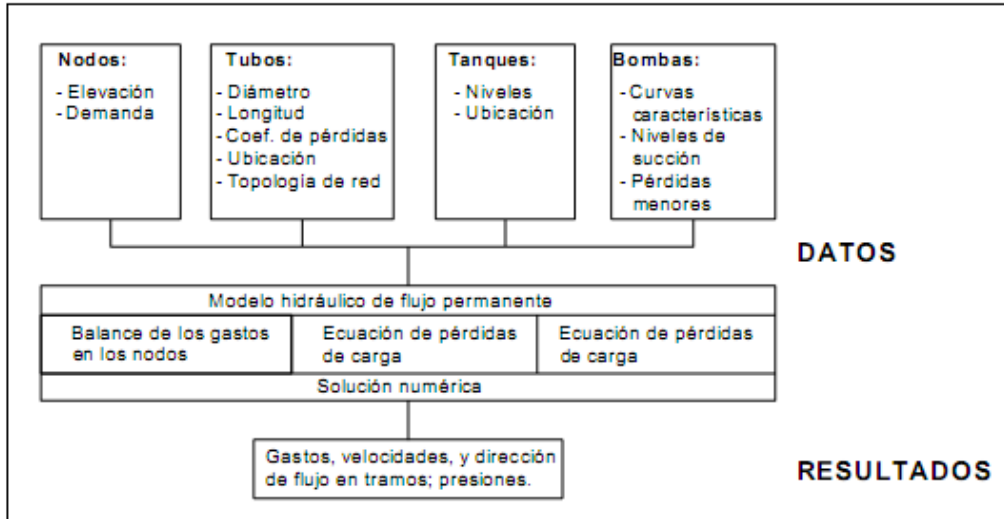


Figura 43. Diagrama de un modelo hidráulico de flujo permanente. FUENTE. MAPAS 2007. CONAGUA

2.- Dinámicos o de flujo no permanente

A diferencia de los modelos estáticos, en los modelos de tipo dinámico, se permite la variación temporal de caudales demandados e inyectados, condiciones operativas de la red y de los niveles en los tanques. Estos se consideran bajo ciertas restricciones, simular la evolución temporal de la red, en un intervalo determinado. Simulan una serie de estados permanentes sucesivos, bajo ciertas condiciones de frontera variables en el tiempo, de hecho éstas le dan el carácter dinámico al modelo (EPS por sus siglas en inglés, Extended Period Simulation). De forma general, el modelo EPS se basa en soluciones consecutivas de flujo permanente para cada hora del día u otro intervalo con la demanda correspondiente y el balance del volumen de agua en los tanques. Además de los datos iniciales que solicita el modelo de flujo permanente, un programa o software comercial de modelación de flujo cuasi-dinámico, requiere de los siguientes datos (Figura 93): a) Dimensiones de los tanques y b) Variación de la demanda dentro de las 24 horas del día.

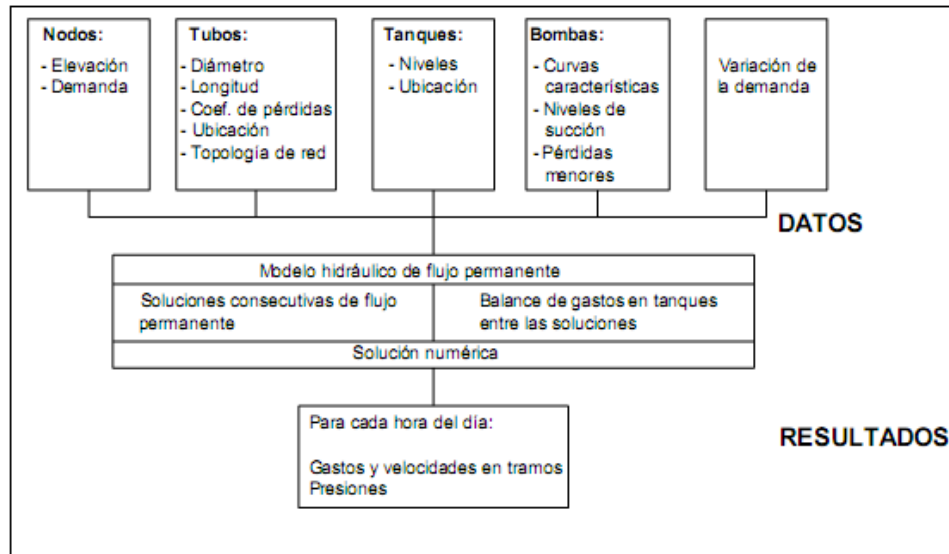


Figura 44. Diagrama de un modelo hidráulico de flujo no permanente. FUENTE. MAPAS 2007. CONAGUA

Simulación de la red de agua potable de Ciudad Universitaria sin propuestas de mejoramiento.

Como parte del diagnóstico inicial de la red de agua potable, es deseable simular mediante un modelo matemático el funcionamiento actual de la red, el cual refleje las características hidráulicas actuales del sistema que permitan ser confirmadas con mediciones obtenidas en campo. Para realizar la simulación se utilizó el software EPANET, que por sus características (rápido, amigable y disponibilidad) ha permitido la simulación de los diferentes escenarios de operación del sistema de abastecimiento que se presentan en la realidad y también la simulación de nuevas propuestas para un mejor funcionamiento.

EPANET es un software de modelación hidráulica capaz de predecir parámetros tales como la presión, las pérdidas de carga, los niveles en los tanques, curvas de balance de caudales producidos contra los consumidos, comportamiento de la demanda, mapas de isolíneas de presión, la velocidad, y caudal en distintos nodos de la red.

Para la simulación de la situación actual de la red de distribución de agua potable de Ciudad Universitaria se tomó como base la información concentrada durante la etapa de diagnóstico y contenida grosso modo en la sección 2.2 de esta tesis, donde se describe todos los componentes del sistema así como el análisis histórico de los registros de cada uno de ellos y

las políticas actuales de operación. Para llevar a cabo la simulación fue necesario hacer las siguientes suposiciones:

- La población por cada edificio, para una misma dependencia, se distribuyó de manera proporcional y en función de la población total, tomada de la Agenda estadística 2007 de la UNAM;
- Se infirió la población en el caso del personal administrativo para cada dependencia y a su vez para cada edificio;
- Los consumos por tipo de población se basaron en el manual de CNA y se modificaron para Ciudad Universitaria;
- Se consideró un nodo de consumo en cada edificio de cada dependencia;
- Se aplicó la misma curva de variación horaria a todos los edificios;
- A reserva de medir, las fugas consideradas se basaron en los datos aproximados de consumo en tanques y pozos;
- La topografía utilizada se obtuvo de los resultados entregados por parte de la Facultad de Ingeniería.

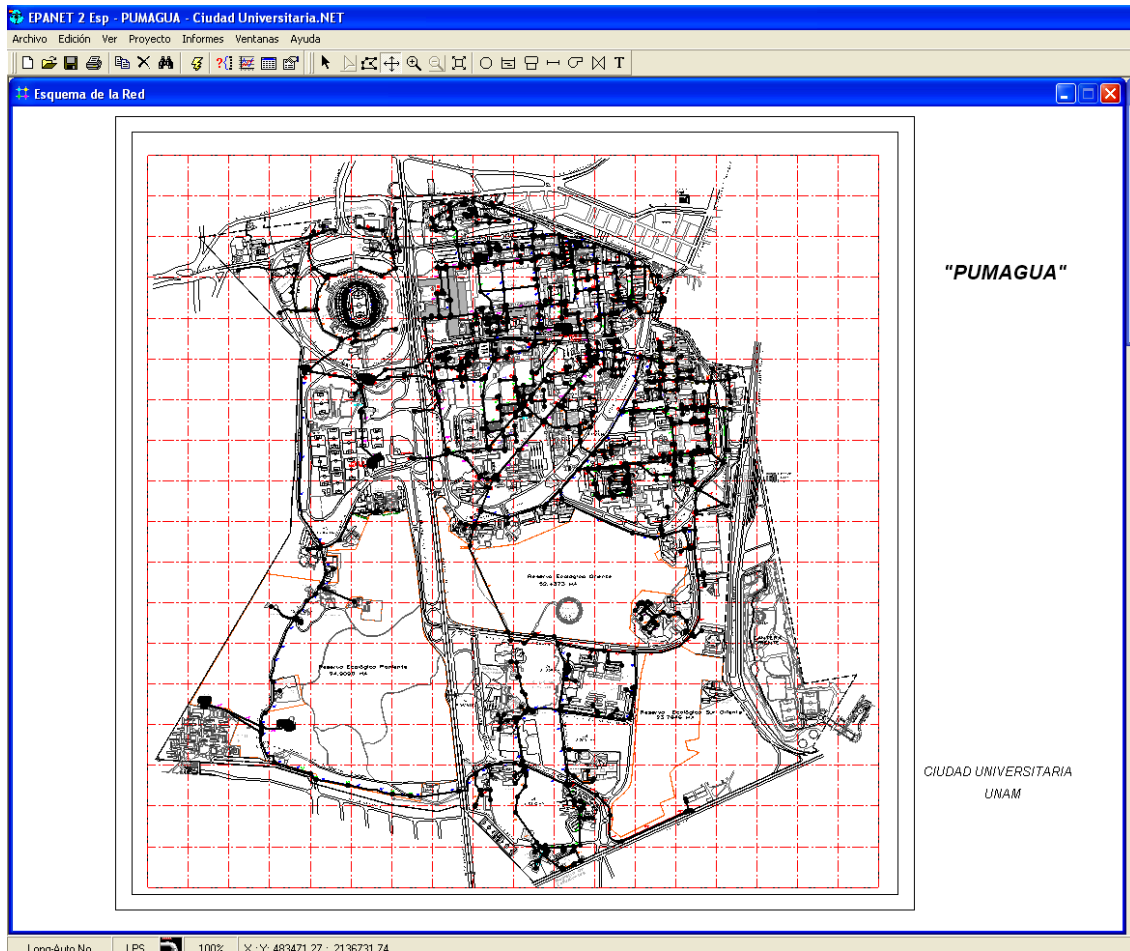


Figura 45. Pantalla con datos de entrada para el programa EPANET

Se realizó una modelación en flujo Permanente o Periodo Estático. Se consideró el riego tomando en cuenta la información verbal del personal de riego, el cual se realiza por etapas y con un horario de 8:00 h a 14:00 h. Por lo tanto, se utilizó el plano de áreas verdes regadas con agua potable, posteriormente se ubicaron nodos de consumo que cubrieran dichas áreas; para obtener la demanda, se supuso una lámina de riego de 5 mm y que multiplicada por el área a regar en un determinado tiempo (6 h) nos da el consumo requerido, una curva de consumo constante. Lo anterior, en números gruesos nos da una idea del volumen utilizado en riego, dada la falta de información y medición.

Finalmente, se consideraron en la simulación las fugas que existen en la red, en base a un análisis y en función de la información disponible de los registros diarios que se manejan de los niveles en los tanques, las extracciones en los pozos, el consumo de los usuarios y un

aproximado del uso para el riego; se estima que el valor de las fugas fluctúa entre un 40% y 50% de lo que se suministra.

Debido a la facilidad en el manejo del programa EPANET es factible simular diferentes escenarios de la red de abastecimiento de agua potable, ya que la operación y manejo depende de las estaciones del año (época de estiaje y época de lluvias), de los periodos vacacionales e intersemestrales, del mantenimiento del equipo de bombeo de los pozos y tanques de almacenamiento y de las reparaciones de fugas o modificaciones a la red, entre otros. A continuación se presentan dos escenarios simulados: uno sin control de presiones y otro con control de presiones, es decir, antes y después de proponer las válvulas reguladoras de presión.

Para el modelo en Flujo no Permanente o Periodo Extendido, se utilizó una variación temporal de caudales suministrados y demandados, así como las condiciones operativas de la red y de los niveles en los tanques de regularización. Este caso considera un funcionamiento de los elementos de la red más cercano a la realidad. Las consideraciones iniciales, en la simulación estática, con respecto a la población, consumo por tipo de población, nodos por edificio y la distribución de la población y consumos por dependencia son las mismas. De igual manera para fugas y riego. A continuación se comentan las observaciones que se aplicaron para la simulación dinámica.

Se utilizó una curva de variación horaria para establecer el consumo horario en los nodos de la red. En una primera etapa o simulación, se utilizó la misma curva para todas las dependencias y con información detallada del tipo de población. Dicha curva se obtuvo mediante la medición con un equipo ultrasónico en diversas dependencias universitarias.

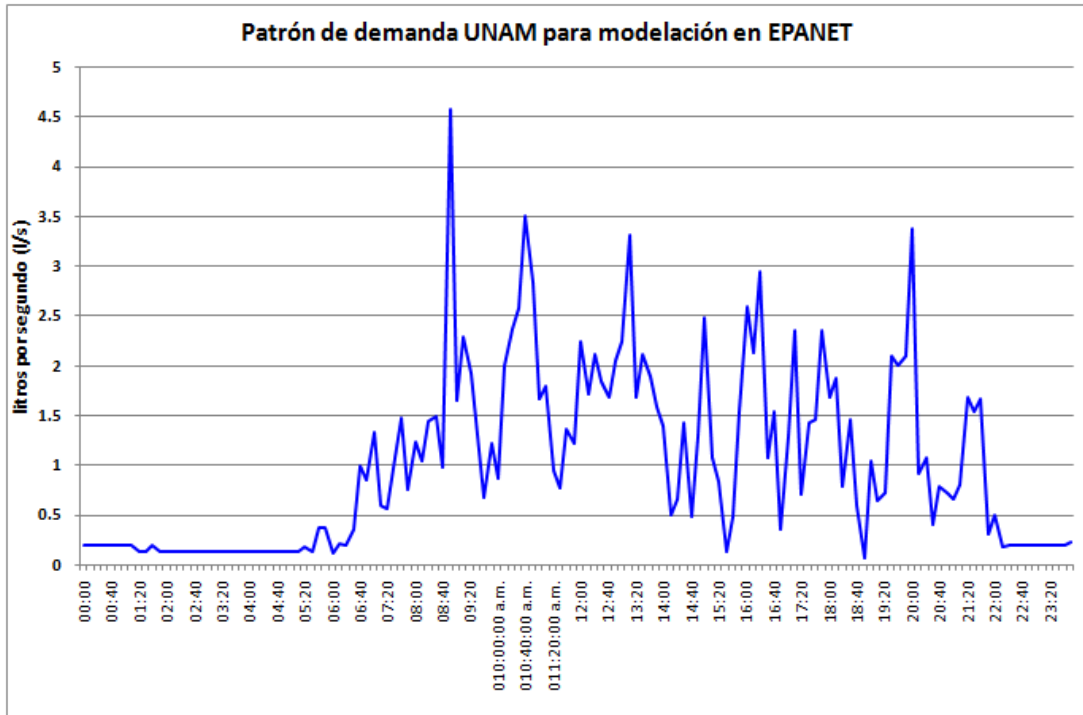


Figura 46. Curva de variación horaria utilizada en la modelación dinámica.

Respecto al funcionamiento horario de los pozos se consideró un promedio para cada uno de ellos, incluyendo el re bombeo. Por tanto, el pozo Química funciona esporádicamente en promedio 5 horas, el pozo Multifamiliar funciona en promedio 12 horas al igual que el pozo Vivero Alto. El paro y arranque de las bombas depende del nivel mínimo que establece el operador, es importante notar que generalmente operan durante las horas puntas de energía. También se consideró una variación de los niveles en los tanques que va relacionada directamente con la variación horaria del consumo en los edificios de Ciudad Universitaria y que a su vez es determinante para los operadores a cargo de los pozos, Figura 96.

En las Figuras 96, 97, 98, 99 y 100 se observa el comportamiento de las presiones durante el día, observando que para las horas de bajo consumo las presiones alcanzan hasta los 70 m y de manera contraria, para horas de máximo consumo las presiones bajan hasta los 15 m

Así pues, con los resultados que se pueden obtener de las simulaciones se sustentarán las nuevas políticas de operación conjuntamente con acciones paralelas como la implementación de un sistema de macro y micro medición con transmisión automática de datos, programa de detección de fugas, rehabilitación de la red e infraestructura sanitaria, entre otros.

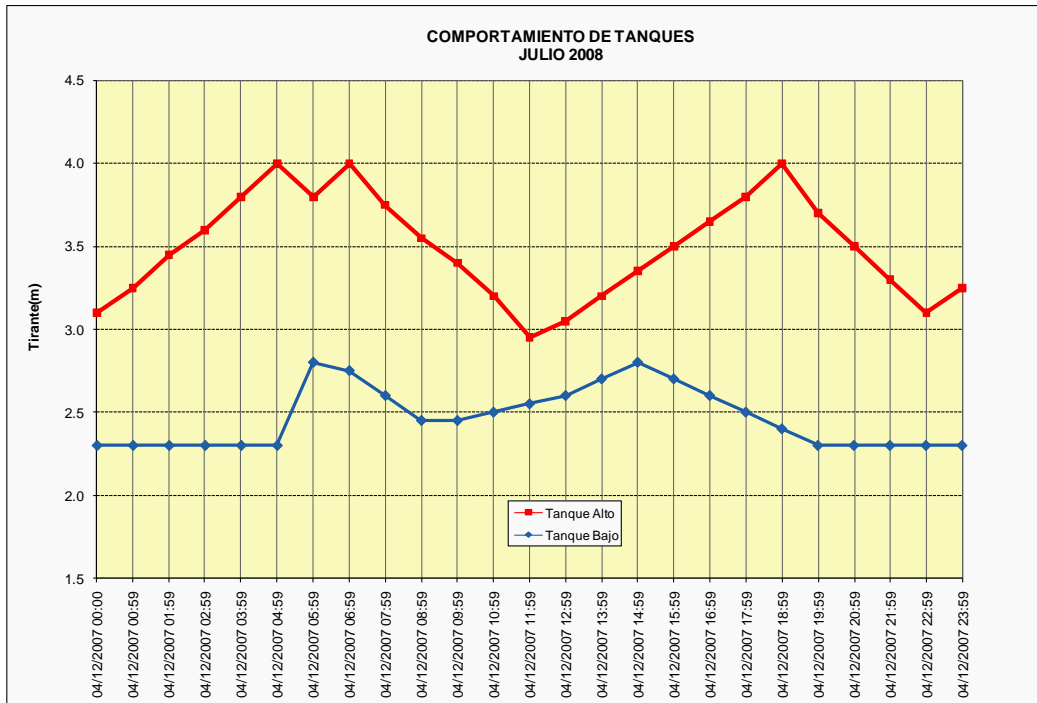


Figura 47 Variación horaria de los niveles en los tanques Alto y Bajo

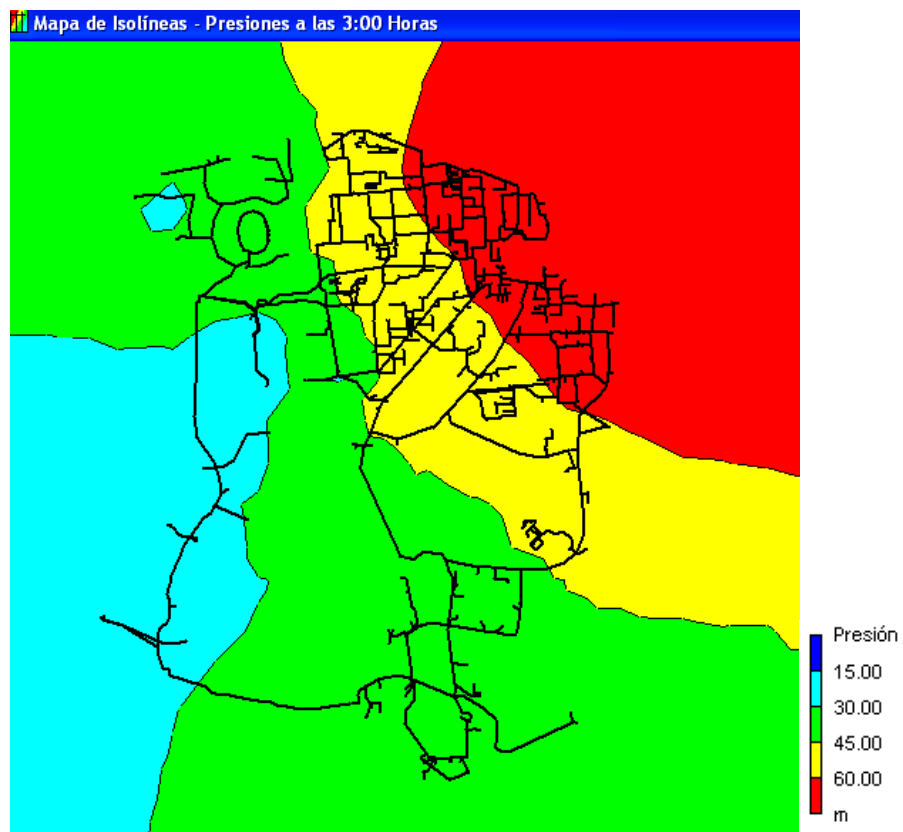


Figura 48. Mapa de isopresiones de la simulación en estado extendido sin control de presiones a las 03:00 hrs.

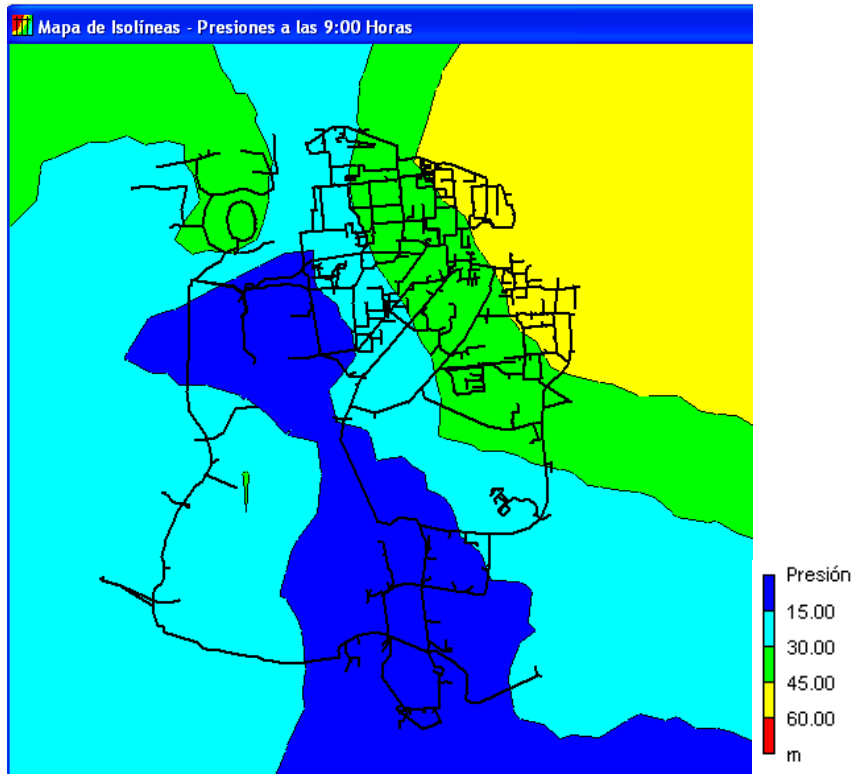


Figura 49. Mapa de isopresiones de la simulación en estado extendido sin control de presiones a las 09:00 hrs.

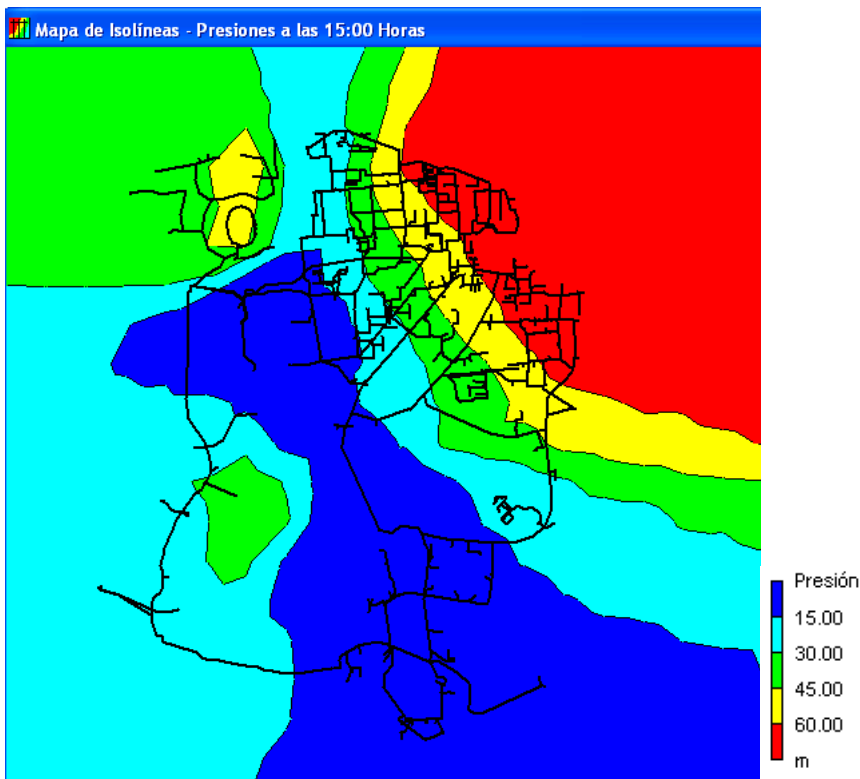


Figura 50. Mapa de isopresiones de la simulación en estado extendido sin control de presiones a las 15:00 hrs.

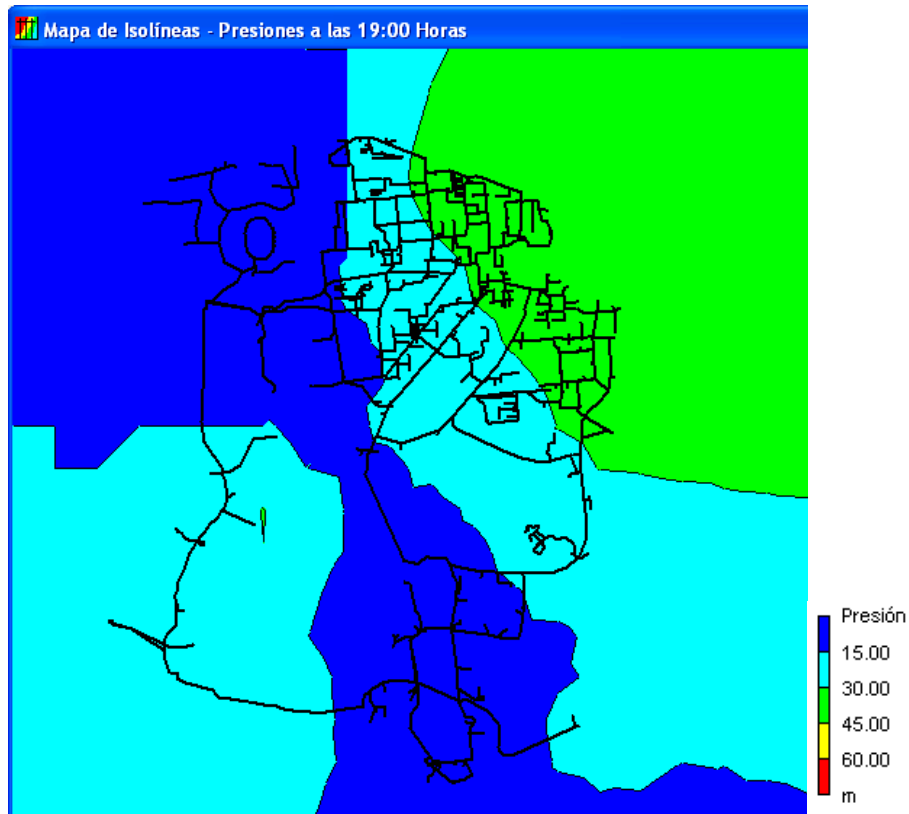


Figura 51. Mapa de isopresiones de la simulación en estado extendido sin control de presiones a las 19:00 hrs.

De acuerdo a los resultados de la simulación de la red de agua potable de Ciudad Universitaria, es posible que esta se segmente en cinco Sectores Hidráulicos, tomando como principal criterio las presiones (y en consecuencia la topografía) que arrojó la simulación con datos obtenidos durante el diagnóstico y recientemente, con información producto de mediciones llevadas a cabo con un medidor ultrasónico.

Capítulo 4. Acciones de uso eficiente de agua en el corto y mediano plazo.

4.1.- PROGRAMAS DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA EN LA RED.

El objetivo principal de un programa de reducción de pérdidas es el reducir el nivel de fugas existente en el sistema de distribución hasta un mínimo aceptable y mantenerlo así a largo plazo, en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera e institucional. Se debe tener en cuenta que este programa debe mejorar la relación de volumen consumido/volumen producido, atender la demanda actual no cubierta sin aumento en la producción, garantizar el funcionamiento eficiente del sistema de abastecimiento de agua, incrementar los niveles de medición y reducir los costos de suministro. Existen algunas acciones en el corto y mediano plazo de un programa de reducción de pérdidas de agua en la red (Ochoa A. Leonel, 2001):

En el corto plazo:

- Atender las demandas con agua recuperada.
- Sustituir tomas de agua potable.
- Reemplazar líneas principales y secundarias
- Medición de captación.
- Mejorar operación y levantar catastro.
- Actualización de consumos.
- Atención a reportes de fugas.
- Instalación de micro medidores.

- Reducir los costos de producción y distribución de agua potable.

A mediano plazo:

- Control en calidad de materiales tanto en tomas como en red.
- Adquirir equipo detector de fugas y formar cuadrillas de trabajo equipadas.
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Capacitación de personal.
- Mejorar conocimiento de la infraestructura, catastro de la red.
- Establecimiento de normas, políticas y especificaciones.
- Aumentar la eficiencia de la operación.
- Reducción de consumos de energía.
- Disminuir fugas a un nivel óptimo (20%)

4.2.- INSTRUMENTACIÓN DE PROGRAMAS DE USO EFICIENTE DE AGUA EN DEPENDENCIAS UNIVERSITARIAS.

El Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM (PUMAGUA) busca el uso eficiente del recurso a través de acciones que promueven el ahorro de agua al interior de las entidades universitarias. Parte de las acciones ha sido la ejecución de un programa piloto de uso eficiente de agua en el edificio 5 del Instituto de Ingeniería. El programa inició en Enero de 2008 con la evaluación del sistema del edificio que permitió identificar las medidas más oportunas, iniciándose, a partir del 17 de noviembre de ese mismo año su implementación. El resultado de este programa ha sido la reducción de un 44.0% en el suministro de agua. El programa ha generado la extensión de este a otras 20 entidades universitarias así como establecer la pauta rumbo a lineamientos que, en materia de agua, requiere la universidad y el país.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM es el centro de investigación más productivo del país en diversas áreas de la ingeniería. Es una comunidad de más de 1000 personas donde conviven: investigadores, estudiantes quienes realizan trabajos de tesis de licenciatura, maestría y doctorado, técnicos académicos, personal secretarial y de servicios. Cuenta con una extensión

de más de 20,000 metros cuadrados entre laboratorios, cubículos, áreas comunes y auditorios. Sus instalaciones ocupan 12 edificios además de varios pisos y el basamento de la torre de ingeniería. El Edificio 5 se ubica al Sur de la Torre de Ingeniería y a un costado de la Nave de pruebas del mismo Instituto. (Figura 101)

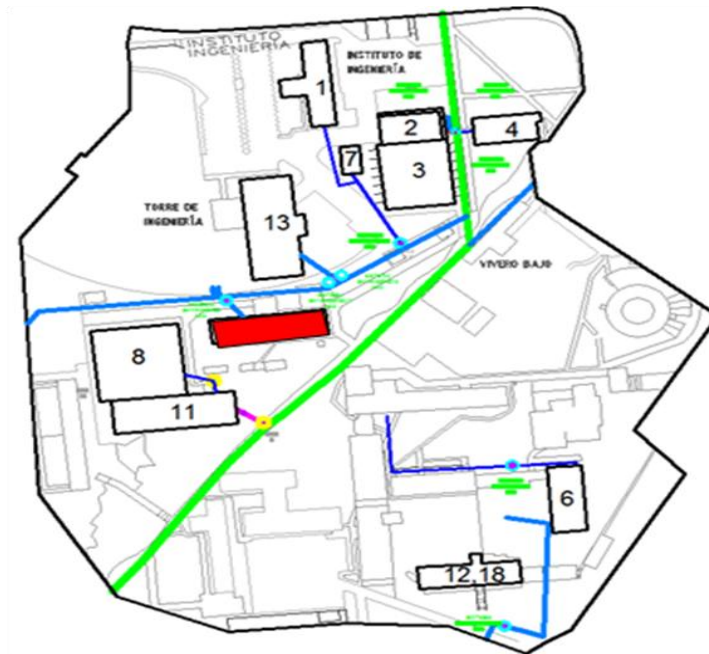


Figura 1. Edificios del Instituto de Ingeniería de la UNAM. En Gris, el edificio 5.

El suministro promedio del Instituto de Ingeniería asciende a 31.4 m^3 de agua por día, de los cuales 4.74 m^3 (15%) corresponden al edificio 5. Durante los fines de semana el suministro en el Instituto se reduce hasta en un 82.0%, sobre todo los días domingo. Las pérdidas de agua representan el 12.12% del suministro.

El edificio 5 cuenta con una población de 225 personas y un área de 624 m^2 . Alberga en sus tres niveles a la Subdirección de Ambiental, la Coordinación de Hidráulica, de Ingeniería Ambiental, Bioprocesos Ambientales, Ingeniería de Procesos Industriales y el Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Es un edificio clasificado como usuario tipo B, esto es, un edificio dedicado a la investigación.

Para conocer los componentes de sus instalaciones hidráulicas fue necesario como un primer paso el levantamiento de sus instalaciones, identificando desde su punto de conexión a la Red (o toma), hasta los puntos de consumo internos. Se llevaron también levantamientos que

permitieron conocer las condiciones físicas y de operación de los puntos de consumo. Esto último también permitió conocer a grosso modo el uso que se le da al agua al interior de sus Instalaciones. A continuación se describen brevemente los componentes del sistema: la tubería que abastece de agua al edificio es de 2" de diámetro. Es una toma de tipo directa y no se han encontrado indicios de derivaciones sobre el ramal destinadas a riego o cualquier otra actividad, por lo que el suministro medido corresponde ciertamente al agua que ingresa al edificio. El medidor que actualmente registra el suministro de agua del edificio 5 es de 3/4" de pulgada de diámetro. Dicho medidor cuenta con un data logger que permite almacenar las lecturas de suministro de agua con una frecuencia programada de 60 minutos, las lecturas así obtenidas son luego transferidas a una computadora para su procesamiento y análisis. Este medidor transmite las lecturas a un repetidor y éste, a su vez, a una antena para su posterior recepción y análisis en un centro de control. Anteriormente, se encontraba instalado en este mismo sitio un caudalímetro de 2" de diámetro. Los criterios para la selección y sustitución del medidor están establecidos en el Manual de Selección, Instalación y Mantenimiento a Medidores de Agua Fría elaborado por PUMAGUA (Disponible en su página de internet: www.pumagua.unam.mx).

Derivado de los trabajos de campo, se elaboraron planos arquitectónicos y de instalaciones hidráulicas por cada nivel del edificio permitiendo identificar los puntos de consumo dentro del mismo. La instalación hidráulica del edificio 5 está conformada por tubería de cobre de 2" con derivaciones a 1". Las derivaciones internas son todas ellas soldadas y pintadas en su mayoría de color azul. La edad de la tubería corresponde a la misma que el edificio: 20 años. No se percibió presencia de fugas ni daños en la misma, lo que supone excelentes condiciones de operación de la instalación. La tubería hidráulica se encuentra en ductos a los costados de las escaleras principales de este edificio, por lo que es fácil tener acceso.

Los usos que se le da al agua al interior del edificio 5 pueden agruparse en tres categorías: Sanitarios, Laboratorios y Servicios. En cuanto a los primeros, el edificio 5 cuenta con 5 baños: tres para hombres y 2 para mujeres, en dichos baños se encuentran instalados un total de 27 muebles de baño entre inodoros, mingitorios y lavabos considerados como Puntos de Consumo de Agua (PCA). La tabla 1 muestra la cantidad de muebles de baño instalados en el edificio 5, así como sus características físicas y de operación. El uso del agua en laboratorios se

debe principalmente al Laboratorio de Ambiental que se localiza en la Planta Baja, el uso correspondiente a servicios incluye el agua destinada al servicio de cafetería y de limpieza. Durante los trabajos de campo fue posible identificar 34 Puntos de Consumo de Agua

Tabla 1 Muebles de baño en el Edificio5 del Instituto de Ingeniería. UNAM

	Estado Físico				Tipo			Fugas		Sarro	
	Total	Funcionando	Reparación	Sustitución	Cantiliver	A piso	Ordinario	Sí	No	Sí	No
Inodoros	12	12	0	0	12	0	0	0	12	0	12
Mingitorios	Estado Físico				Tipo		Fugas		Sarro		
	Total	Funcionando	Reparación	Sustitución	Ordinario	Ecológico	Sí	No	Sí	No	
	3	3	0	0	0	3	0	3	1	2	
Lavabos / Ovalines	Estado Físico				Higiene		Fugas		Sarro		
	Total	Funcionando	Reparación	Sustitución	Buena	Regular	Mala	Sí	No	Sí	No
	12	12	0	0	12	0	0	0	12	0	12
Llaves	Estado Físico				Tipo			Fugas		Sarro	
	Total	Funcionando	Reparación	Sustitución	Chicote	Mezcladora	Nariz	Sí	No	Sí	No
	18	18	0	0	12	0	6	0	18	0	18
Fluxómetros para inodoro	Estado Físico				Tipo		Fugas		Sarro		
	Total	Funcionando	Reparación	Sustitución	Electrónico	Manual	Sí	No	Sí	No	
	12	12	0	0	12	0	0	12	0	12	
Césped	Estado Físico				Material			Fugas		Sarro	
	Total	Funcionando	Reparación	Sustitución	Cobre	AcInox	PVC	Sí	No	Sí	No
	18	18	0	0	1	15	2	0	18	0	18
Filtro purificador	Estado Físico				Higiene			Fugas		Sarro	
	Total	Funcionando	Reparación	Sustitución	Buena	Regular	Mala	Sí	No	Sí	No
	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
Tarjas / Fregaderos	Estado Físico				Higiene			Fugas		Sarro	
	Total	Funcionando	Reparación	Sustitución	Buena	Regular	Mala	Sí	No	Sí	No
	6	6	0	0	6	0	0	0	6	0	6

La información contenida en la tabla 35 sugiere que las condiciones físicas y de operación de los muebles de baño del edificio 5 pueden considerarse como aceptables. Toda vez que ninguno presenta fuga ni estampa de sarro. Sólo un mingitorio reportó esta característica, en los lavabos no se observó mal aspecto derivado de la falta de limpieza en los mismos. Los demás accesorios que conforman los puntos de consumo presentaron condiciones similares. Visualmente no se pudieron detectar fugas en los puntos de consumo, sin embargo, después de la colocación de medidores pudo identificarse una salida constante de agua en uno de los sanitarios, específicamente en el baño de mujeres del primer nivel; a la brevedad posible fue solucionada.

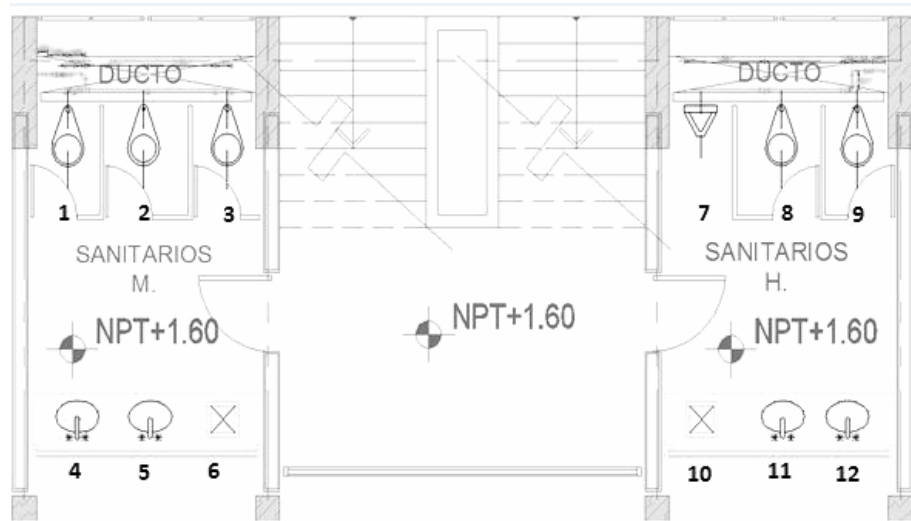


Figura 2. Puntos de consumo de agua en el Nivel 1 (NPT+1.60) Edificio 5. IINGEN.UNAM

Para identificar las medidas de uso eficiente de agua y al mismo tiempo evaluar la eficiencia actual de una instalación hidráulica, es necesaria la elaboración de una auditoría de agua, esto es, la elaboración de un balance de lo que ingresa y lo que se consume de agua en el edificio. La ecuación siguiente representa un balance hidráulico como la suma del consumo más las pérdidas.

$$\text{Suministro (S)} = \text{Consumo (c)} + \text{Perdidas (P)} \quad (4)$$

El primer término del lado izquierdo de la igualdad se refiere a la cantidad de agua que ingresa al edificio, mientras que el primer término del lado derecho se refiere a la cantidad de agua utilizada dentro del edificio para las actividades que en él se realizan. Las pérdidas pueden entenderse como la diferencia entre el suministro y el consumo. Estas pueden deberse a la presencia de fugas en algún componente del sistema.

La medición del suministro inició con la toma de lecturas del medidor originalmente instalado cada 24 horas durante los primeros 7 meses del estudio con suministros promedio de 8.60 m³ de agua por día de lunes a viernes. En Julio de ese año se instaló un medidor con memoria integrada con prácticamente los mismos registros. Este medidor registró mediciones sólo durante poco más de dos meses debido a daños en el medidor, y no fue sino hasta Octubre de 2008 cuando se instaló otro medidor cuyas lecturas han permitido monitorear el comportamiento del suministro al edificio. La figura 138 muestra los consumos históricos del

edificio 5 antes de la implementación de acciones y muestran un suministro promedio de 8.60 m³ de agua por día.

La medición de fugas fue posible recurriendo a la curva horaria obtenida a partir de la información que proporciona el medidor. De acuerdo con esto, las fugas en el edificio antes de las acciones ascendían a 0.94 m³ de agua por día. La cuantificación de la fuga es posible a partir del suministro nocturno y se expresa a partir de la siguiente relación:

$$Q_{Fuga} = Q_{Nocturno} \left(\frac{24}{7} \right) \quad (2)$$

Para decidir que medidas de uso eficiente tomar e implementar, resultó necesaria llevar a cabo la medición y no estimación de consumos de agua, de manera que pudieran determinarse cuales puntos presentaban un mayor consumo. Lo correcto era medir el consumo por cada punto; pero no resultaba posible debido a que las condiciones del lugar impedían la instalación de un medidor, además de que implicaba un costo muy elevado.

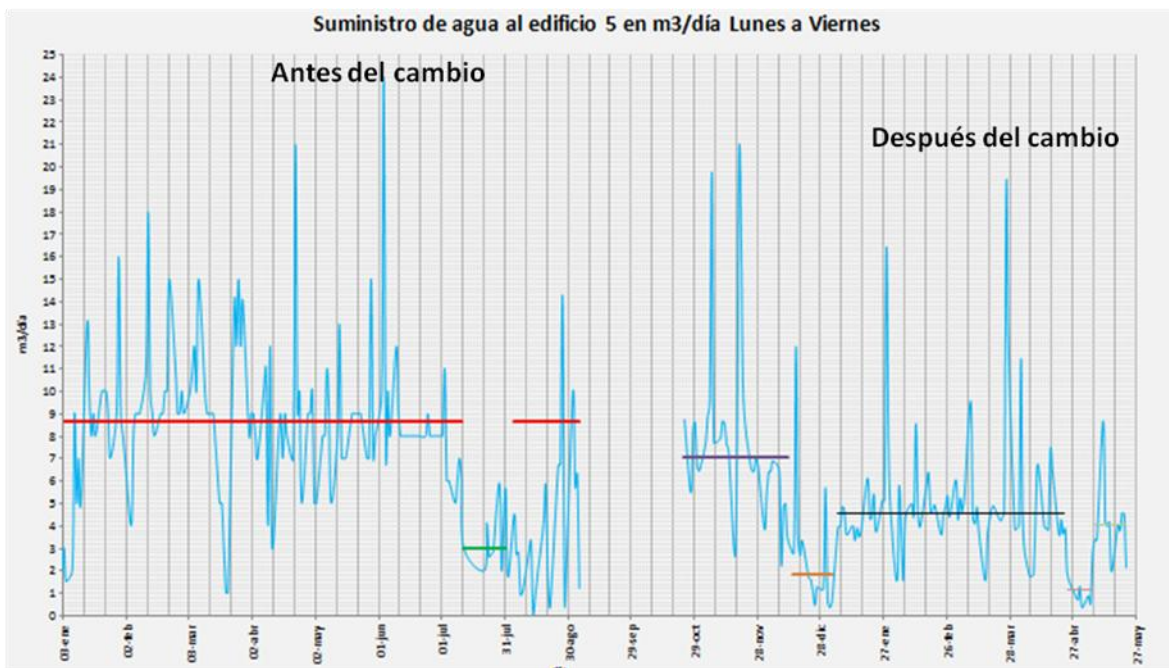


Figura 3. Suministro de agua en el Edificio 5 Antes de la implementación de acciones.

Para medir el consumo se instaló un medidor por cada baño, haciendo posible medir un consumo en estos de 5.94 m³ de agua por día, lo que constituye un consumo por baño de 1.18 m³.

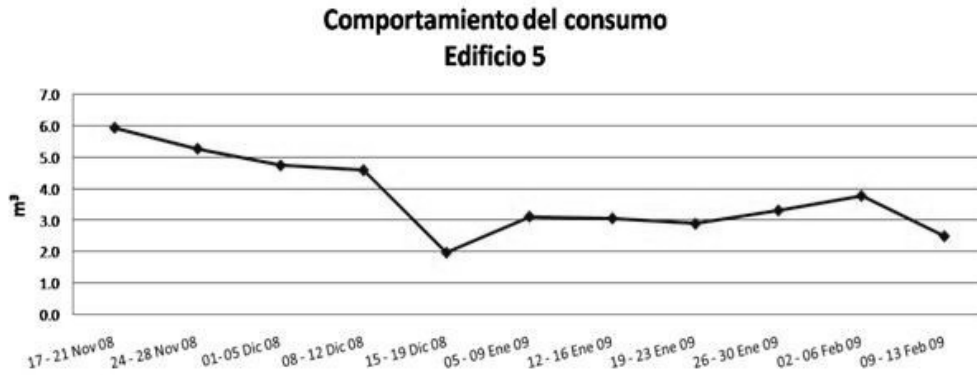


Figura 4 Consumo de Agua en baños del Edificio 5 antes de la implementación de acciones.

De acuerdo con las mediciones disponibles fue posible elaborar un primer balance hidráulico.

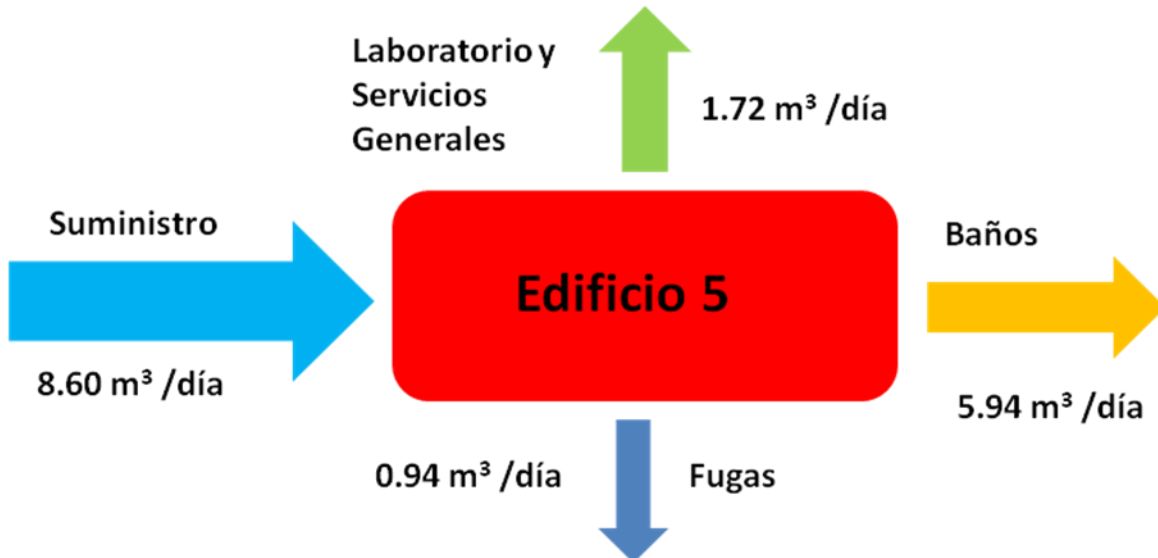


Figura 5. Balance Hidráulico en el edificio 5. El mayor consumo lo representan los baños

De acuerdo a la figura 140, el 70% del consumo dentro del edificio 5 lo representaban los baños, el 20 % correspondía a servicios y el laboratorio de ingeniería ambiental ubicado en la planta baja del edificio. El 10% restante lo representaban las fugas dentro del edificio, en tanto que el consumo per cápita resultó de 26.4 l/usuario/día.

Debido a la importancia que tienen los muebles de baños en el ahorro del agua dentro de los edificios, se llevó a cabo en el mes de Mayo de 2008 la Feria del Baño con el objetivo de realizar pruebas a sanitarios, mingitorios y llaves de lavabos y llegar a resultados que dieran las primeras recomendaciones para los cambios de muebles de baño en la UNAM. De acuerdo a los resultados hasta ahora obtenidos, se ha llegado a las recomendaciones siguientes:

- ✓ Los fluxómetros no pueden ser graduados para diferentes presiones, y deben venir graduados desde la fábrica.
- ✓ En mingitorios, se deben colocar aquellos que trabajen con 0.5 litros por descarga, ya que los que no usan agua si no tienen un buen mantenimiento despiden malos olores y poco higiénicos
- ✓ De acuerdo a la norma oficial mexicana en inodoros no se debe sobrepasar de 6 litros por descarga.
- ✓ Las llaves deben cumplir con una descarga como máximo de 2 litros por minuto, con un sensor para cortar el agua si está más de un minuto abierta la llave.
- ✓ Las regaderas deben cumplir con una descarga como máximo de 10 litros por minuto.

El balance hidráulico mostró que 70% del consumo de agua en el edificio se presentaba en los baños, por lo que las acciones de uso eficiente estuvieron enfocadas a reducir, en una primera etapa, el consumo de agua en éstos. Se propuso un cambio de muebles que cumplieran con los requisitos estipulados por las normas establecidas derivados de la feria del baño.

La selección e instalación de los muebles estuvo sustentada en una serie de pruebas que garantizaron un bajo consumo de agua. Las pruebas y especificaciones que los muebles de baño han de cumplir para ser considerados como de bajo consumo se han incluido en el Manual de pruebas a Instalaciones Sanitarias que al respecto ha elaborado PUMAGUA. (Incluido en la página de internet: www.pumagua.unam.mx). Las especificaciones han sido proporcionadas a la Dirección General de Obras y Conservación de la UNAM para que, dentro de los programas de dignificación de baños y en las nuevas obras que se construyan, se procure seguir este tipo de recomendaciones.

Previo a la instalación de muebles de bajo consumo se les realizaron una serie de pruebas que permitieron establecer criterios para su sustitución, por ejemplo, iniciar con los muebles que presentan un mayor consumo o bien, aquellos que están fuera de operación o que reflejan un mal aspecto estético a las instalaciones, bajo la idea de establecer etapas de trabajo donde la inversión de los recursos económicos reditué en mayores ahorros de agua. La tabla 36 muestra los primeros muebles de bajo consumo instalados así como los ahorros de agua que estos cambios trajeron consigo, los cuales, dicho sea de paso, representaron hasta un 63% de ahorro respecto a los consumos que presentaban los muebles anteriores. La figura 141 muestra una comparación entre las descargas de los anteriores y nuevos muebles de baño que se instalaron.

Tabla 2-Muebles de baño de bajo consumo instalados en el Edificio5.

Ubicación		Consumo		Ahorro
		Antes	Después	
		lpf / lpm	lpf / lpm	
N 1 B M (Piso 1. Baños Mujeres)	TAZA 1	4.65	4.2	9.68%
	TAZA 2	9.77	4.9	49.85%
	TAZA 3	15.25	5.6	63.28%
N 1 B H (Piso 1. Baños Hombres)	TAZA 1	9.85	4.75	51.78%
N 2 B H (Piso 2. Baños Hombres)	TAZA 2	10.625	4.9	53.88%
	LLAVE 1	1.9	1.9	0.00%
N 3 B M (Piso 3. Baños Mujeres)	TAZA 1	7.27	4.4	39.48%
	TAZA 2	10.8	4.8	55.56%
	TAZA 3	8.47	6.3	25.62%
	LLAVE 1	3.9	3.4	12.82%
	LLAVE 2	3.47	2	42.36%
N 3 B H (Piso 3. Baños Hombres)	TAZA 1	11.73	5.1	56.52%
	TAZA 2	8.6	5	41.86%
	LLAVE 1	3.85	2.1	45.45%

Comparación de consumo de agua en inodoros antes y después de los cambios.

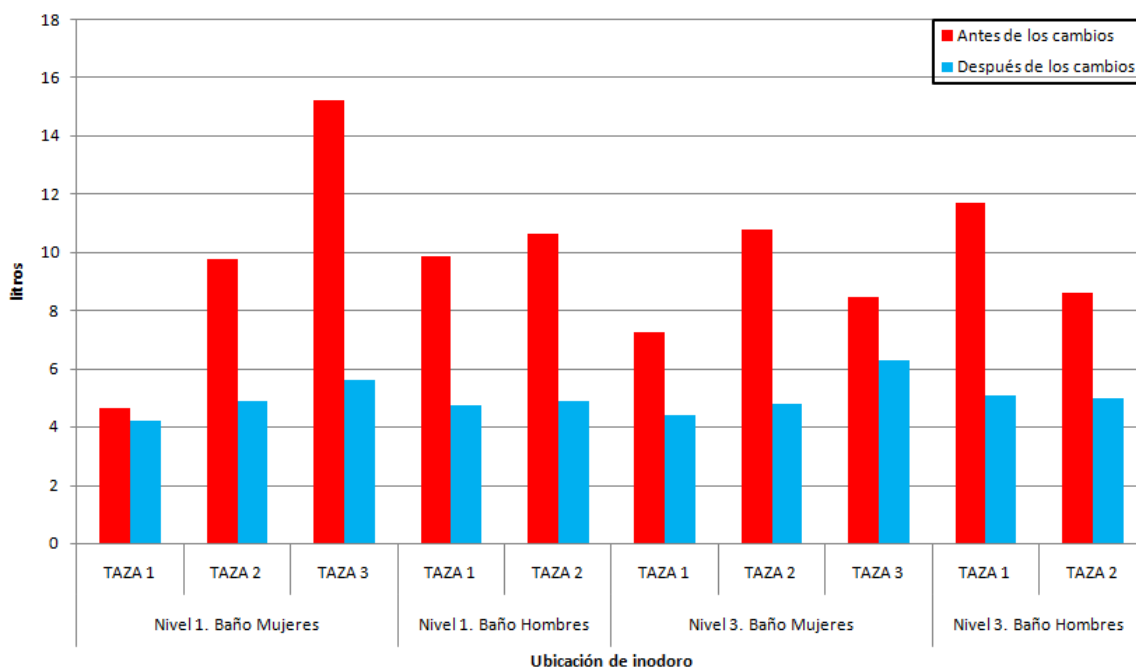


Figura 6. Comparación de descargas de agua entre inodoros previamente instalados y de bajo consumo.

De la tabla 2 y la figura 6 se observan ahorros significativos de hasta 60% en el consumo de agua por descarga de mueble, con esto, el consumo de agua en el edificio ha tenido una disminución del suministro de agua hasta en un 44%. Toda vez que de manera gradual se fueron sustituyendo los muebles. Actualmente todos los muebles de baño ubicados en el edificio 5 son de bajo consumo ya que cumplen con las especificaciones que elaboró PUMAGUA durante la feria de baño; pero enriquecidas a raíz de este programa piloto. La figura 142 da cuenta de la disminución del suministro de agua en el edificio luego de las acciones ya mencionadas.

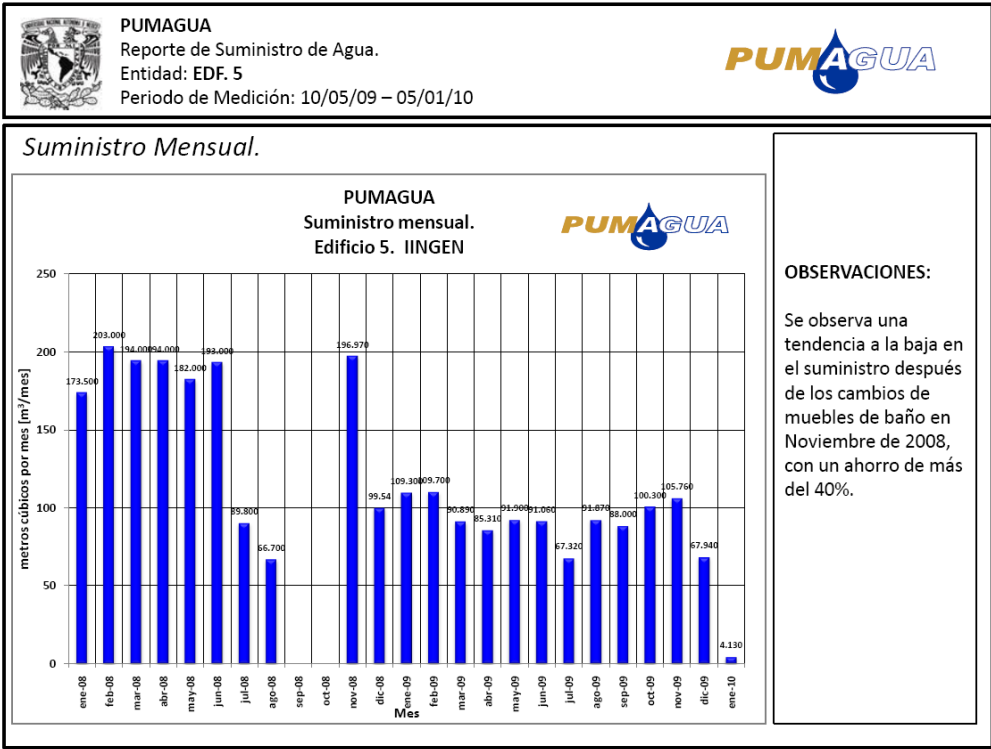


Figura 7. Registro histórico del suministro de agua en el edificio 5 antes y después de los cambios de mueble de baño.

El nuevo balance hidráulico nos muestra que, en promedio, el suministro actual del edificio es de 4.74 m³ de agua por día. Esto representa una reducción del 44%. El consumo por parte de los muebles de baño es de 2.87 m³ de agua lo que representa el 60.56% de lo que le entra al edificio, los servicios equivalen a un 36.28%, en tanto que las fugas en el edificio representan el 3.16 %. Los cambios en el patrón de consumo se han notado sensibles con el cambio de muebles de baño. La figura 143 muestra el balance hidráulico después de los cambios de mueble de baño. El nuevo consumo per cápita en el edificio es de 15 l/usuario/día lo que equivale a una reducción importante de cerca del 100% de este consumo. La reducción de

fugas fue bastante significativa, lo que supone que los muebles sustituidos presentaban fugas no perceptibles.

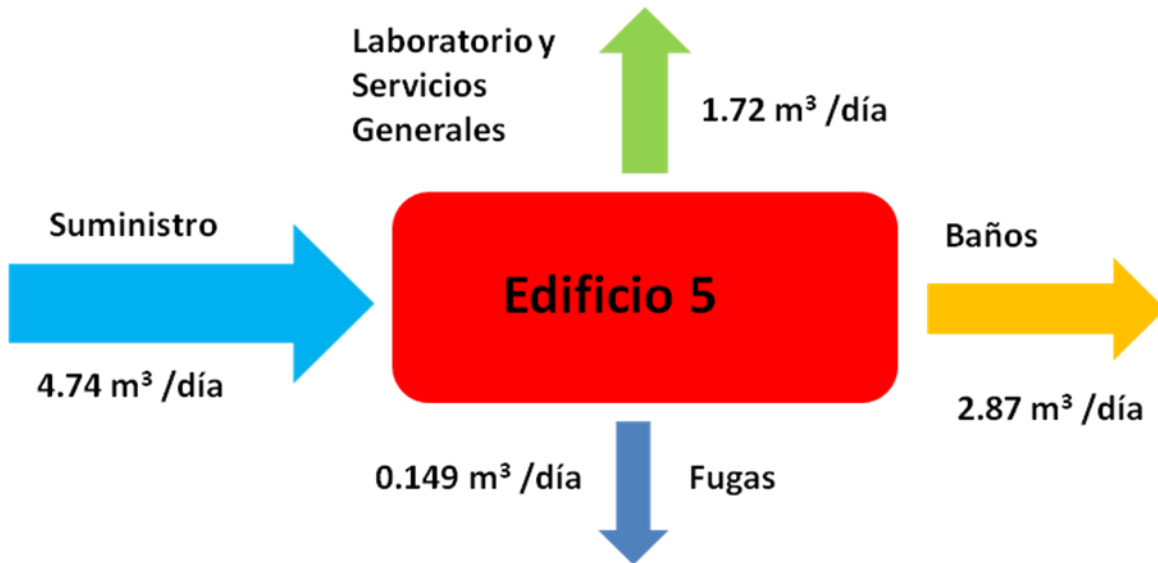


Figura 8. Balance Hidráulico después de los cambios de muebles de baño en el edificio 5.

El patrón de consumo de parte de los usuarios en el edificio también mostró la reducción del suministro. La figura 144 muestra la reducción del suministro después de los trabajos de cambio de muebles de baño.

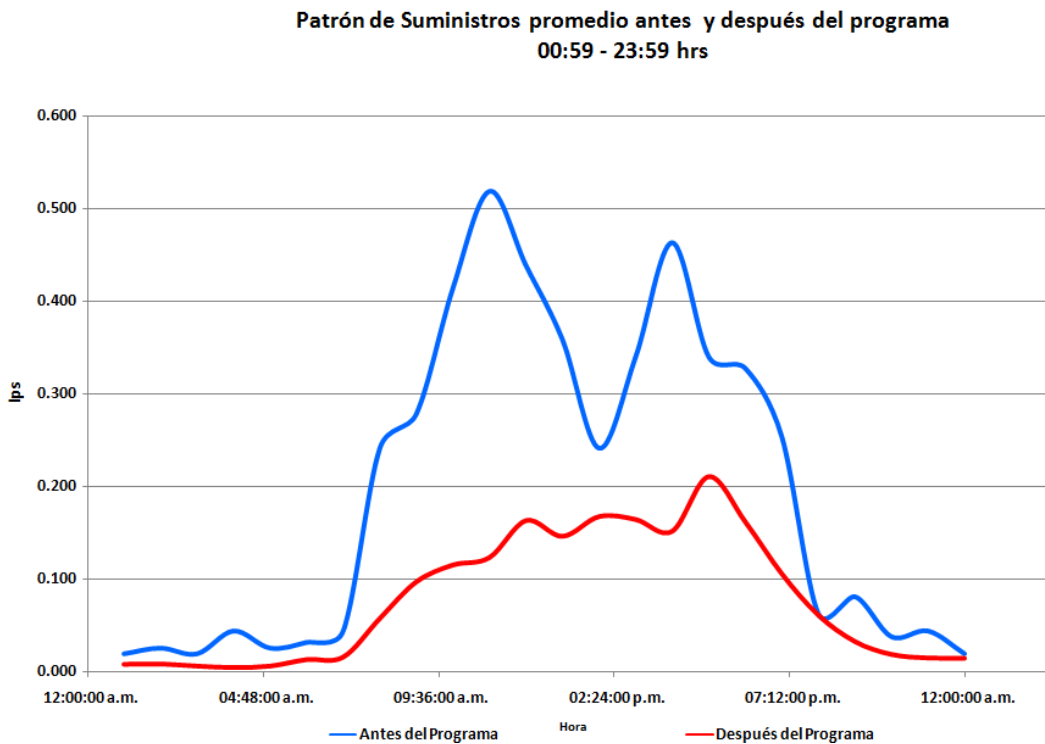


Figura 9. Patrón de suministro antes y después del programa de muebles de baño

Los costos que trajo consigo la aplicación de la metodología de un programa de uso eficiente de agua: instalación de medidores, sustitución de muebles de baño, accesorios, pruebas a los muebles, etc., ascienden a \$112,663.12 pesos mexicanos. La Tabla 37 muestra los costos mencionados anteriormente:

Tabla 3— Inversión en el cambio de muebles de baño

Concepto	Importe (I.V.A. Incluido)
Baño Mujeres 1er piso	\$ 19,041.79
Baño Mujeres 3er piso	\$ 25,901.45
Baño Hombres 1er piso	\$ 15,904.56
Baño Hombres 2do piso	\$ 22,010.89
Baño Hombres 3er piso	\$ 29,804.44
Total	\$ 112,663.12

En total se cambiaron 6 inodoros de 6 a 4.8 lpf, 3 mingitorios, 12 fluxómetros y 4 llaves, es decir, 25 cambios. El costo promedio de instalación de cada uno de ellos es de \$4507.00 pesos ó \$300.50 dólares. Suponiendo un uso constante de parte de los 225 usuarios del edificio en cada uno de los 15 muebles de baño, a cada uno de éstos 15 personas le dan uso al menos una vez por día. La figura 145 relaciona el costo de instalación de los muebles de baño con el número de usuarios por mueble, dicha relación permite estimar una Tasa Interna de Retorno (TIR) [FUENTE: Water Efficiency Manual. North Carolina Department of Environmental and Natural Resources], esto es, el número de años necesarios para recuperar una inversión. De acuerdo a los datos que se han obtenido, y con la figura 10, la curva en azul claro (cian) es la que se ajusta a nuestro caso debido a que el uso es de 14 personas por muebles, y considerando el costo de instalación de los muebles, la Tasa Interna de Retorno correspondiente es de 3.5 años. La vida útil de un mueble de baño bajo condiciones de operación y mantenimiento adecuadas es de máximo 10 años.

De acuerdo con nuestras estimaciones, en estos ocho meses que ha durado los trabajos de sustitución de muebles de baño, se han ahorrado un total de 930 m³ o 930 000 litros, es decir, cada litro ahorrado costó en promedio \$0.121 pesos, es decir \$121.00 pesos por m³.

En la Universidad de Sydney, Australia (University of Sydney. WATER SAVINGS ACTION PLAN. 2006 – 2010.), el costo de implementación de un programa de Inodoros fue de \$8,280 dólares australianos equivalentes en pesos mexicanos a \$78,660.00, proyecto que se llevó a cabo en 7 meses. El costo que no es posible valorar es aquel a la experimentación que se va desarrollando con este tipo de estudios, y seguramente conforme la experiencia en este tipo de trabajos se vaya incrementando, los costos de un programa de uso eficiente de agua disminuyan.

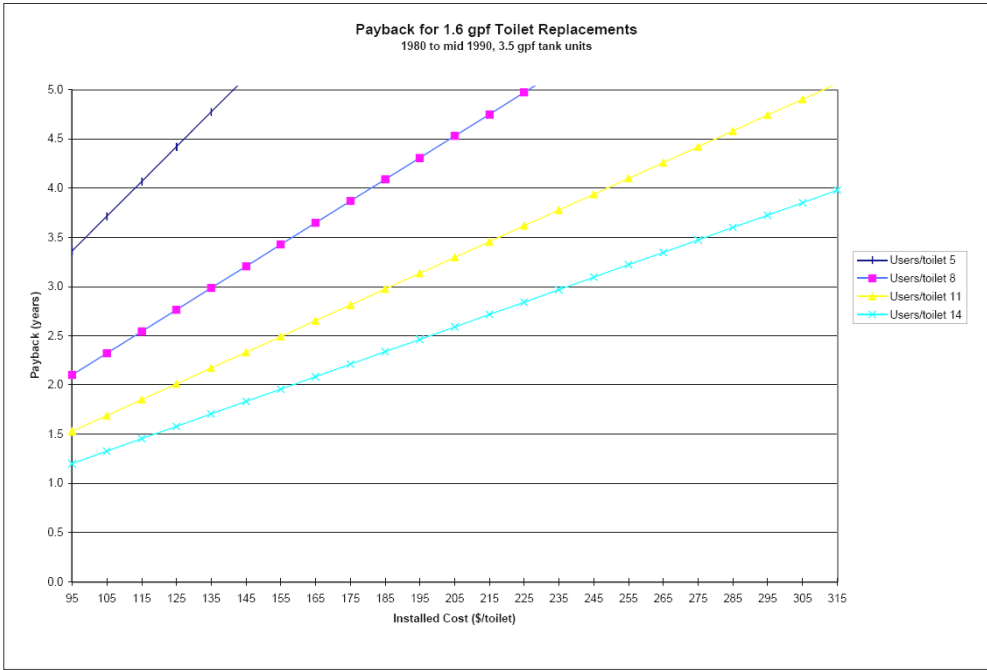


Figura 10. Tasa Interna de Retorno (Payback) de sustitución de muebles de baño. FUENTE: Water Efficiency Manual. North Carolina Department of Environmental and Natural Resources]

Capítulo 5.- Conclusiones.

El agua es un elemento único y especial. Es un recurso utilizado para todo tipo de actividades humanas, y es a la vez fundamental para el mantenimiento de la vida en el planeta y para el funcionamiento de todos los ecosistemas. El agua es un recurso finito, no renovable, pero reciclable.

El manejo sustentable del agua exige un enfoque eco sistémico que requiere cambios profundos en las escalas de valor, principios éticos y en las premisas culturales que sustentan los modelos vigentes de gestión del agua. También requiere cambiar la estrategia dominante desde oferta, (construcción de grandes obras hidráulicas subsidiadas), hacia una estrategia basada en la demanda y la conservación (ahorro, eficiencia en el uso, calidad del recurso, aplicación de las tecnologías existentes).

La crisis del agua en México se debe no sólo a una condición hidrológica natural desfavorable, sino a la falta de gobernabilidad del recurso. Es indudable que la gobernabilidad hídrica tiene una conexión directa con la gobernabilidad del país en general. La gobernabilidad puede entenderse como la capacidad de los países para dirigir o conducir el cambio en las condiciones o procesos políticos, económicos, sociales y ambientales, de manera armónica y pacífica hacia metas acordadas por la sociedad y con la participación conciliatoria de las autoridades elegidas por ésta. La gobernabilidad es particularmente importante en regiones donde la demanda de agua es superior o superará la disponibilidad en el corto plazo.

En México, como en muchas otras regiones, el agua es un recurso natural en abundancia, desde el punto de vista de sus grandes litorales marítimos (el agua del mar ocupa tres cuartas partes del planeta); existe actualmente toda la tecnología suficiente para extraerla del mar, desalarla, bombearla hacia cualquier lugar, distribuirla, recolectarla, tratarla y regresarla al mar otra vez; sin embargo, es indispensable considerar el costo que ello ocasiona y meditar si la

sociedad está dispuesta a pagar ese precio. ¡En el caso de México, el uso eficiente del agua no es una opción más, es la única!

La problemática del uso y reuso del agua en la UNAM es semejante a la de otras congregaciones humanas, vale la pena empezar a poner orden en casa propia con el fin de constituirse como ejemplo práctico y factible que muestre el camino a seguir para grupos humanos de mayor tamaño y complejidad. Se debe reconocer la insuficiente conciencia y de cultura de uso, desecho y reuso racional del recurso agua en algunos sectores de la universidad, y que se han de aplicar nuevas acciones para propiciar un cambio profundo que nos permita instituirnos como ejemplo. PUMAGUA representa una oportunidad única para la UNAM de retomar el liderazgo en esta materia y tratar de menguar el vacío que día a día se hace más evidente en este asunto tan importante.

Como resultado de los trabajos llevados durante estos dos años de trabajo, PUMAGUA ha brindado un diagnóstico poco alentador: 50% del agua extraída de sus fuentes de abastecimiento se pierde en fugas tanto en la red como al interior de las entidades universitarias, pérdidas asociadas a las condiciones físicas y de operación del sistema hidráulico en general y, de manera particular, al correspondiente al agua potable. La red de distribución de Ciudad Universitaria ha crecido sobremanera y en ocasiones también, con poca planeación. Se cuenta con poca o nula medición de suministro de agua a los edificios, cerca del 50% de la red es de acero, misma que presenta problemas de incrustaciones y una fuerte presencia de fugas. La fuerte fluctuación de presiones que presenta la red lleva a desgastarla y a incrementar el número de fugas visibles y no visibles, principalmente en los Sectores Hidráulicos donde la edad, material y presión de la tubería se combinan para generar un problema con un costo considerable para la Universidad. La falta de mantenimiento que se le brinda a los diversos elementos del sistema los vuelve altamente susceptibles con las consecuencias que un acto de este tipo ocasionaría a la vida diaria dentro de las instalaciones. La falta de planos actualizados de la red de agua genera en muchos casos incertidumbre y poca efectividad sobre todo en los trabajos de reparación de fugas. Por otro lado, personal de la red de agua carece de los elementos necesarios para cumplir con los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo. Es necesario y justo reconocer el trabajo de los operadores que manejan el sistema abastecimiento de agua, su trabajo no es reconocido, es más, muchas veces no es valorado.

Existe entre la comunidad la falsa percepción de no existir un problema de agua en la Universidad, toda vez que el servicio se brinda de manera continua durante todo el año.

Sólo 6% del agua extraída de los pozos se reusa para el riego de áreas verdes, debido en parte a la falta de infraestructura para aguas tratadas, así como a la baja capacidad por parte de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para producir más agua. Las dos plantas de tratamiento de agua a cargo de la DGOyC así como la que está a cargo del Instituto de Ingeniería, no cumplen con la calidad para contacto directo que exige la normatividad mexicana vigente. En Ciudad Universitaria se riegan 155 hectáreas, 50 de ellas se riegan con el agua de la PTAR de Cerro del Agua, las 105 hectáreas restantes con agua potable. Durante 1997 destacan esfuerzos importantes para atender el asunto del agua, muestra de ello fue la perforación de dieciséis pozos de absorción y la construcción y puesta en marcha de veintiséis fosas sépticas. Dicha infraestructura ante la falta de mantenimiento ha quedado obsoleta.

Mediciones recientes muestran que, en promedio, se extraen 100 l/s de los pozos, de los cuales se pierden en fugas 50 l/s. 60.0% de estas pérdidas se concentran en zonas con presiones por arriba de los 5 Kg/cm².

Con la poca información disponible fue posible la modelación matemática del funcionamiento actual de la red que reflejó las características hidráulicas actuales del sistema, estas fueron confirmadas con mediciones en campo. De acuerdo a los resultados de esta modelación, fue posible que la red de distribución se segmentase en cinco Sectores Hidráulicos.

Durante el diseño de los sectores se calculó que en las zonas donde se controlaría la presión nocturna se podrían ahorrar 8 l/s por válvula reductora instalada. Un escenario conservador indica que se puede recuperar del orden de 17 l/s en los sectores con control de presiones. Una vez sectorizada la red, se implementará un programa de detección y reparación de fugas en combinación con la sustitución de tuberías principales lo cual permitirá recuperar un caudal aproximado de 8 l/s, lo que hace un total de 25 l/s recuperados que se pueden utilizar en otras zonas del Campus.

La medición de suministros ha hecho posible analizar información respecto a la magnitud de las fugas al interior de los edificios, así por ejemplo, actualmente se sabe que 75.0% de las fugas se presentan en la red de distribución, 11.0 % en las tomas de agua potable, 6.0% en las

cisternas y 8.0 % en los muebles de baño. Estos datos se estarán actualizando constantemente por lo que seguramente se modificarán en la medida en que se disponga de más información. Los patrones de suministro obtenidos por PUMAGUA muestran la forma y cantidad de agua demandada para los diferentes tipos de usuario que existen en Ciudad Universitaria. Estos mismos análisis muestran que uno de cada dos edificios tiene la probabilidad de presentar fuga; pero sólo uno de cada diez de presentar una fuga de magnitud mayor al 80% del suministro.

En total, con las acciones que PUMAGUA ha estado instrumentado a lo largo de todos estos meses, se han logrado recuperar cerca de 900 m³ de agua por día.

El programa piloto de uso eficiente de agua llevado a cabo en el edificio 5 del Instituto de Ingeniería de la UNAM mostró que la medición es un elemento muy importante en cualquier programa de uso eficiente de agua. Este programa piloto detonó en otras acciones no contempladas en su inicio, por ejemplo, la realización de la feria del baño. En este sentido en México existen normas que establecen criterios que definen el buen funcionamiento de un mueble de baño así como las descargas recomendables que deben garantizar al salir al mercado. Por su parte, las empresas de fabricantes de muebles de baño en los últimos años han desarrollado tecnologías que buscan, entre otros, el ahorro de agua. PUMAGUA ha combinado estas variables permitiendo establecer criterios de selección e instalación de muebles de baño con las diversas tecnologías existentes. Estos criterios y lo que al respecto se ha elaborado en materia de muebles de baño se ha plasmado en un manual que poco a poco se abre paso entre las autoridades universitarias y que por supuesto busca normar la instalación de muebles de baño en la UNAM, al tiempo de capacitar a las diferentes entidades en la evaluación y mantenimiento continuo de los diversos muebles de baño instalados. La feria del baño llevada a cabo en Mayo de 2008 constituyó una excelente oportunidad para conocer toda la clase de tecnologías desarrolladas.

Uno de los aspectos más importantes del programa PUMAGUA ha sido la generación de recursos humanos especializados en el tema del agua.

El trabajo que PUMAGUA ha desarrollado con las distintas entidades universitarias ha permitido establecer algunos indicadores por ejemplo, instalación de medidores, sustitución de muebles de baño, reparación de fugas detectadas, etc.

Aunque los resultados han sido significativos, aun son insuficientes, es necesaria la participación cada vez más activa de parte de la comunidad universitaria. Lograr la participación de toda la comunidad es tal vez el reto más importante, toda vez que el éxito de estos programas está determinado en un 100% en el conocimiento y participación por parte de esta y sus autoridades.

La problemática entorno al agua ha alcanzado a la Universidad Nacional Autónoma de México y la pregunta es ¿Estamos los universitarios dispuestos a contribuir a la solución de este problema? La respuesta que ha recibido PUMAGUA por parte de la comunidad ha sido la de sumar esfuerzos; aunque por momentos las diferencias y luchas de intereses parecen anteponerse a los de la propia institución. PUMAGUA ha destacado como un programa que se está consolidando entre la comunidad como un programa que no sólo busca el ahorro del agua desde el enfoque técnico, si no que va más allá al plantear acciones que involucran a un equipo integral y diversos enfoques.

Consideramos que todas las ideas son una forma de lograr nuestro objetivo, aunque estas en si mismas son insuficientes si no se toman en cuenta y aun más, si no se plasman en el papel y se transforman en acciones. Nuestra Universidad debe demostrar que las ideas no sólo son sinónimo de libertad, si no caminos que nos conducirán a la mejora...





Bibliografía




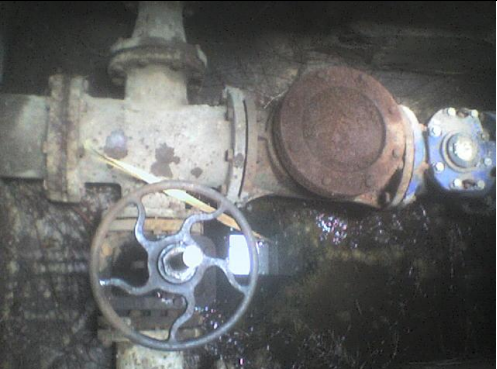
1. Agua y Energía. Watergy. Alliance to Save Energy. 2002
2. Anuario estadístico de la UNAM. Dirección General de Planeación. UNAM: 2005.
3. Anuario estadístico de la UNAM. Dirección General de Planeación. UNAM: 2006.
4. Anuario estadístico de la UNAM. Dirección General de Planeación. UNAM: 2007.
5. Ballesteros Serrano, Oscar Alfredo. Estudio Numérico Experimental de Fugas en Tuberías de Agua Potable. Tesis que para obtener el título de ingeniero. F
6. Capella Vizcaíno, Antonio. Control de Presiones y Reducción de Fugas en la Red de Agua Potable de la Ciudad de México. Enero de 2001.
7. Capella Vizcaíno, Antonio. El problema de las Fugas en México.
8. Cervantes Gutiérrez, Virginia, et. “El agua en la UNAM”. Facultad de Ciencias. 2007.
9. Ciudad de Toronto. Water efficiency program. En:
www.toronto.ca/watereff/washer/index.htm
10. Coloquio – taller sobre medición y auditorías de agua. IMTA. 2008.
11. Conducting a household water audit. Maryland Department of Environmental Water Supply Program. United States. 2006.
12. Desarrollo de un Proyecto de Eficiencia hidráulica. Alliance to Save Energy. V Seminario Nacional de Agua y Energía Watergy. 2008.
13. Distribución del Ingreso y Educación Superior. El caso de la UNAM. Dirección General de Planeación. Coordinación de Planeación. UNAM. 2008.
14. Experiencias Mexicanas en el Desarrollo de Proyectos Watergy. Resultados y Problemas en su implementación. Alliance to Save Energy. VI Seminario Nacional de Agua y Energía Watergy. 2009.
15. Franco Hernández, Luis Eduardo. Cálculo de Redes de Agua Potable Considerando Flujo Permanente. Tesis que para optar por el grado de Maestro en Ingeniería. Director de Tesis: Dr. Óscar Fuentes Mariles. UNAM. 2006
16. Gómez Barrios, Héctor Antonio. Fugas en Redes Domiciliarias y optimización del Agua. Tesis como requisito para obtener el grado de Maestro en Ingeniería. Director de Tesis: Dr. Óscar Fuentes Mariles. UNAM: 2005.
17. González Villarreal, Fernando Jorge, Val Segura, Rafael. Rocha Guzmán, José Daniel. Diagnóstico del Sistema de Agua Potable de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México. PUMAGUA. XX Congreso Nacional de Hidráulica. Toluca. México. Octubre 2008.





18. Herramientas y tecnologías para el ahorro del agua y energía en los organismos operadores. INDAGA. Alliance to Save Energy. . V Seminario Nacional de Agua y Energía Watergy. 2008.
19. <http://bine.org.mx/node/838>
20. http://facilities.stanford.edu/conservation/FINALStanfordConservation_Recommended_Plan10_16_033.pdf
21. <http://hiahel204.googlepages.com/cu>
22. http://www.100.unam.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=111&Itemid=81
23. <http://www.unam.mx/patrimonio/creacion.html>
24. Informe PUMAGUA. 2008.
25. Informe de implementación de metodología de uso eficiente de agua en el edificio 5 del Instituto de Ingeniería. PUMAGUA: 2009.
26. La sectorización como solución. Prohidro. Alliance to Save Energy. . V Seminario Nacional de Agua y Energía Watergy. 2008.
27. Leal, Felipe. La Ciudad Universitaria de la UNAM. Patrimonio vivo de la humanidad.
28. Ley de Aguas Nacionales.
29. Machán Peña, Johny, et. La sectorización de las redes de agua potable y su efecto multipropósito sobre la calidad de los servicios. Presentación del caso EMAPA HUACHO S. A.
30. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. **Modelación hidráulica y de calidad del agua en redes de agua potable.**
31. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. **Redes de Distribución.**
32. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. **Guía de diseño de redes de agua potable con uno o más tanques y fuentes de abastecimiento.**
33. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. **Esquema Básico del control de fugas.**
34. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. **Tomas domiciliarias.**
35. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. **Selección e Instalación de equipos de Macro medición.**
36. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. **Fuentes de Abastecimiento.**
37. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. 2007. **Alcantarillado Sanitario.**
38. Manual de Auditorias de Agua en Inmuebles Federales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. México: 2008.
39. Manual de Incremento de Eficiencia Física. Hidráulica y Energética en sistemas de Agua Potable. Versión Preliminar. CONAGUA. Septiembre de 2009.





40. Ochoa Alejo, Leonel. Incremento de la eficiencia a través de distritos hidrométricos de distribución de agua potable. IMTA: 2005
41. Ochoa Alejo, Leonel. Reducción Integral de Pérdidas de Agua Potable. IMTA. 2006
42. Ochoa Alejo, Leonel. Fugas de Agua Potable: preparativos, selección de equipo y personal, formatos, inspección inicial y puntualización de la fuga, medición y registro de fugas descubiertas. Alliance to Save Energy. V Seminario Nacional de Agua y Energía Watergy. 2008.
43. Ochoa Alejo, Leonel. Políticas y Resultados de Programas de Uso Eficiente de Agua en México. IMTA. Feria del Agua en Santiago de Cali. Colombia. 2004.
44. Orientaciones Estratégicas del 1er Encuentro Universitario del Agua. Documento Integrado. UNAM: 2006.
45. Orientaciones Estratégicas del 2do Encuentro Universitario del Agua. Documento Integrado. UNAM: 2009.
46. Palacios Fonseca, Ana. Revisión hidráulica y sectorización de una red de distribución de agua potable y su aplicación a la zona poniente de Tepic, Nayarit. Tesis como requisito para obtener el grado de Maestro en Ingeniería. Director de tesis: Dr. Óscar Fuentes Mariles. 2007
47. Proyecto de Eficiencia Hidráulica y Energética del Sistema de Agua Potable de Zihuatanejo, Guerrero. Programa Watergy en México de la Alliance to Save Energy. 2007
48. Rehabilitación y Renovación de Redes de Agua. El Índice de Fugas Estructura. (IFE). Universidad Politécnica de Valencia. 2009.
49. Rodríguez Valencia, Joaquín. “Cómo aplicar la Planeación Estratégica a la pequeña y mediana empresa”. CENGAGE Learning. 5ta edición. México; 2008.
50. Sánchez Cruz, José Alberto. Un Método para rehabilitar redes de agua potable basado en un algoritmo genético. Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería. Director de tesis: Dr. Óscar Fuentes Mariles. 2007
51. Tecnologías de Macro y micro medición. Badger Meter de las Américas. Alliance to Save Energy. . V Seminario Nacional de Agua y Energía Watergy. 2008.
52. Telemetría y Automatización. SAPAL. Alliance to Save Energy. . V Seminario Nacional de Agua y Energía Watergy. 2008.
53. Vargas Escobar, María Victoria. Proyecto de Sectorización de la Ciudad de Lima y Callao. Perú: Marzo del 2001
54. Water Conservation, Reuse and Recycling Master Plan. Final. Standford University. United States: October 2003.
55. Water Distribution System Analysis. Field Studies, Modeling and Management. A reference guide for utilities. EPA. 2005.
56. Water Efficiency Manual for commercial, industrial and Institutional facilities, North Carolina Department of Environmental and Resources. United States, 2007.
57. www.awwa.org.

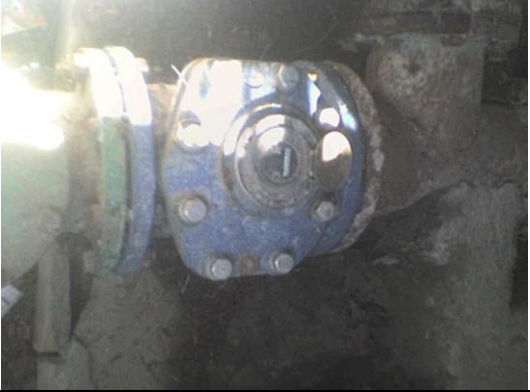



Anexo 1. Inventario de medidores.




<p>1</p>		<p>Sector Hidráulico II. Facultad de Ingeniería. Posgrado Edificio Valdéz Vallejo. Medidor de 2". No funciona</p>
<p>2</p>		<p>Sector Hidráulico II Facultad de Contaduría y Administración. Toma 1 Medidor de 6". No funciona</p>
<p>3</p>		<p>Sector Hidráulico II Facultad de Contaduría y Administración. Toma 2. Medidor de 2". No funciona</p>
<p>4</p>		<p>Sector Hidráulico I Facultad de Economía. Toma 1. Medidor de 4". No funciona</p>



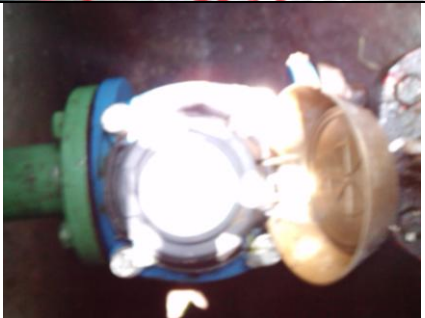
5		<p>Sector Hidráulico I Facultad de Derecho. Toma 1. Medidor de 4” No funciona</p>
6		<p>Sector Hidráulico I Facultad de Odontología. Toma 1. Medidor de 6” No funciona</p>
7		<p>Sector Hidráulico I Facultad de Ingeniería. Edificio principal. Toma 2. Medidor de 4” No funciona</p>
8		<p>Sector Hidráulico I Facultad de Medicina. Toma 1. Medidor de 8” No funciona</p>




<p>9</p>		<p>Sector Hidráulico II Facultad de Ingeniería. Anexo Toma 3. Medidor de 2” No funciona</p>
<p>10</p>		<p>Sector Hidráulico II Facultad de Filosofía Toma 1. Medidor de 4” No funciona</p>
<p>11 y 12</p>		<p>Sector Hidráulico I Facultad Derecho. Anexo de derecho (izquierda) Posgrado de derecho (Derecha) Toma 1. Medidores de 4”y 2” No funciona</p>
<p>13</p>		<p>Sector Hidráulico II Facultad Ingeniería. Anexo Toma 4. Medidores de 4” Si Funciona</p>

<p>14</p>		<p>Sector Hidráulico IV Estadio Olímpico. Toma 1. Medidor de 12” Si Funciona</p>
<p>15</p>		<p>Sector Hidráulico IV Proveeduría. Toma 1. Medidor de 4” No funciona</p>
<p>16</p>		<p>Sector Hidráulico IV Talleres de conservación. Toma 1. Medidor de 4” No funciona</p>
<p>17</p>		<p>Sector Hidráulico IV DGOC. Toma 1. Medidor de 2” No funciona</p>

<p>18</p>		<p>Sector Hidráulico V Facultad de Psicología Toma 1. Medidor de 6” No funciona</p>
<p>19</p>		<p>Sector Hidráulico II Facultad de Ingeniería. Anexo. Biblioteca Toma 4. Medidor de 2” Si Funciona</p>
<p>20</p>		<p>Sector Hidráulico I Biblioteca Central. Fuente Toma 1. Medidor de 2” No funciona</p>
<p>21</p>		<p>Sector Hidráulico I Facultad de Derecho. Anexo Toma 1. Medidor de 2” No funciona</p>

<p>22</p>		<p>Sector Hidráulico I DGOSE Toma 1. Medidor de 4" No funciona</p>
<p>23</p>		<p>Sector Hidráulico I RECTORÍA Toma 1. Medidor de 2" No funciona</p>
<p>24</p>		<p>Sector Hidráulico IV DGAD Toma 1. Medidor de 2" No funciona</p>

25		<p>Sector Hidráulico I PTAR. Cerro del Agua Toma 1. Medidor de 4” No funciona</p>
26		<p>Sector Hidráulico I Facultad de Arquitectura Toma 1. Medidor de 6” No funciona</p>
27		<p>Sector Hidráulico I Zona Comercial Toma 1. Medidor de 2” No funciona</p>
28		<p>Sector Hidráulico I SUA Toma 1. Medidor de 2” No funciona</p>
29		<p>Sector Hidráulico I IMAS Toma 1. Medidor de 4” No funciona</p>
30		<p>Sector Hidráulico I Instituto de Química Toma 1. Medidor de 2” No funciona</p>

<p>31</p>		<p>Sector Hidráulico II Facultad de Filosofía Toma2. Medidor de 4” No funciona</p>
<p>32</p>		<p>Sector Hidráulico IV Casa Club del Académico Toma1. Medidor de 4” No funciona</p>
<p>33</p>		<p>Sector Hidráulico V Instituto de Biología Toma1. Medidor de 4” No funciona</p>