

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.

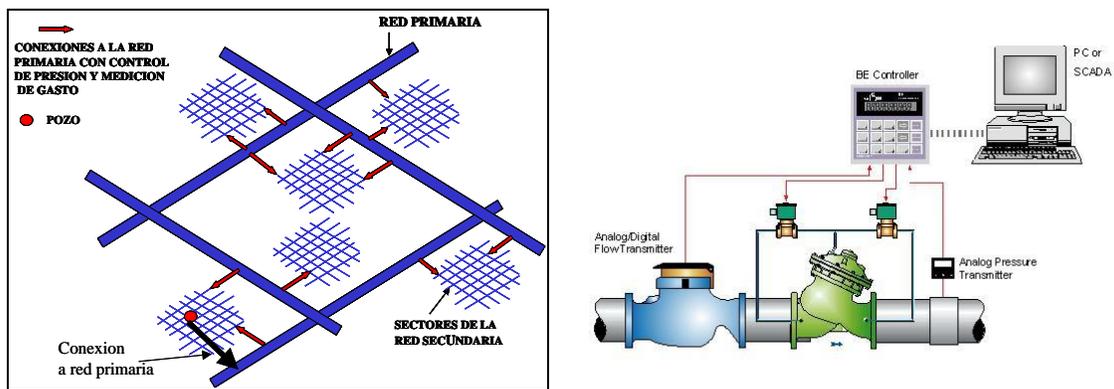


Figura 1. Sectorización de una red de abastecimiento con control de presiones y medición de gasto

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:

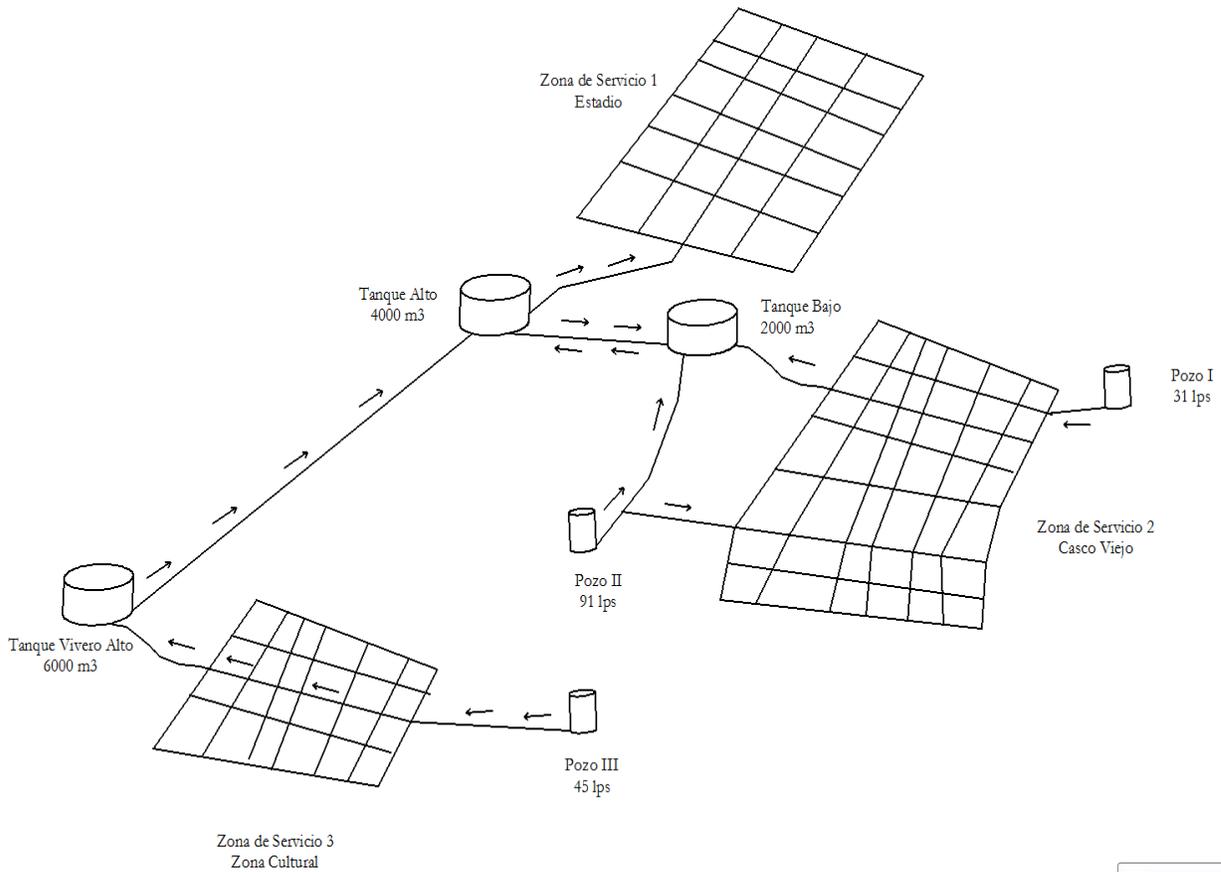


Figura 2. Zonas de servicio en Ciudad Universitaria.

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)

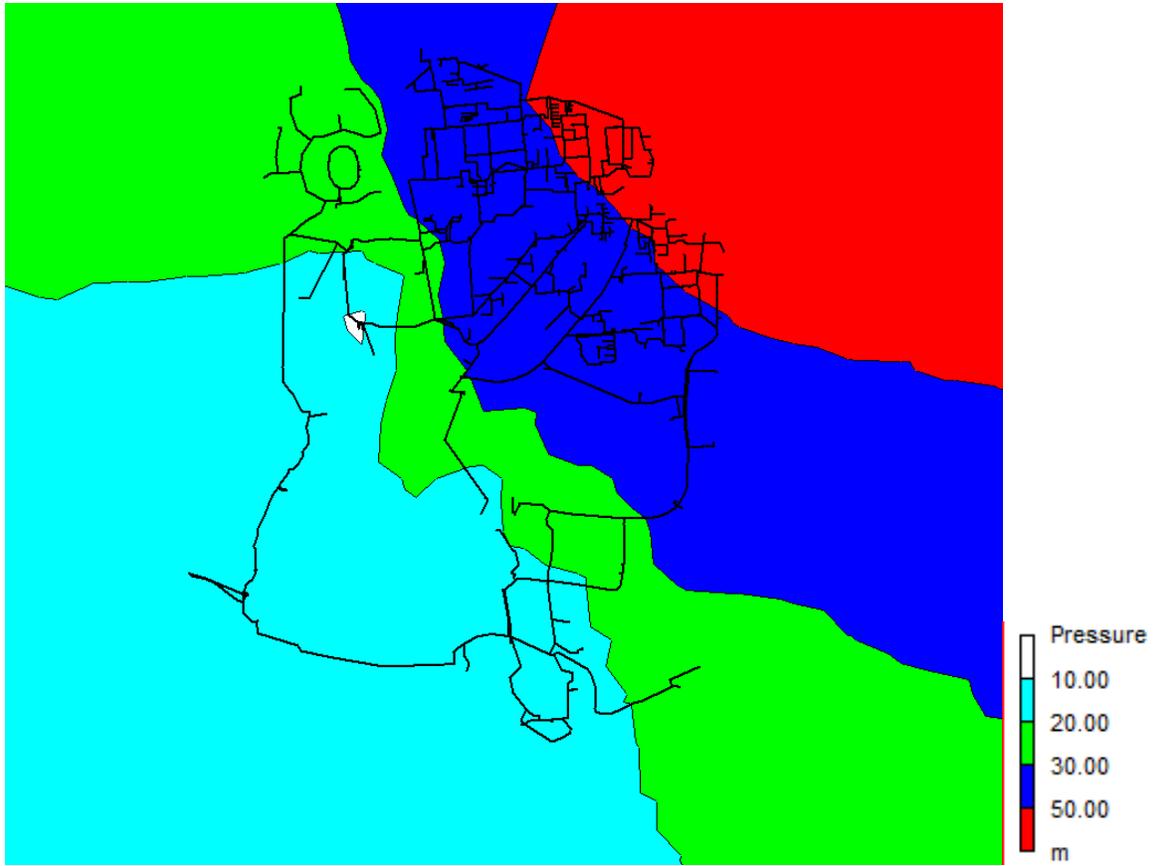


Figura 3. Curva de Isopresiones en la Red de distribución de agua potable. Las unidades de presión son metros de columna de agua.

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)

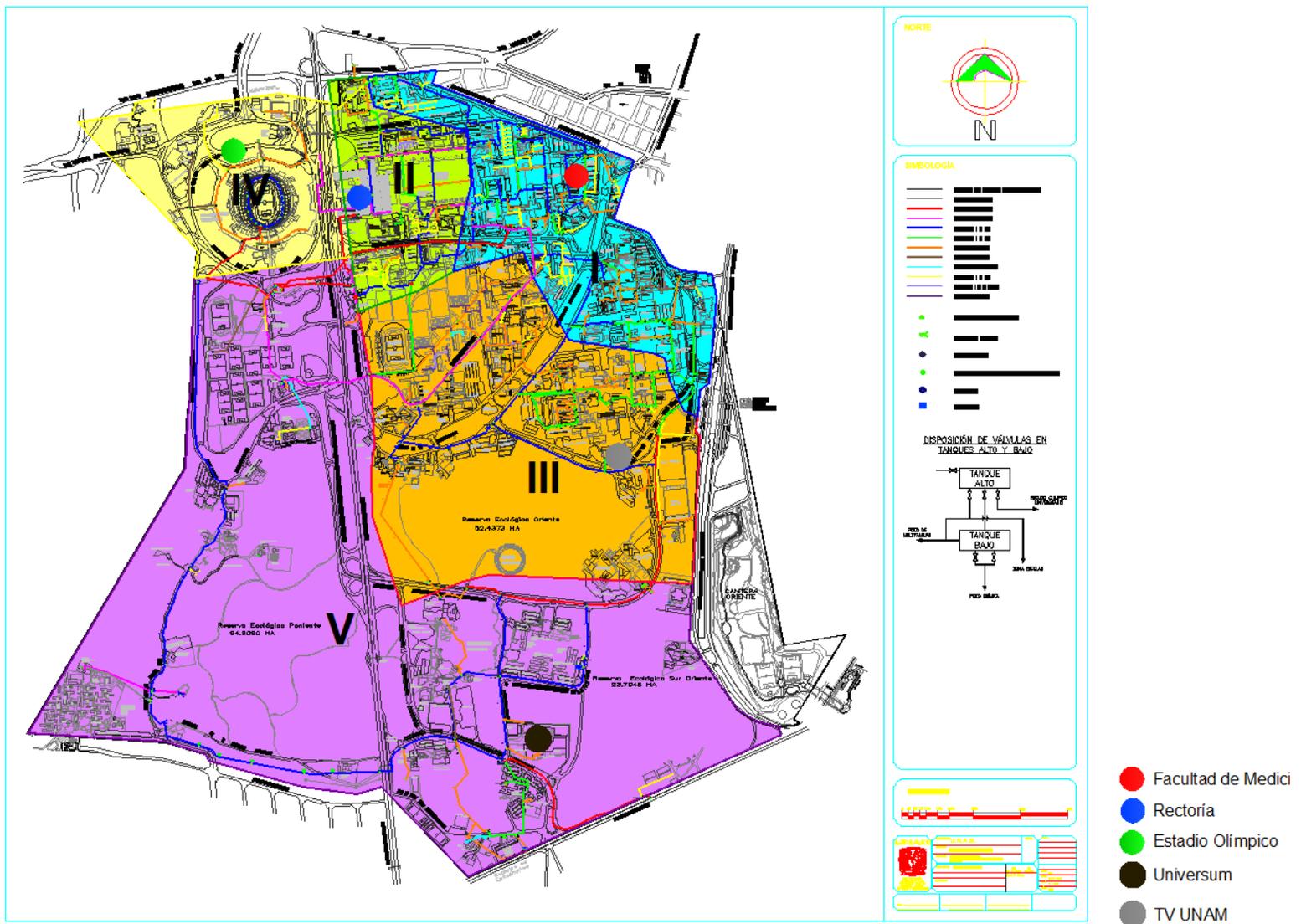


Figura 4. Sectores Hidráulicos para la red de distribución de agua potable.

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).

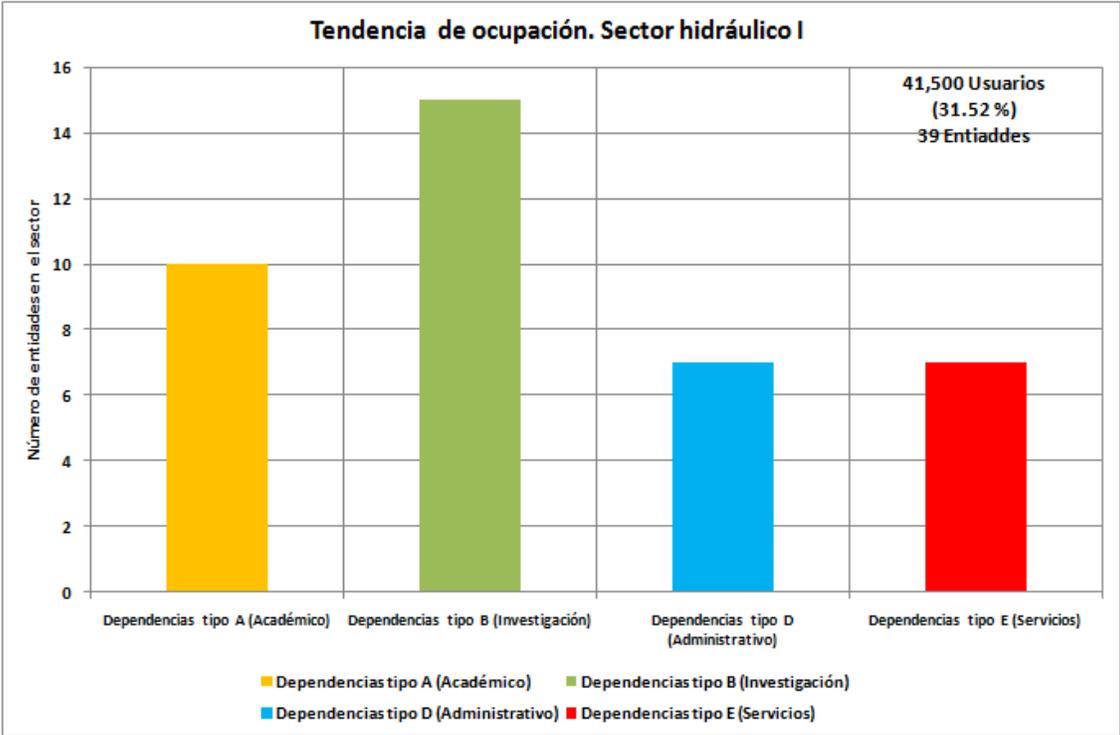


Figura 5. Tendencia de dependencias en el Sector I Hidráulico.

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

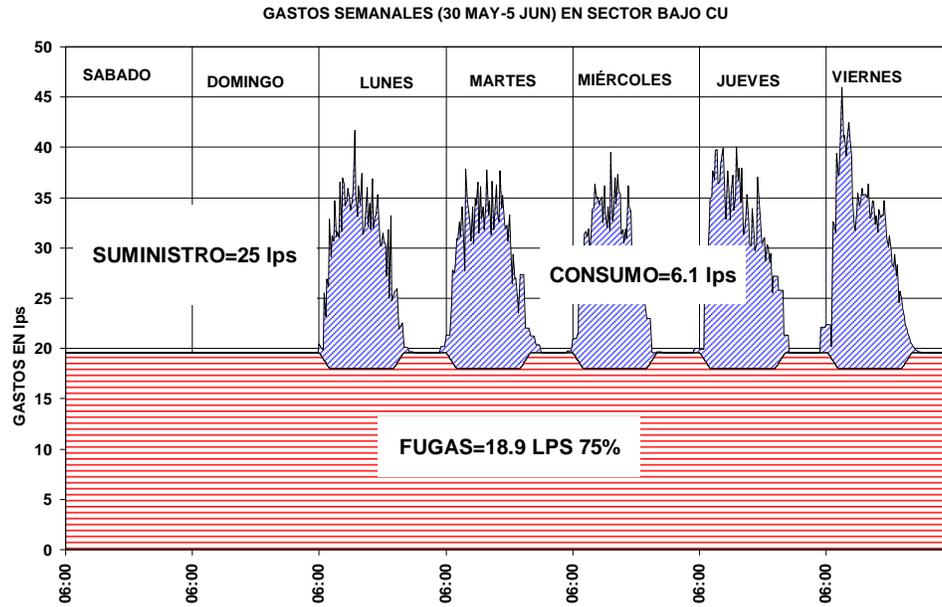


Figura 6. Suministro y pérdidas de agua en el sector hidráulico I.

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

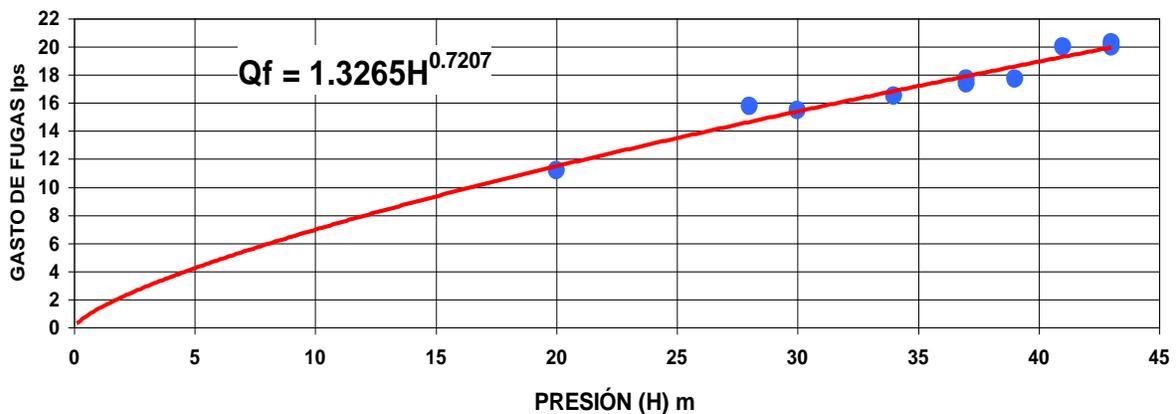


Figura 7. Relación Presión – Fugas del Sector Hidráulico I.

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

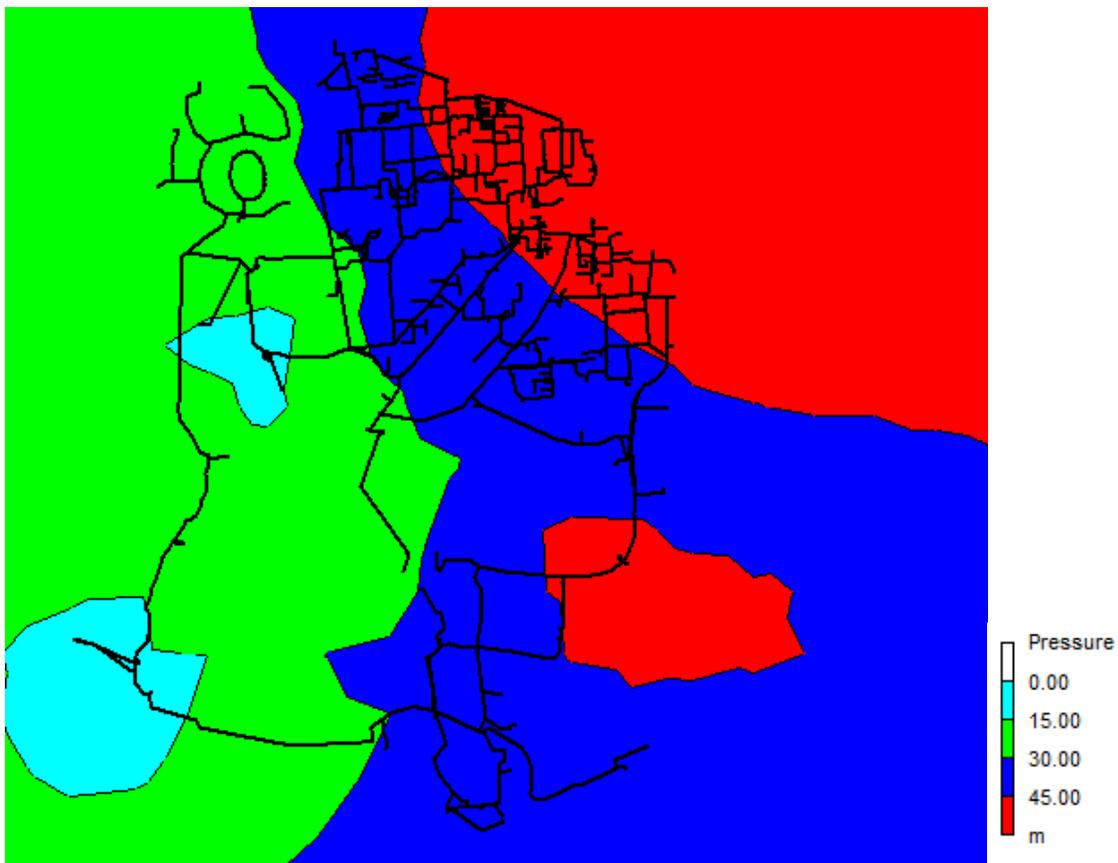


Figura 8. Reducción de pérdidas de agua con la instalación de la VRP en el Sector I Sin control de presiones.

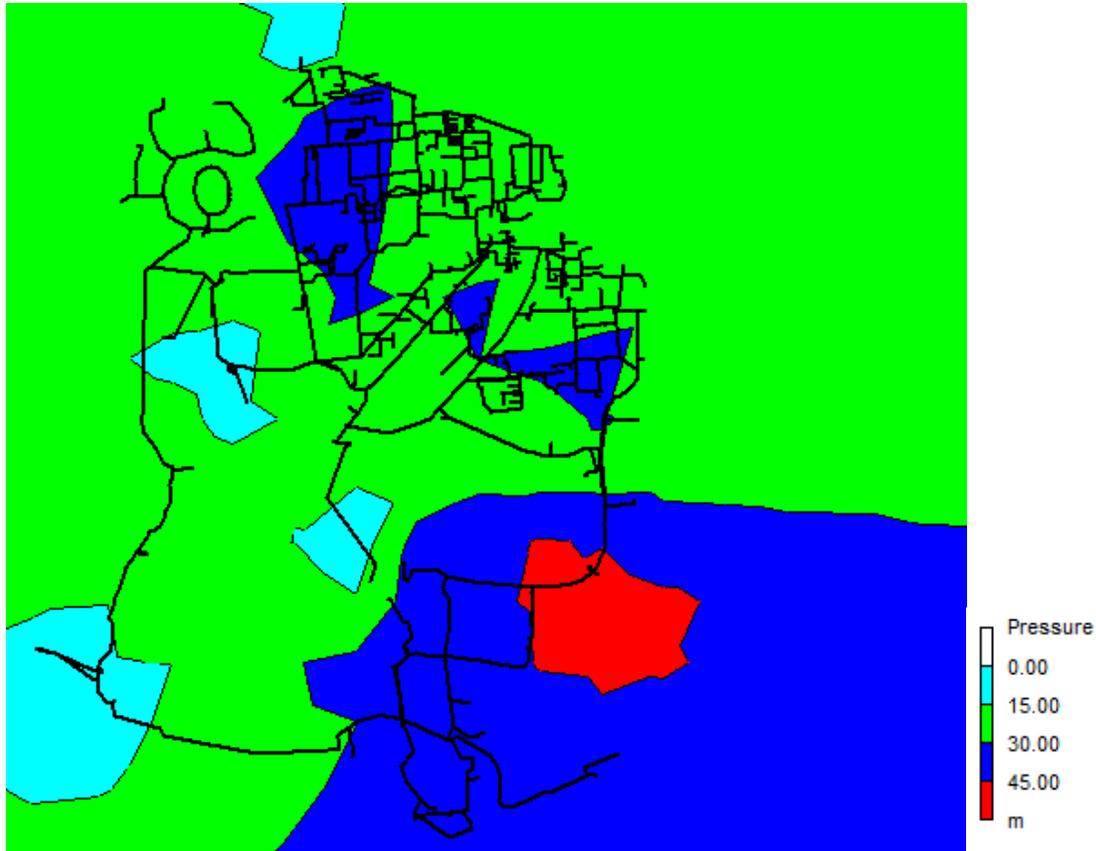


Figura 9. Reducción de pérdidas de agua con la instalación de la VRP en el Sector I con control de presiones.

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.

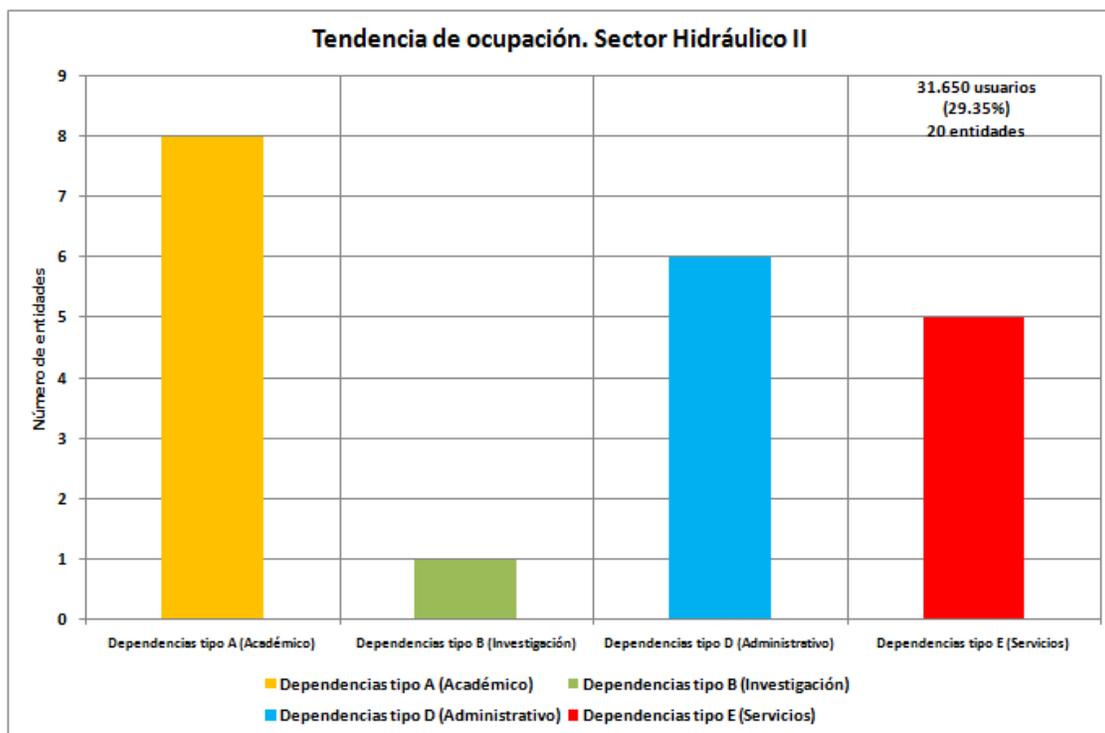


Figura 10. Tendencia de entidades en el Sector Hidráulico II.

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.

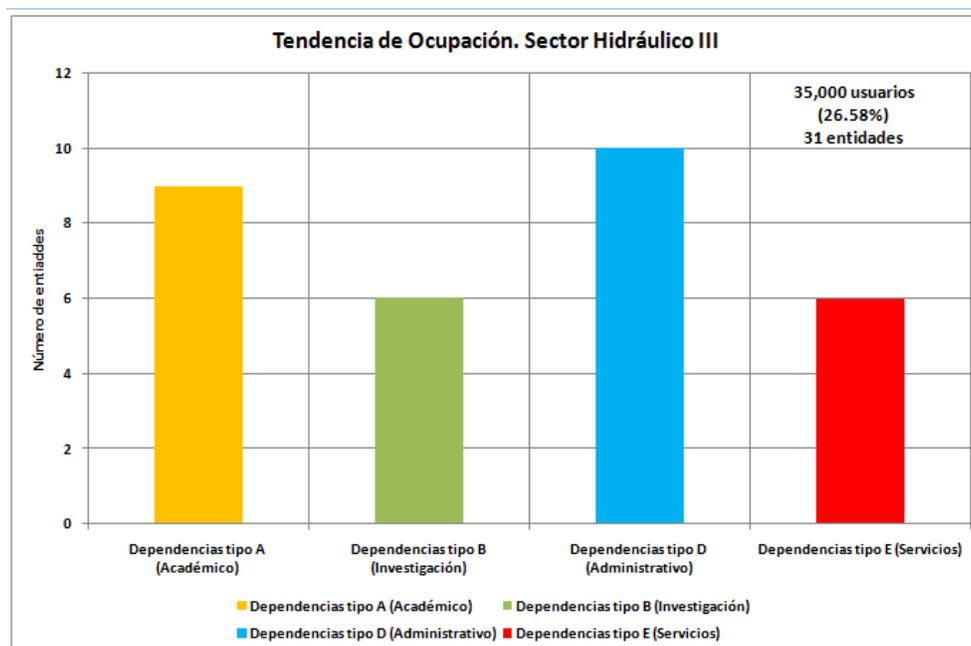


Figura 11. Tendencia de entidades en el Sector Hidráulico III.

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

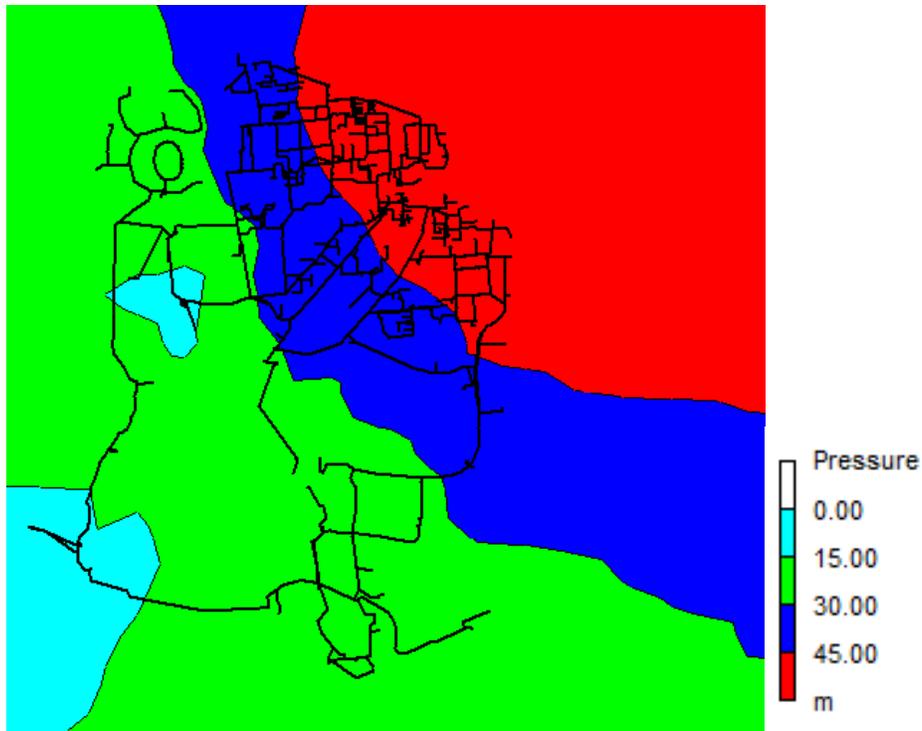


Figura 12. Reducción de pérdidas de agua con la instalación de la VRP en el Sector Hidráulico III sin control de presiones.

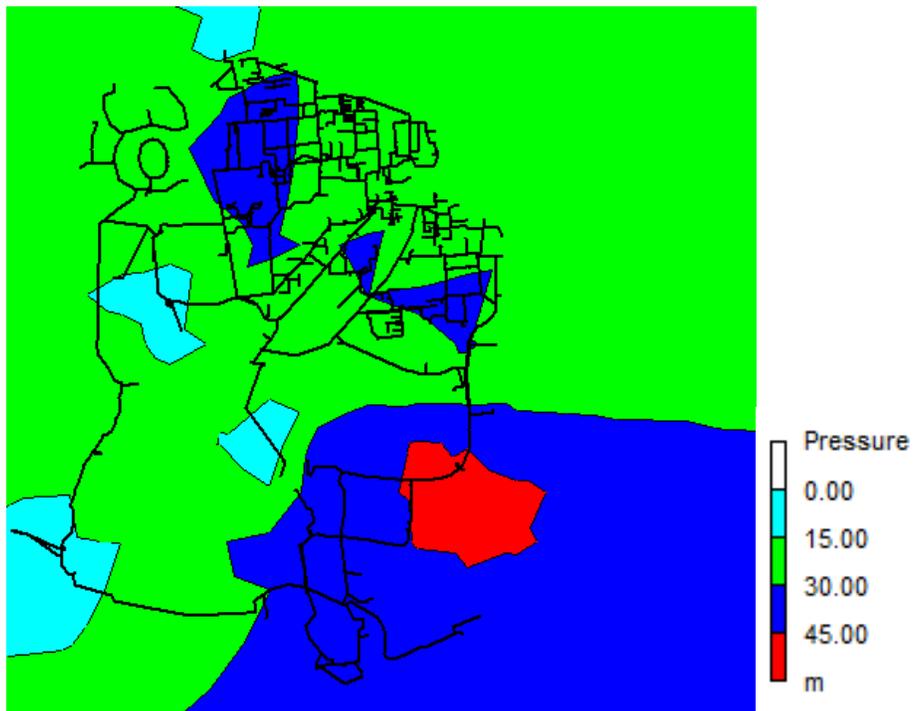


Figura 13. Reducción de pérdidas de agua con la instalación de la VRP en el Sector Hidráulico III con control de presiones.

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.

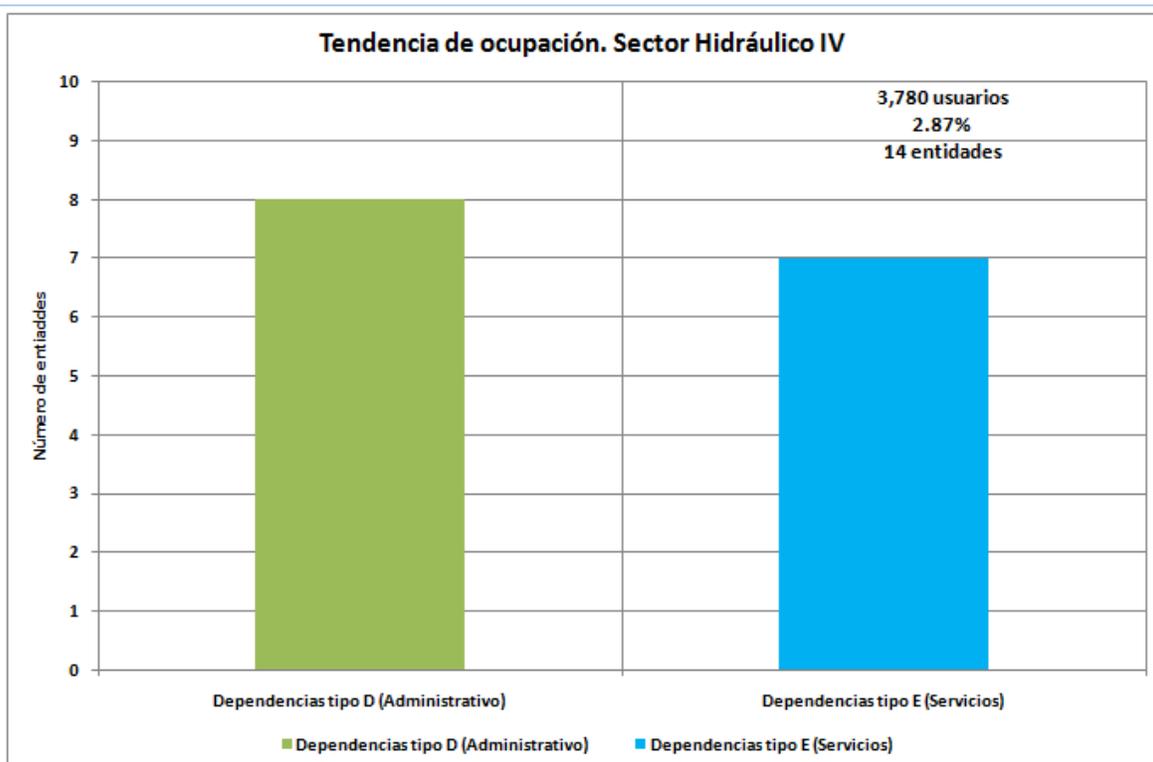


Figura 14. Pérdidas en el Sector Hidráulico IV.

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.

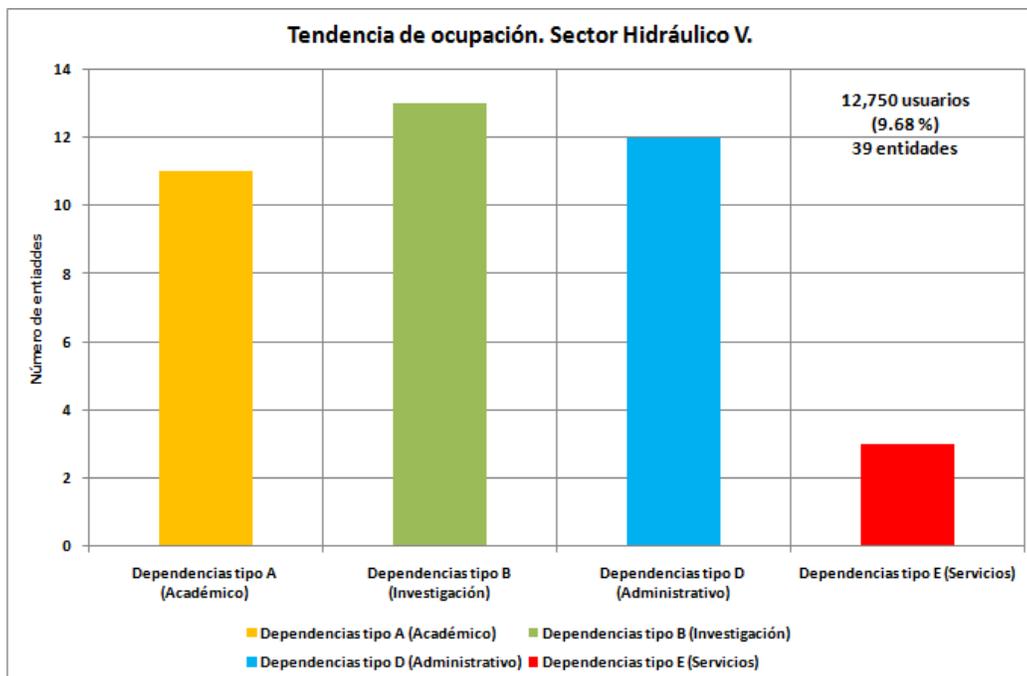


Figura 15. Pérdidas en el Sector Hidráulico V.

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

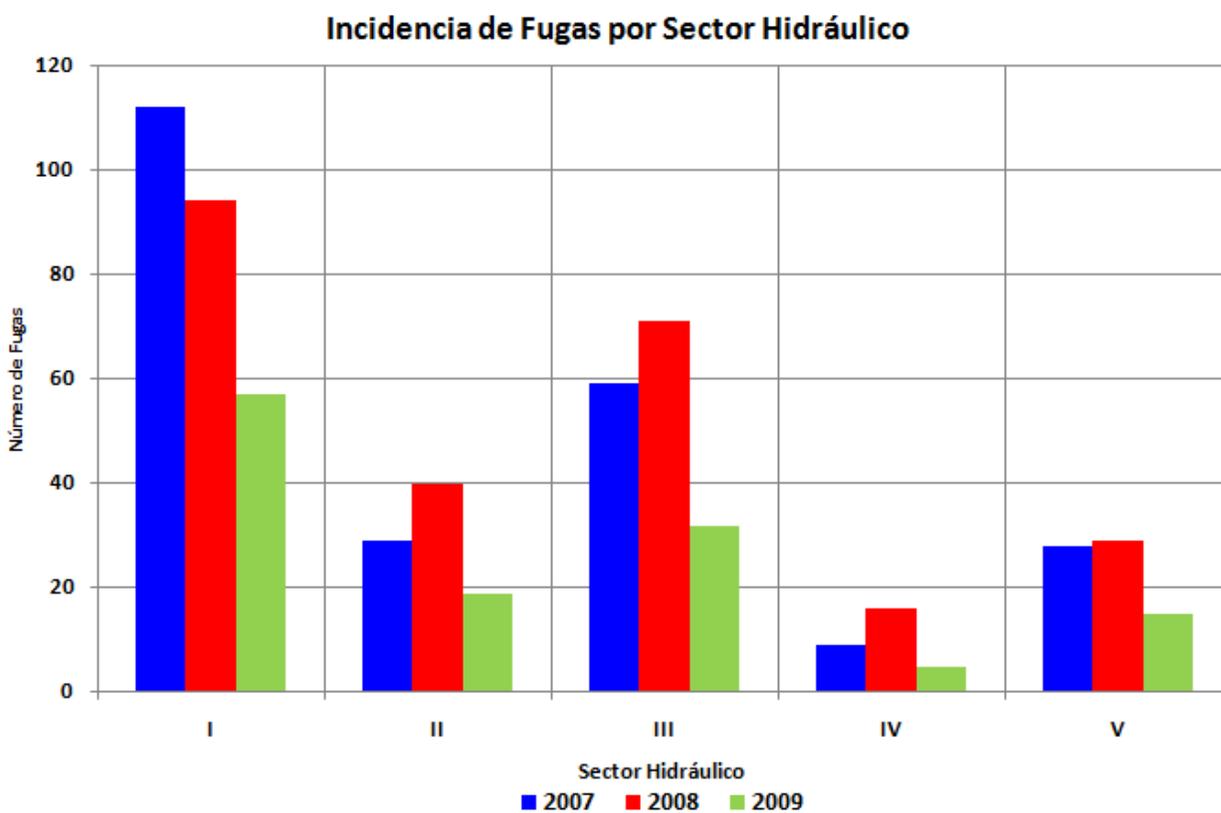


Figura 16. Incidencias de fugas por sector hidráulico. FUENTE. DGOyC. UNAM

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 ($\pm 0.05\%$) 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

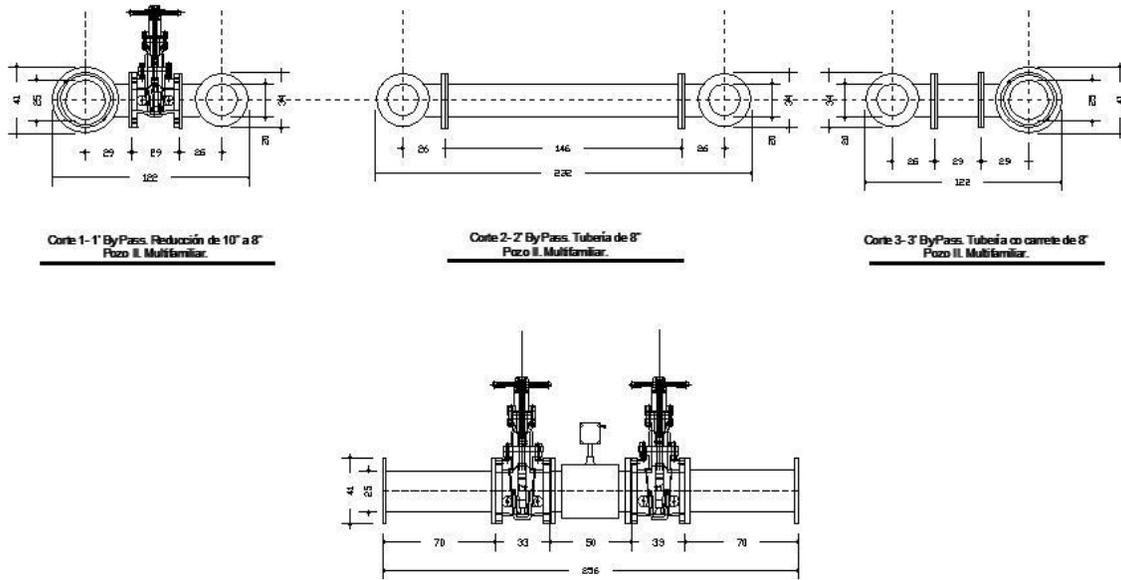


Figura 18. Dimensiones del arreglo propuesto para Medidor Electromagnético en Pozo II.



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 m^3), 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.

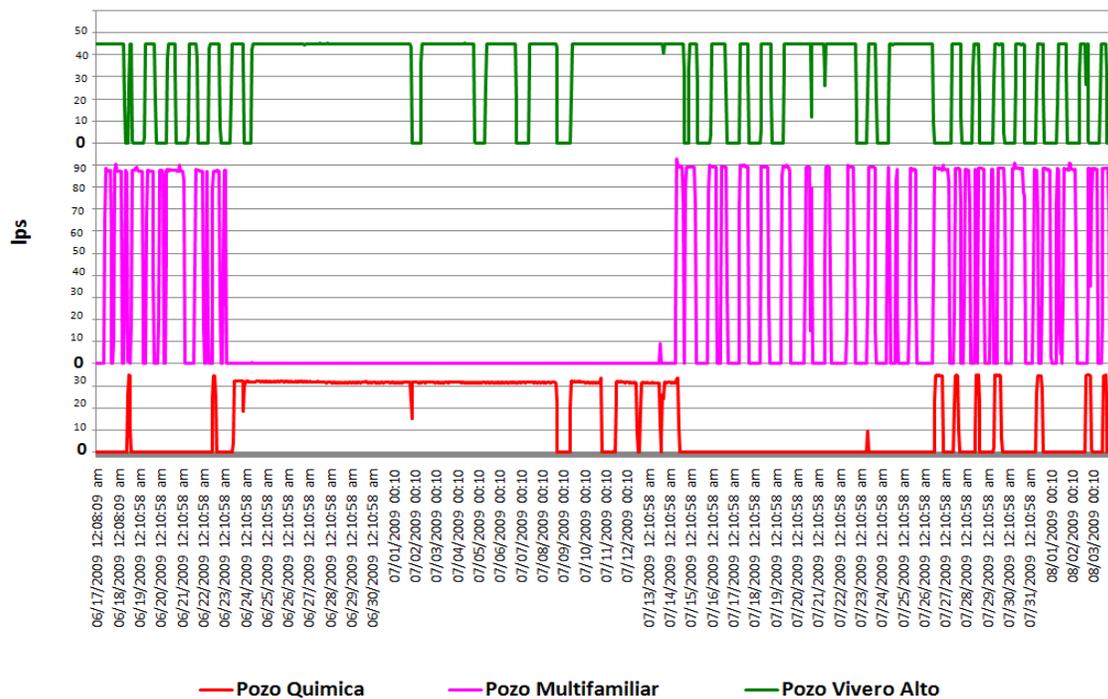


Figura 22. Extracción de agua de los pozos.

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

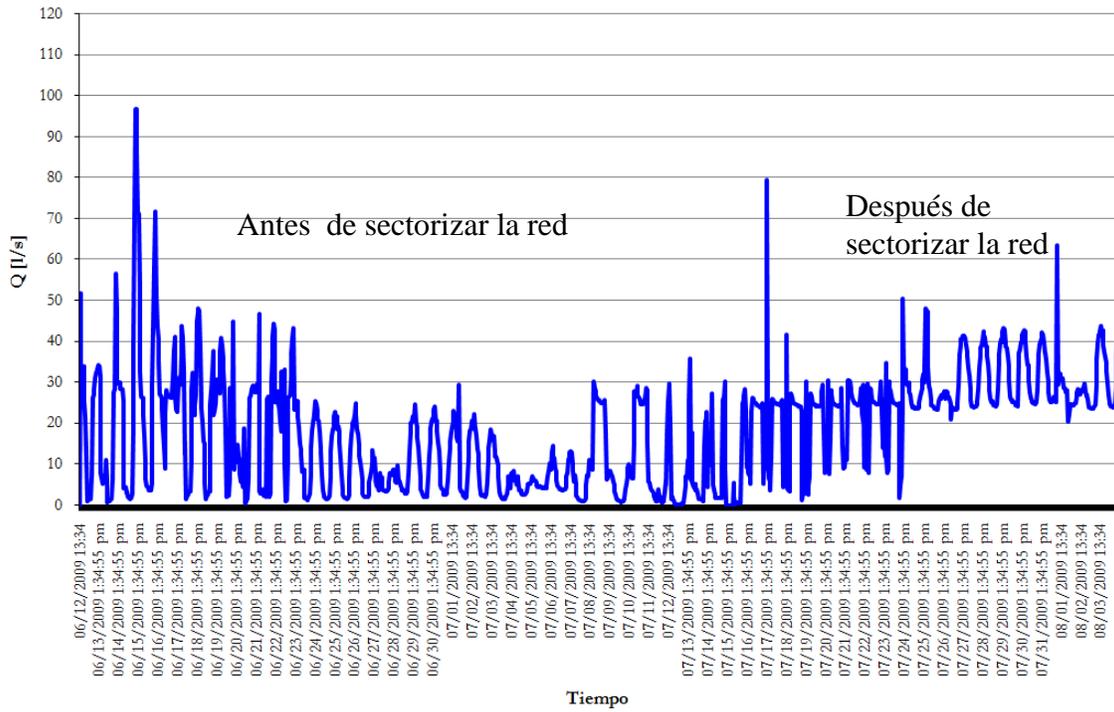


Figura 23. Suministro de agua desde Tanque Bajo a los sectores I y II.

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

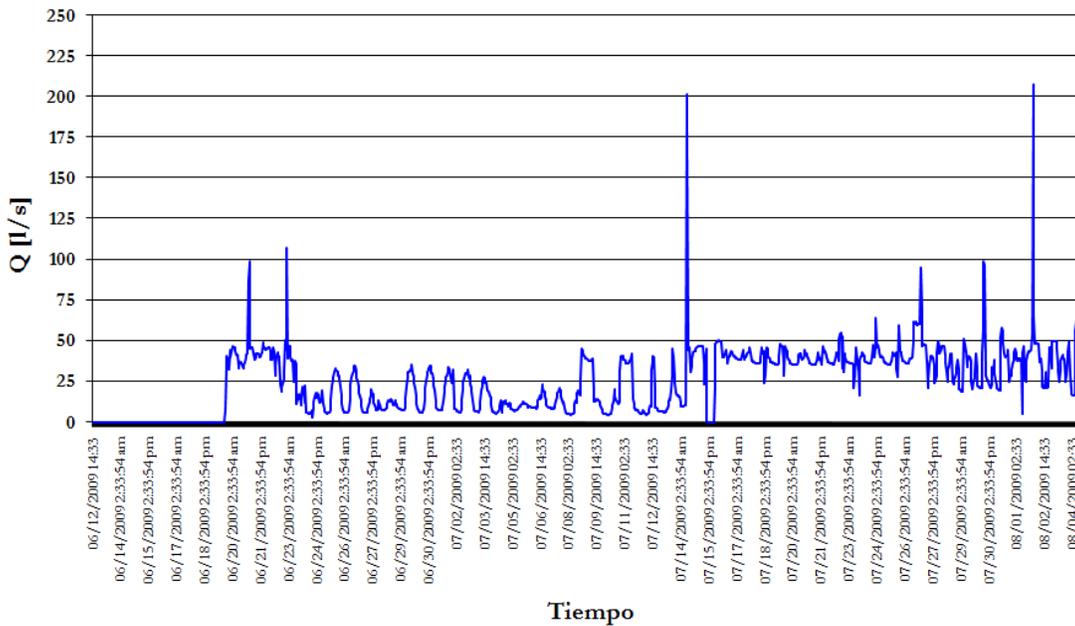


Figura 24. Rebombeo entre Tanque Bajo y Tanque Alto.

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.

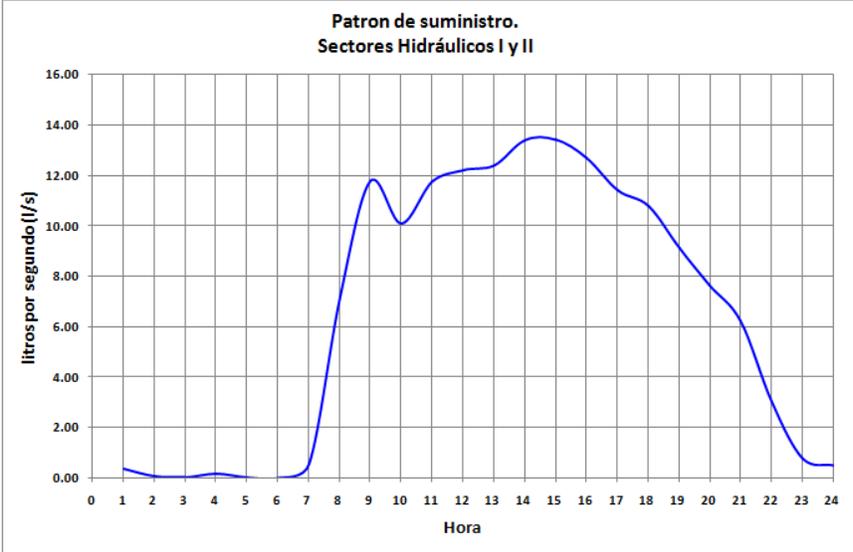


Figura 25. Patrón de suministro de los sectores I y II, respectivamente.

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).

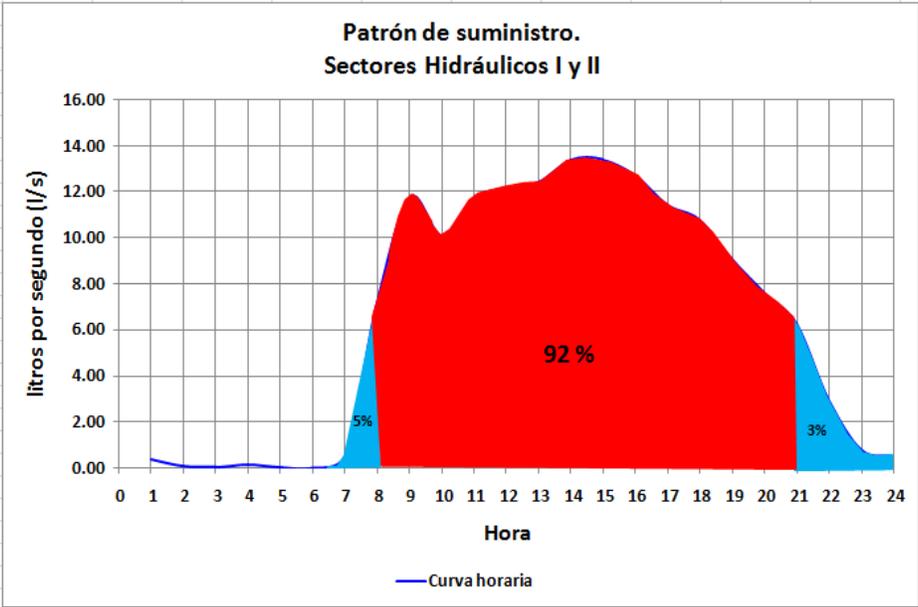


Figura 26. Comportamiento del consumo en los sectores I y II.

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:

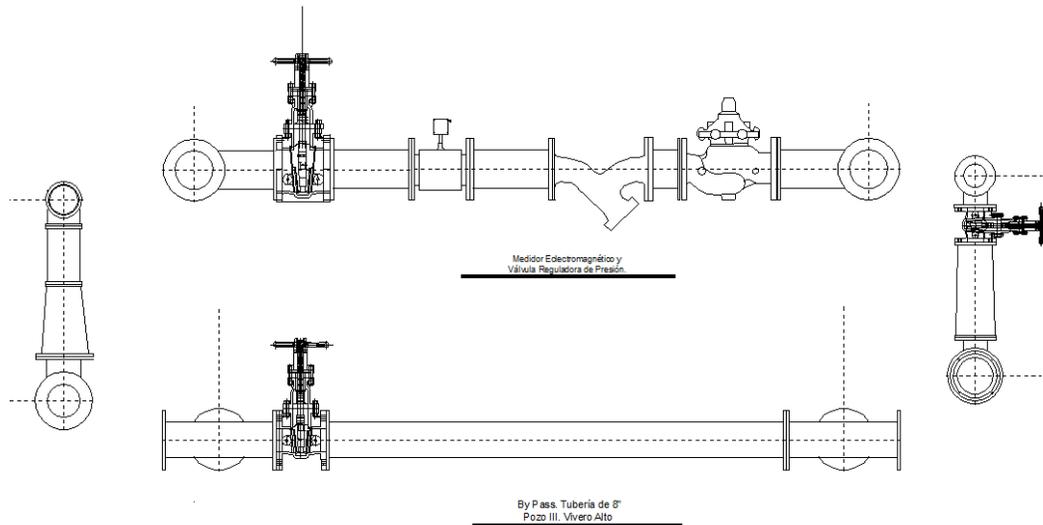


Figura 27. Arreglo de medición y control de presiones propuestos por PUMAGUA a instalarse en los sectores I y III.

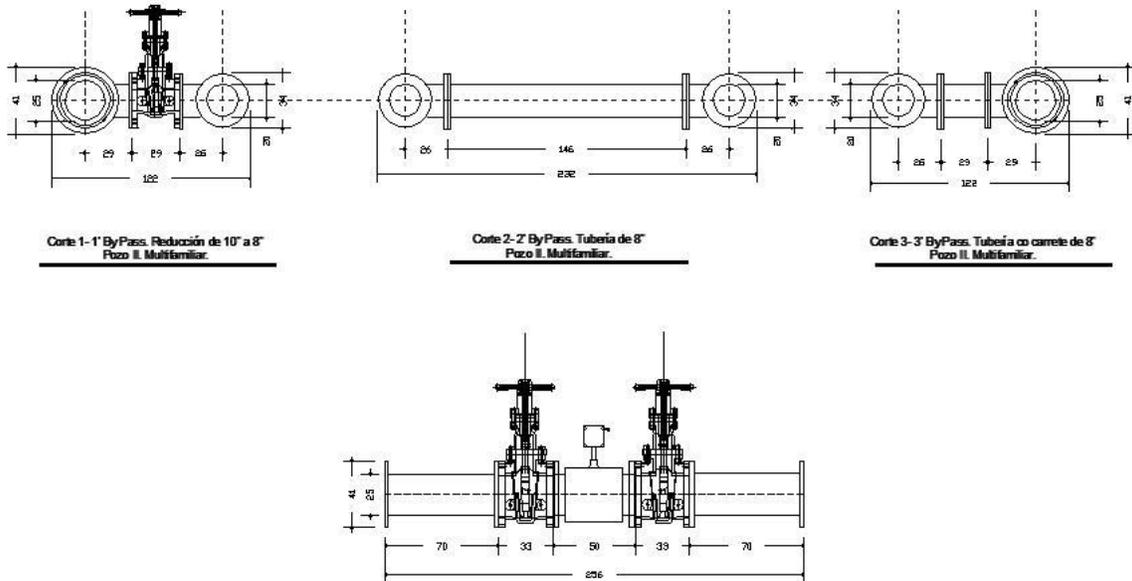


Figura 28. Arreglo de medición y control de presiones propuestos por PUMAGUA a instalarse en los sectores II, IV y V.

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.

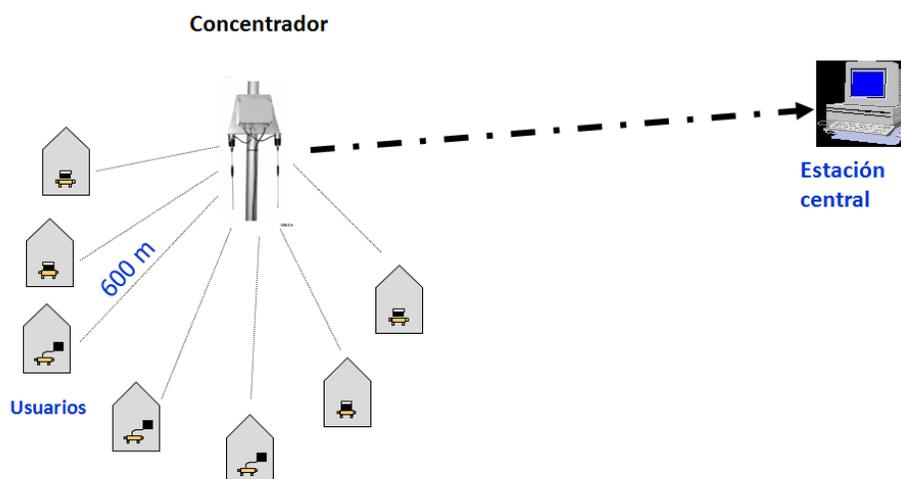


Figura 29. Esquema del sistema de medición por radiofrecuencia implementado por PUMAGUA. FUENTE: Badger Meter S.A de C.V.

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 GEOLOGIA	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 CINEMATOGRAFICAS	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

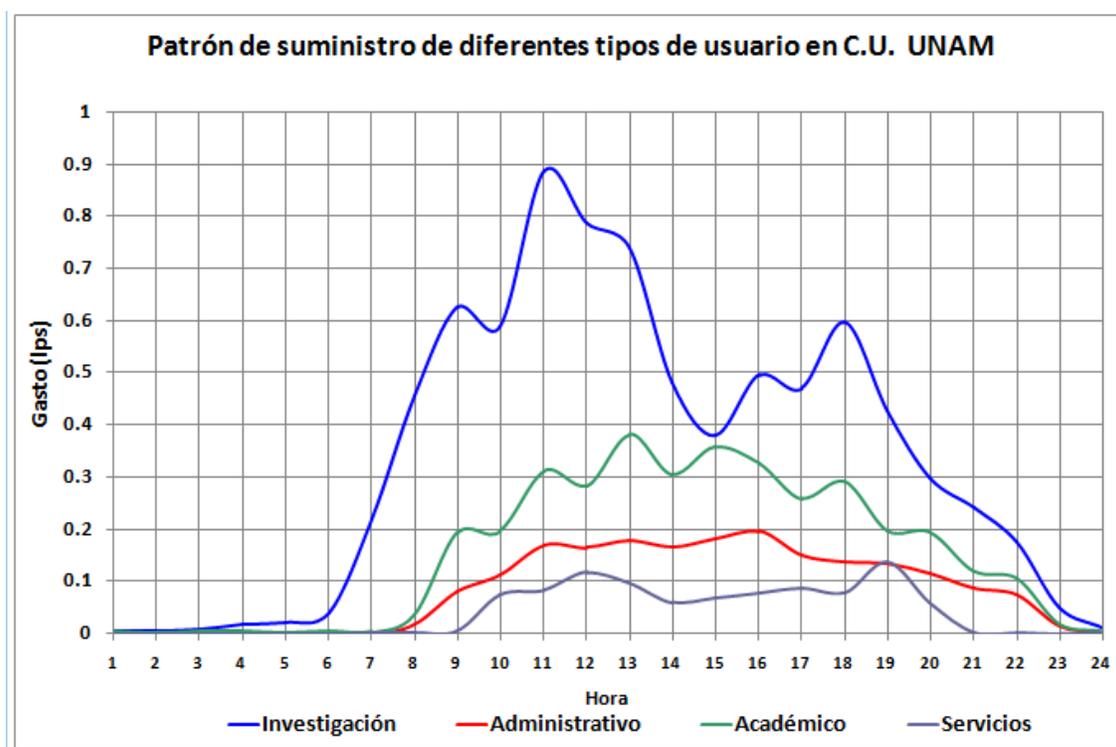


Figura 30. Patrón de consumo para diferentes tipos de usuario presentes en Ciudad Universitaria de la UNAM.

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.

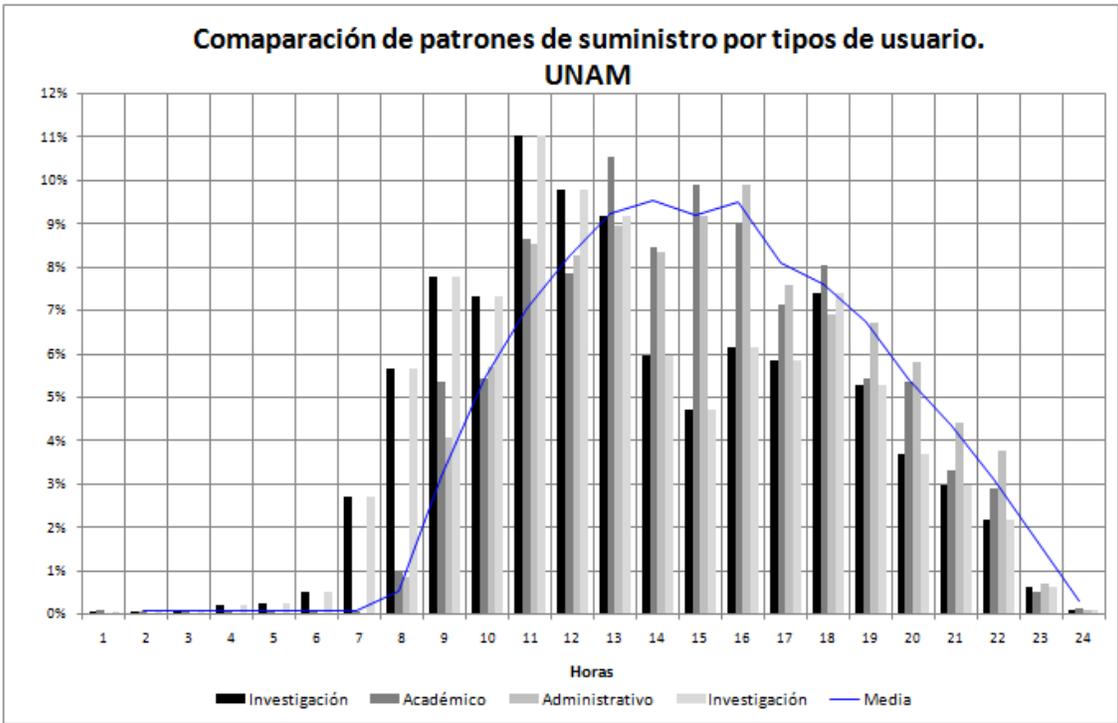


Figura 31. Comparación de suministro horario por tipo de usuario en términos del total del suministro por tipo de usuario. De las 0:00 hrs a las 7:00 hrs se presenta el 1.21 % de la demanda; de las 7:01 hrs a las 22:00 hrs el 98.23 % y de las 22:01 hrs a las 23:59 hrs el 0.57%.

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.

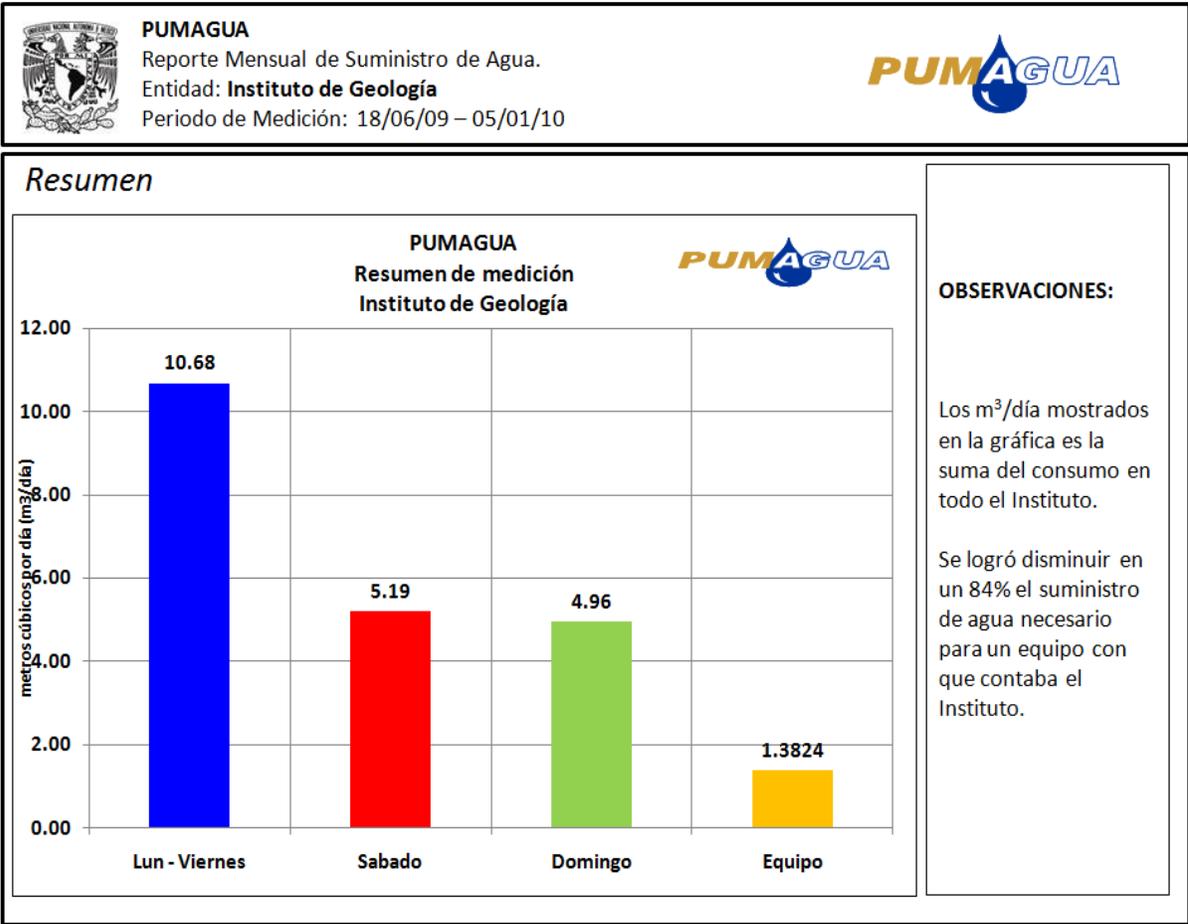


Figura 32. Informe de agua enviado por PUMAGUA a las dependencias que cuentan con medidor instalado.

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.

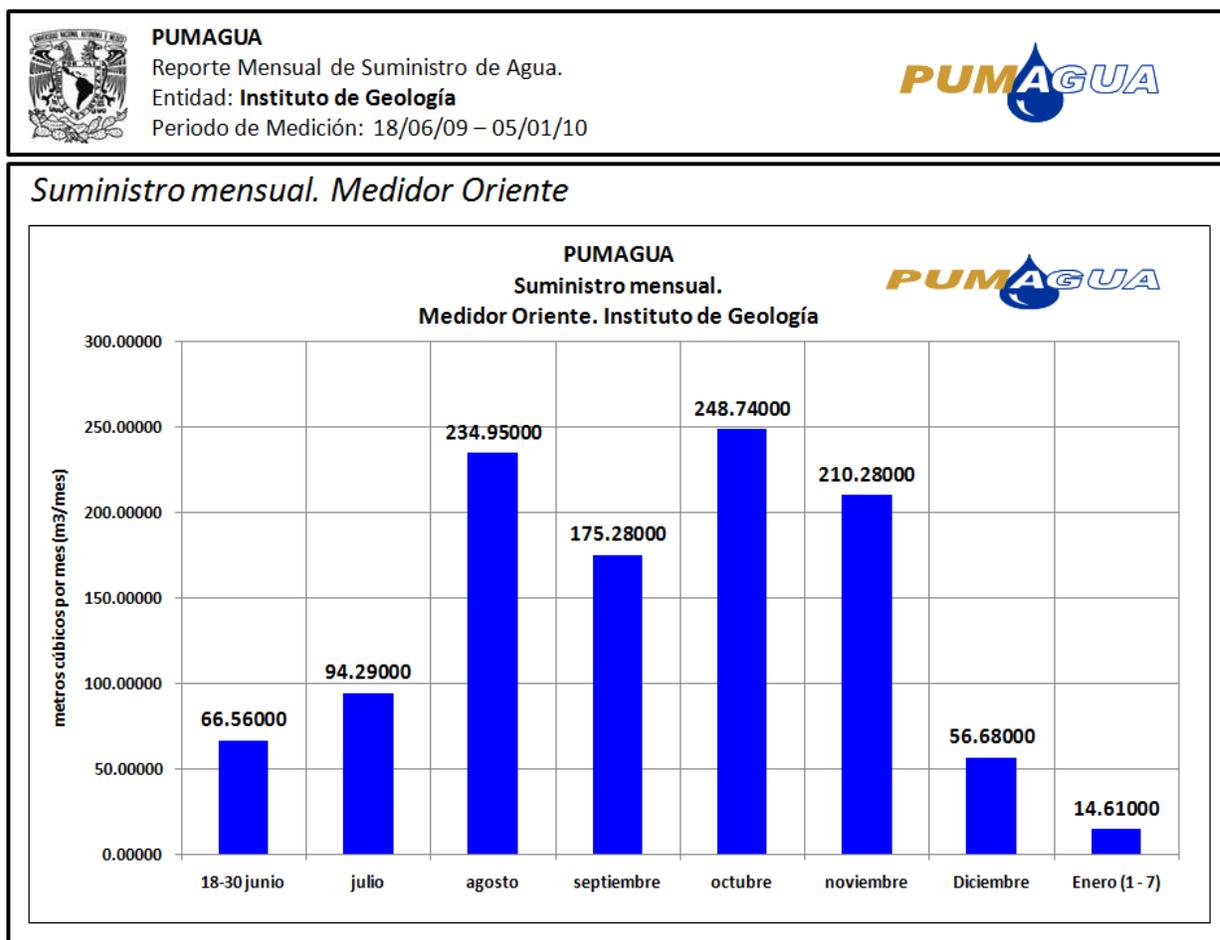


Figura 33. Reporte del suministro mensual.

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.

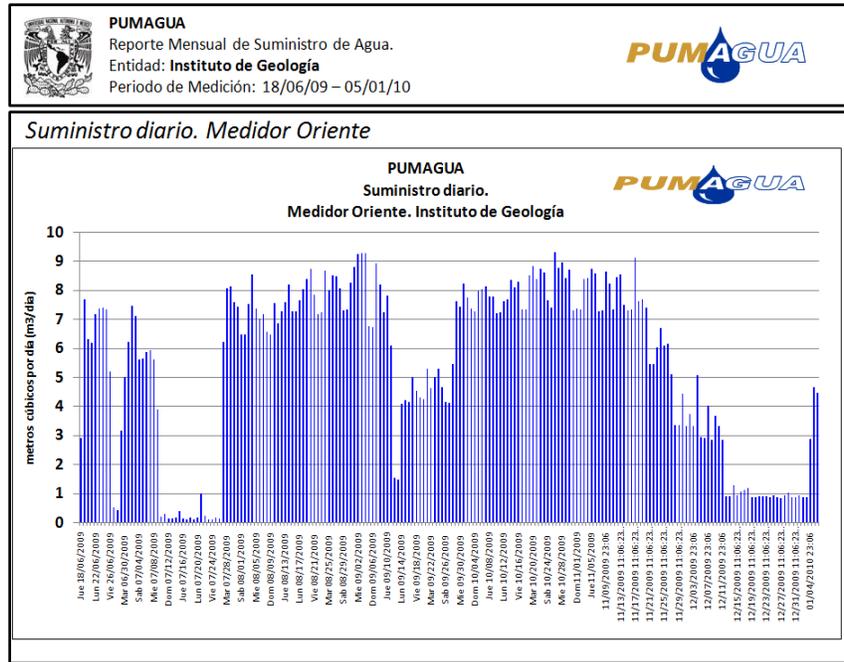


Figura 34. Reporte del suministro diario a entidades.

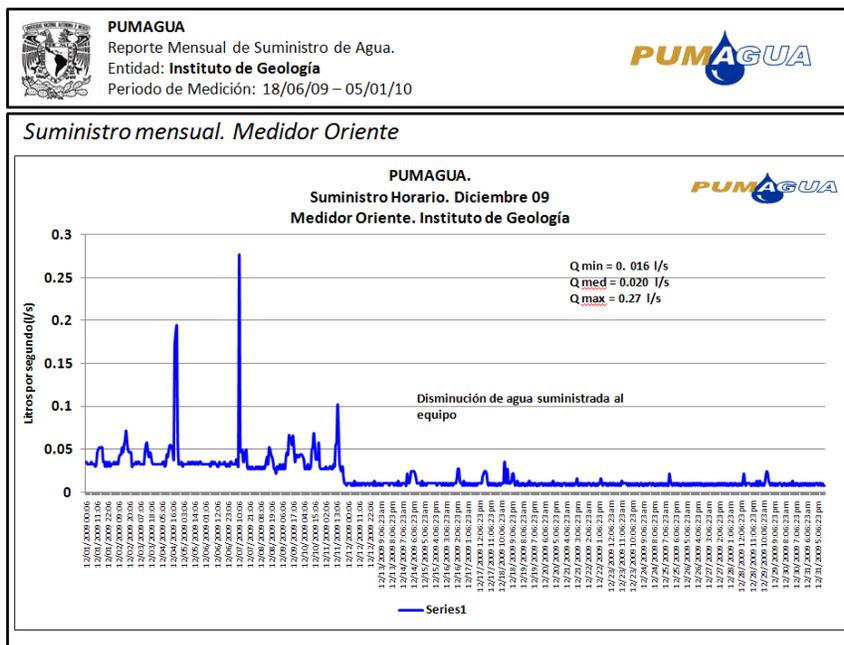


Figura 35. Reporte de suministro instantáneo. Es posible identificar descensos en fugas o cambios en el uso del agua con esta gráfica.

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 manera 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

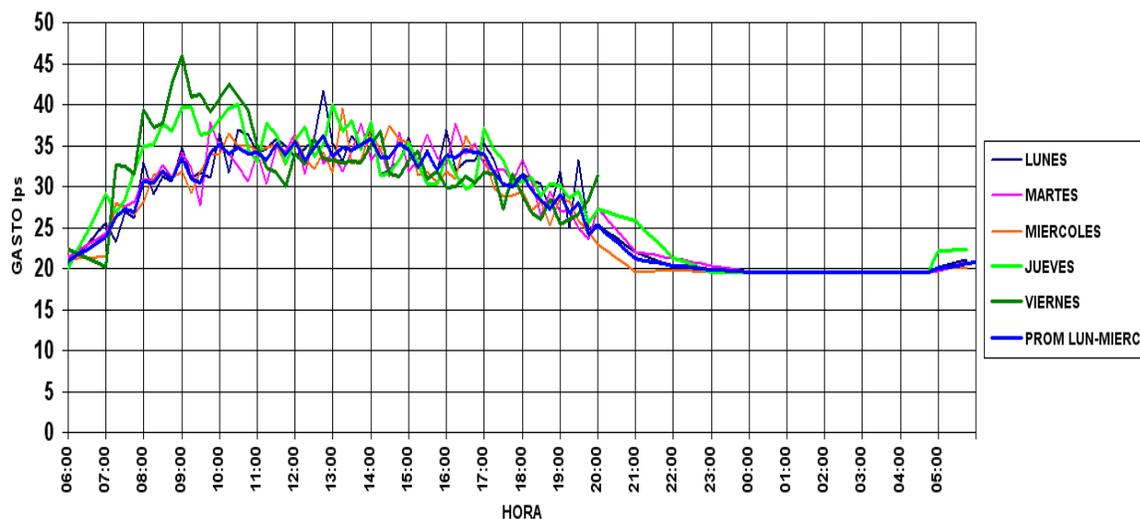


Figura 36. Gastos medidos en el sector I.

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.

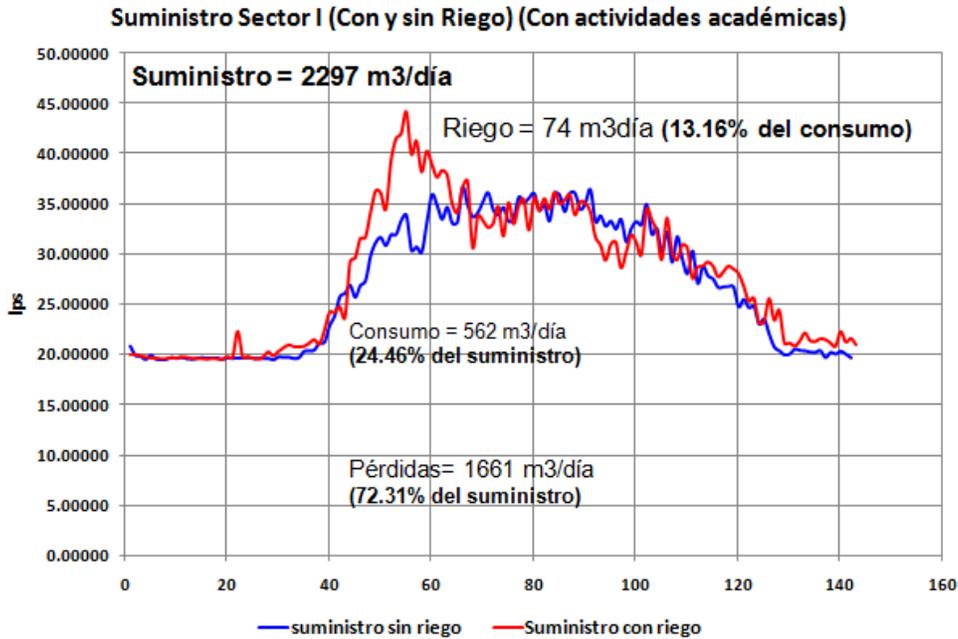


Figura 38. Suministro, Consumo y Pérdidas en el Sector Hidráulico I con y sin riego.

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.

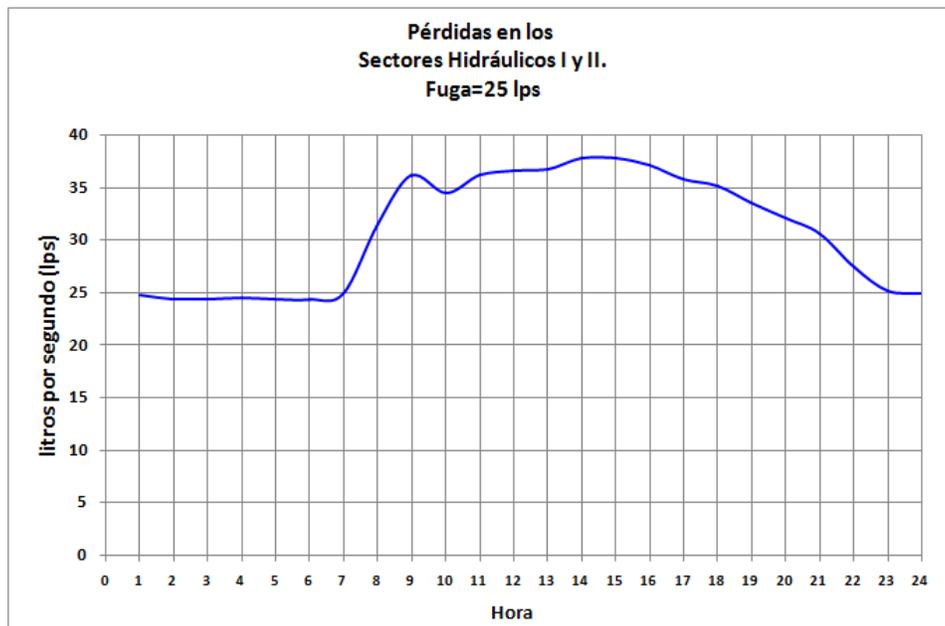


Figura 39. Medición de pérdidas en el sector II.

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.

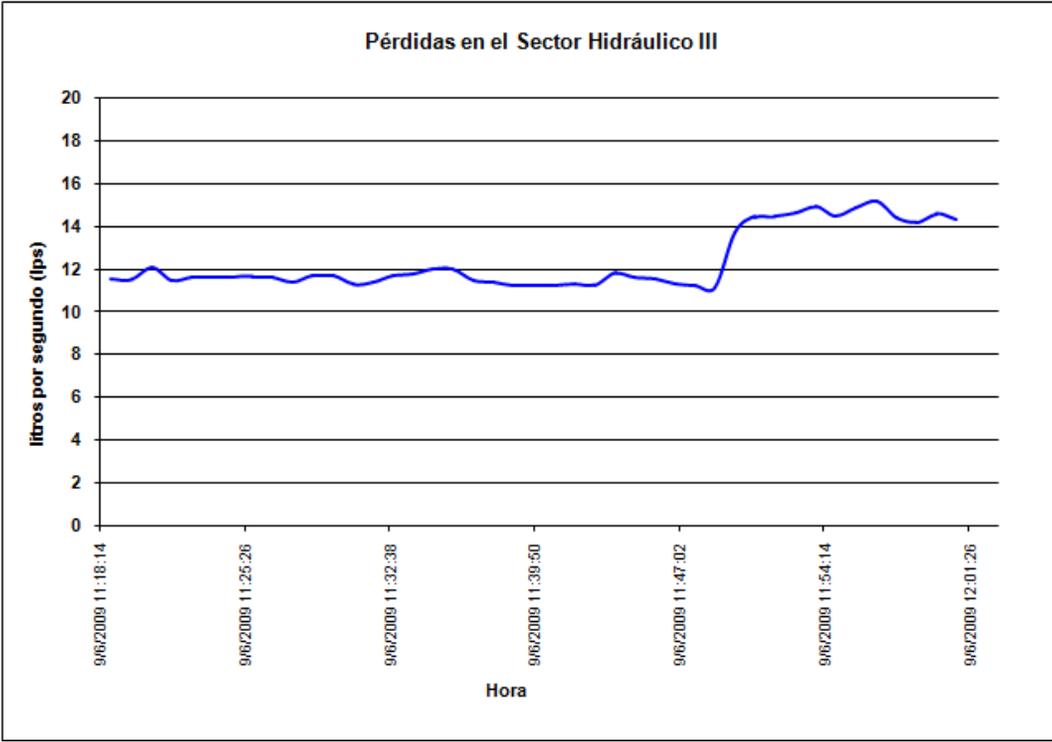


Figura 40. Pérdidas en el sector III.

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.

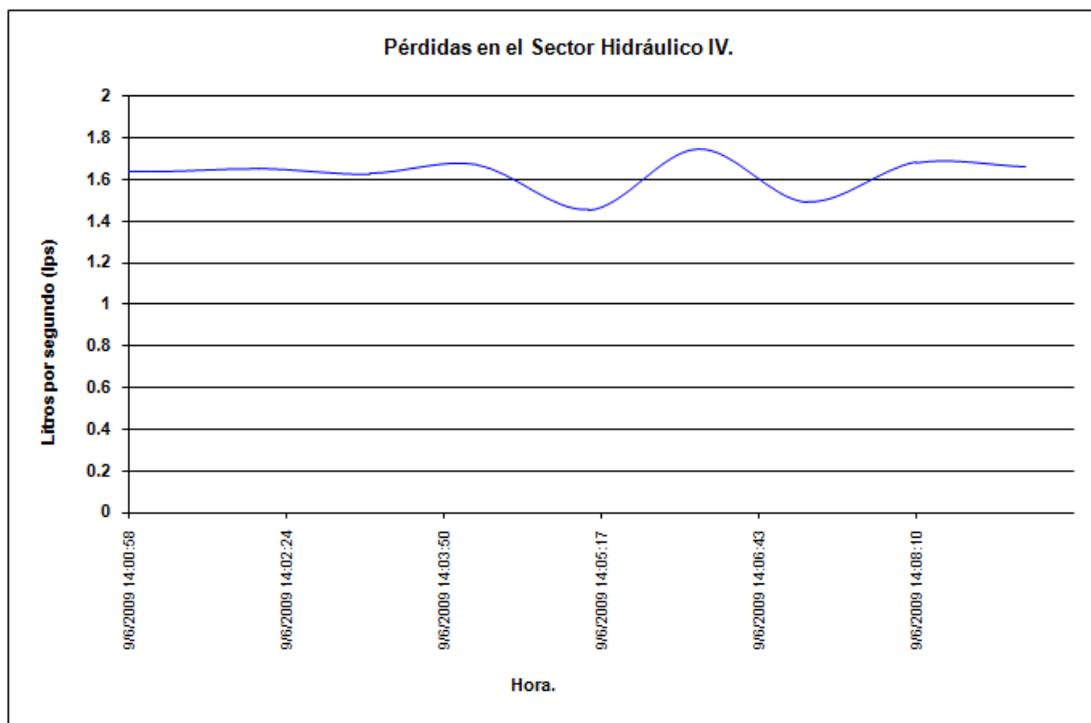


Figura 41. Pérdidas en el sector IV.

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.

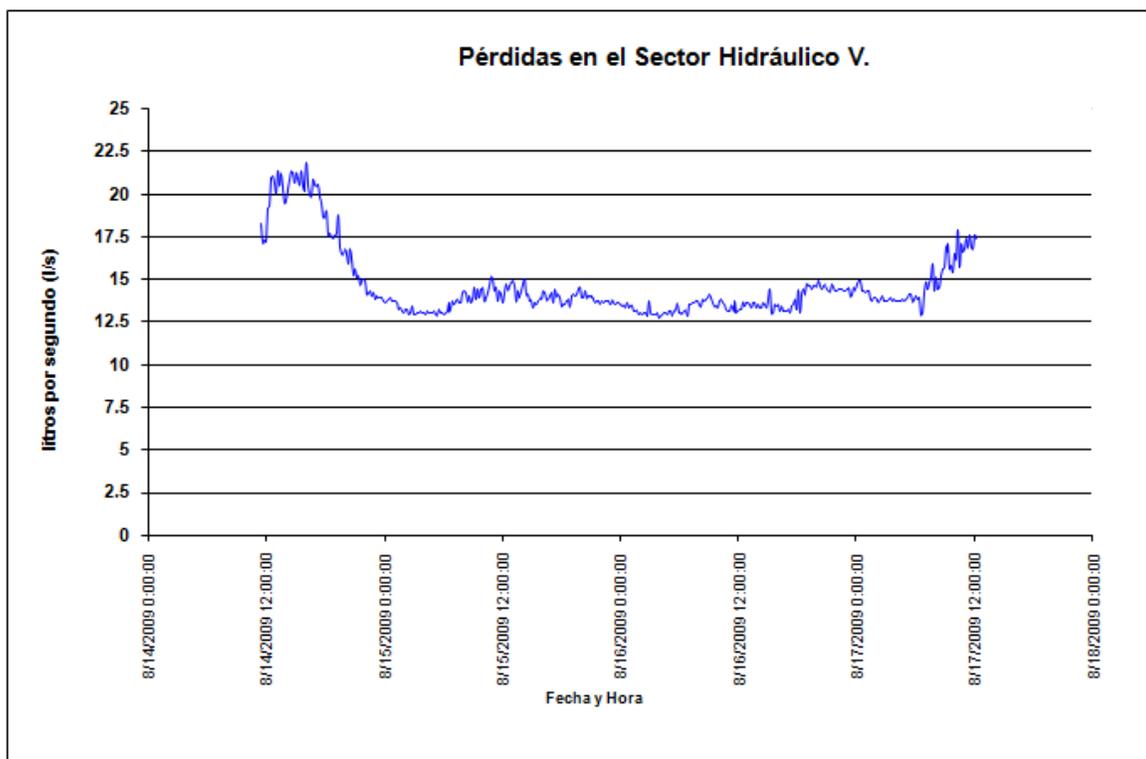


Figura 42. Pérdidas en el sector V.

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.

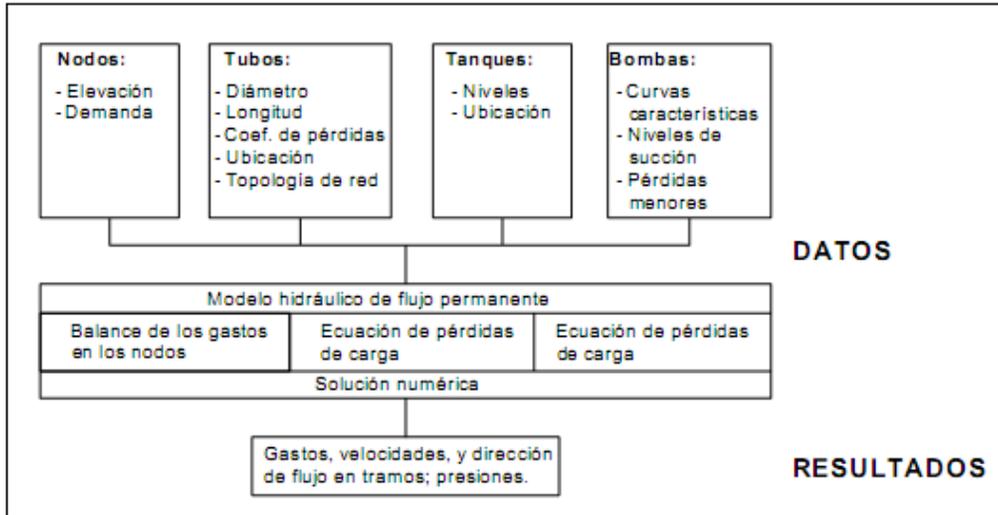


Figura 43. Diagrama de un modelo hidráulico de flujo permanente. FUENTE. MAPAS 2007. CONAGUA

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.

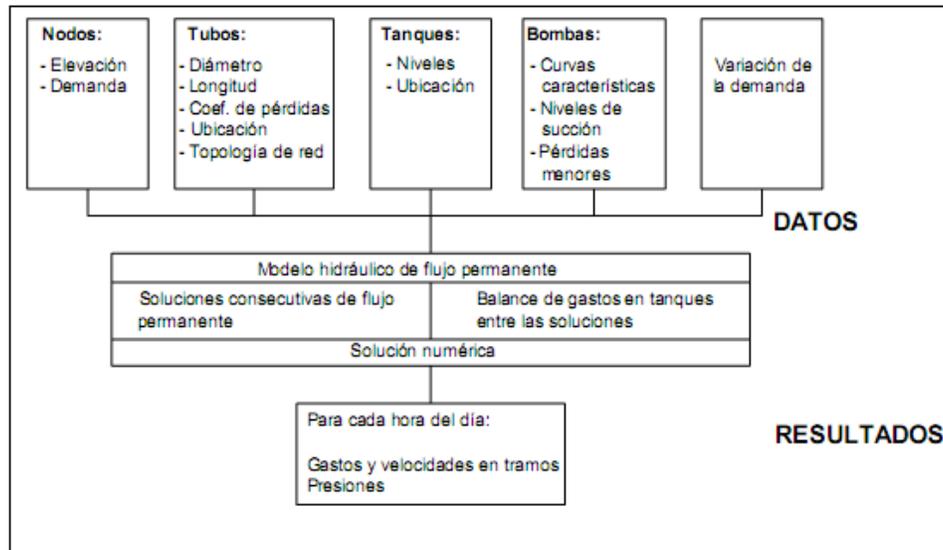


Figura 44. Diagrama de un modelo hidráulico de flujo no permanente. FUENTE. MAPAS 2007. CONAGUA

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.

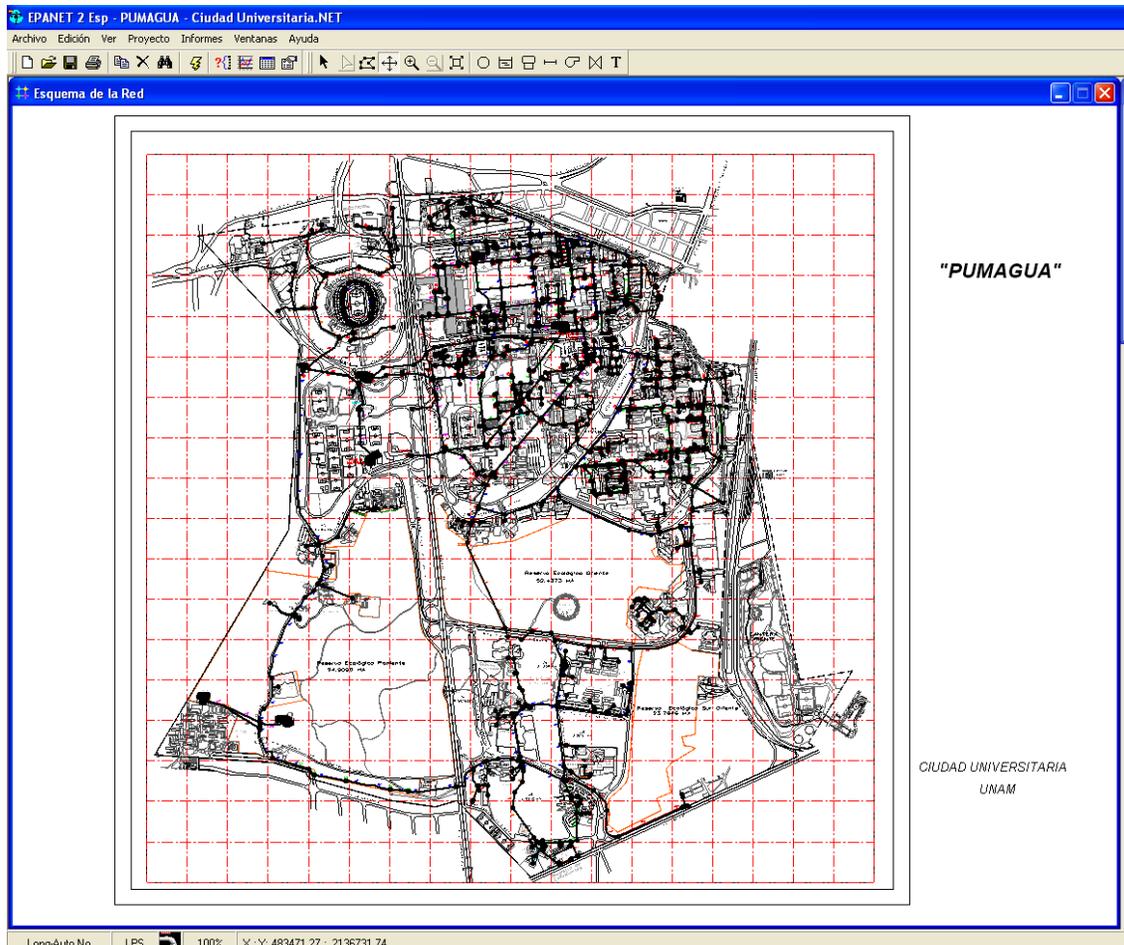


Figura 45. Pantalla con datos de entrada para el programa EPANET

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.

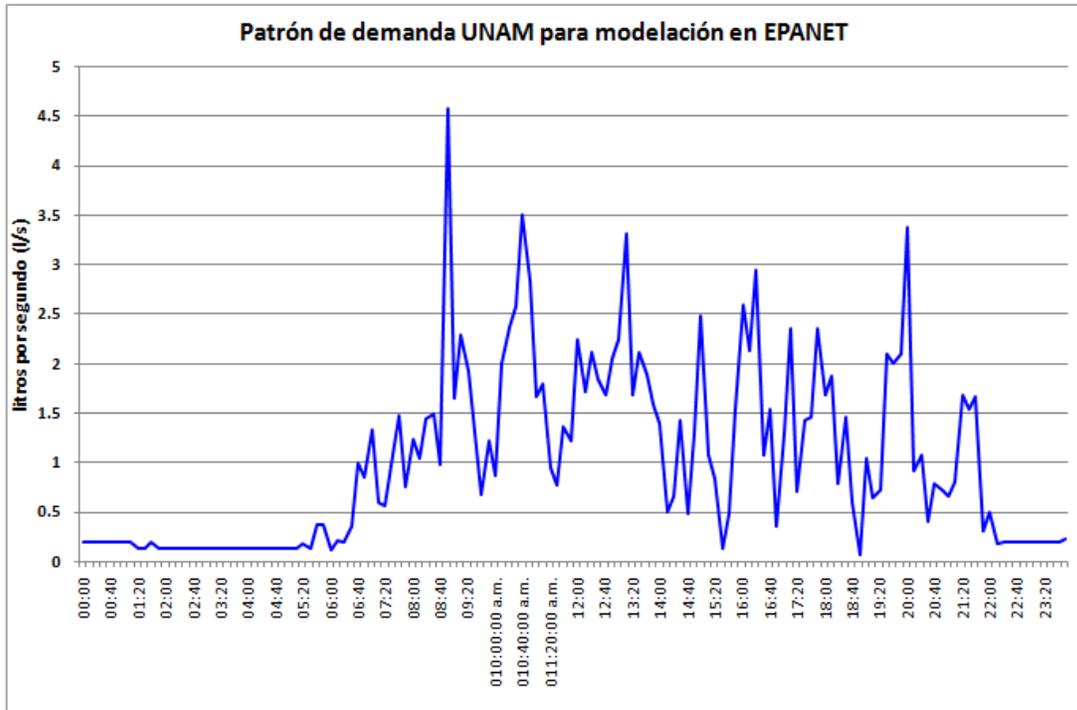


Figura 46. Curva de variación horaria utilizada en la modelación dinámica.

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.

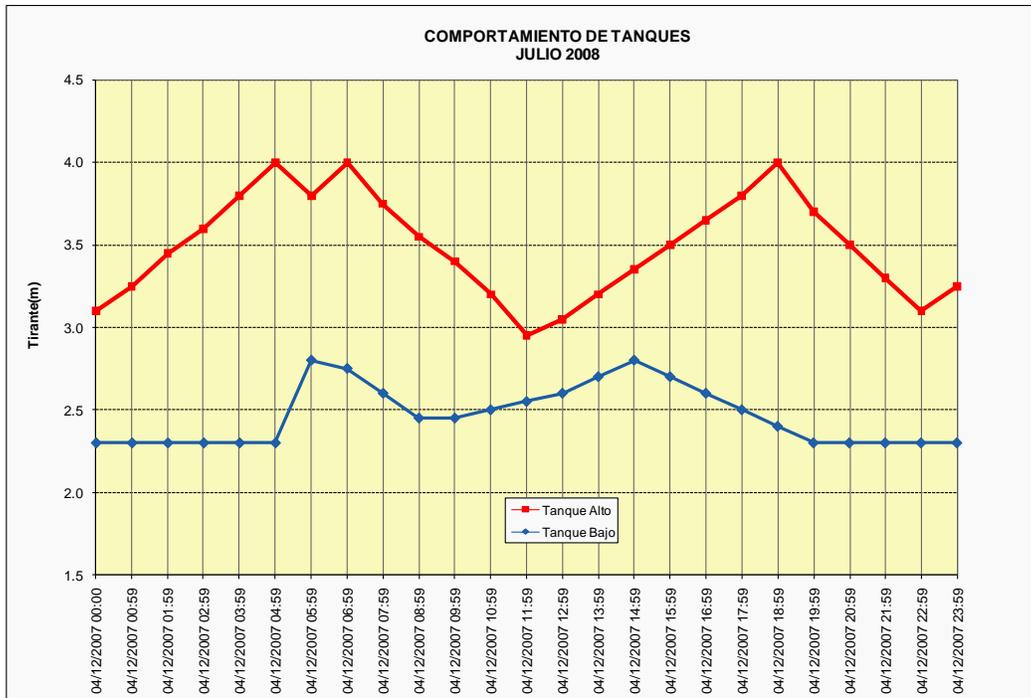


Figura 47 Variación horaria de los niveles en los tanques Alto y Bajo

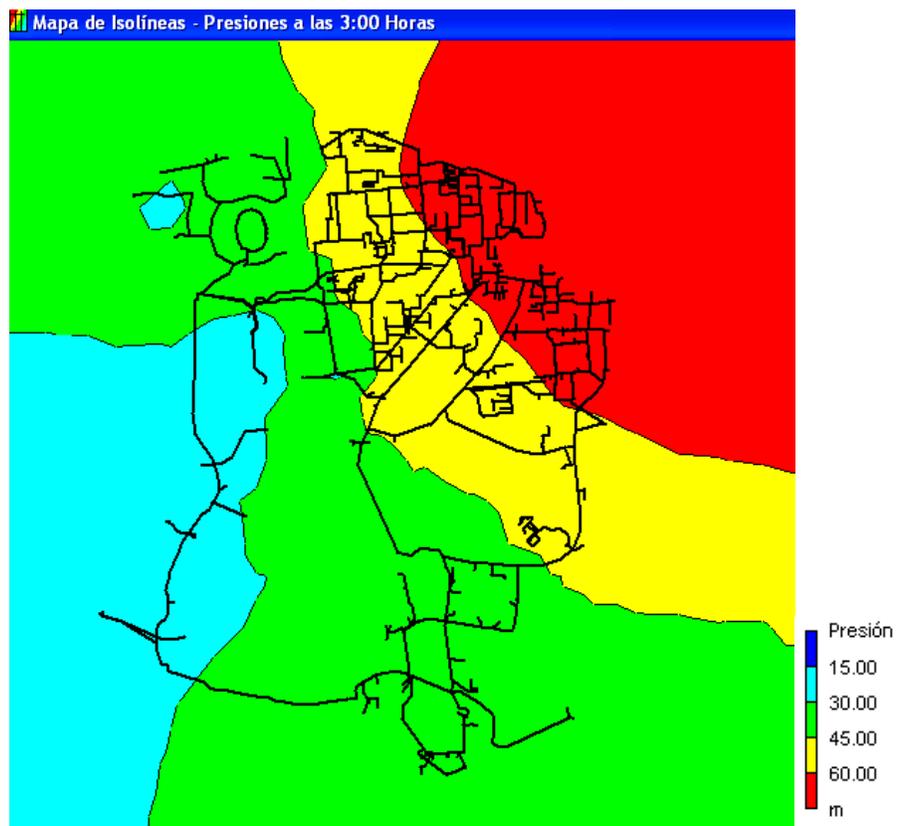


Figura 48. Mapa de isopresiones de la simulación en estado extendido sin control de presiones a las 03:00 hrs.

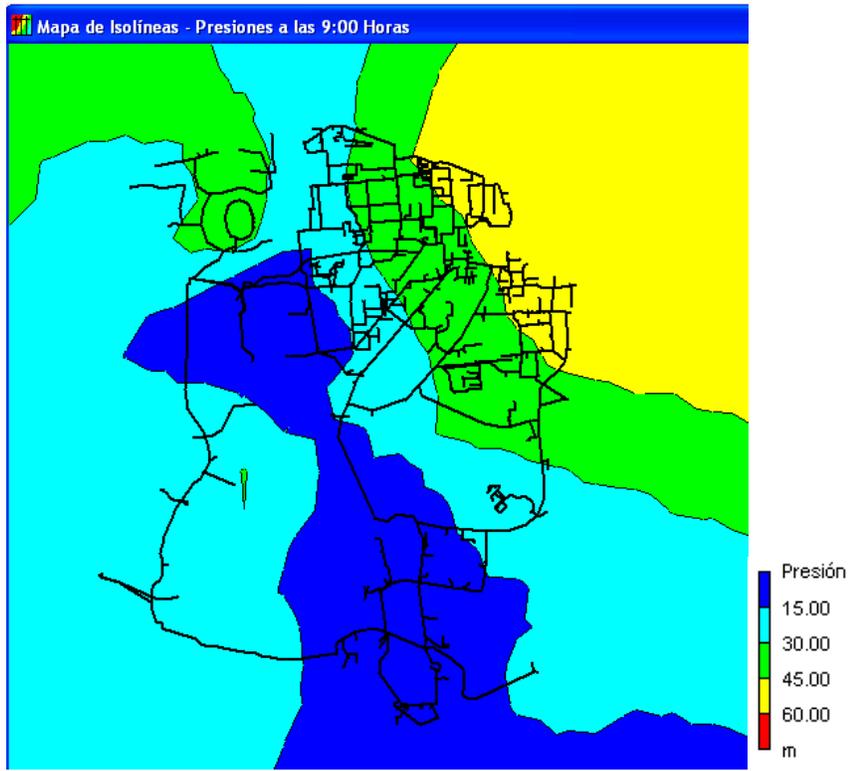


Figura 49. Mapa de isopresiones de la simulación en estado extendido sin control de presiones a las 09:00 hrs.

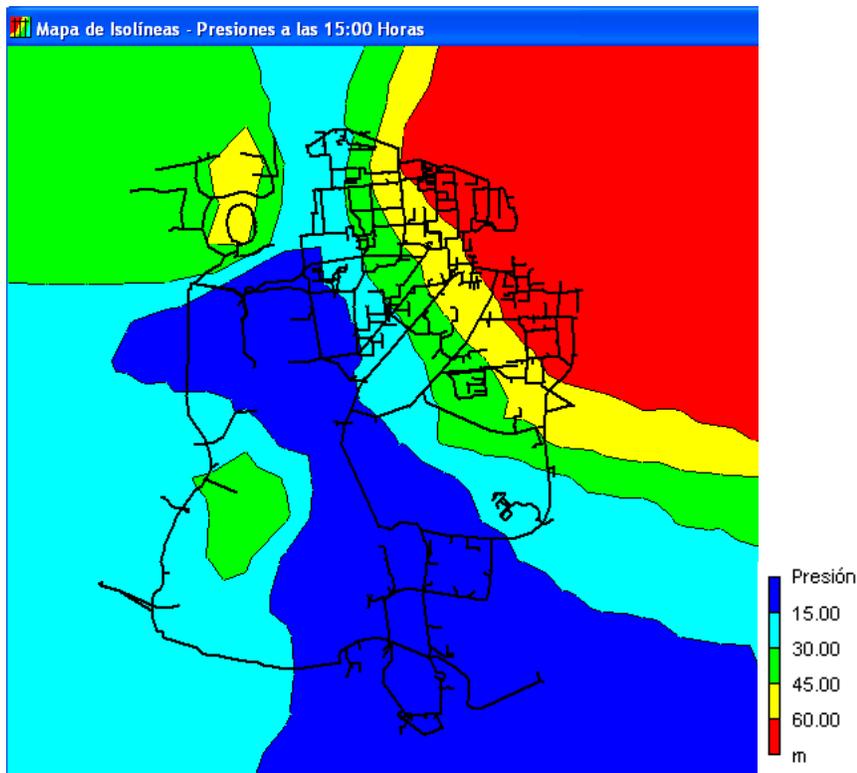


Figura 50. Mapa de isopresiones de la simulación en estado extendido sin control de presiones a las 15:00 hrs.

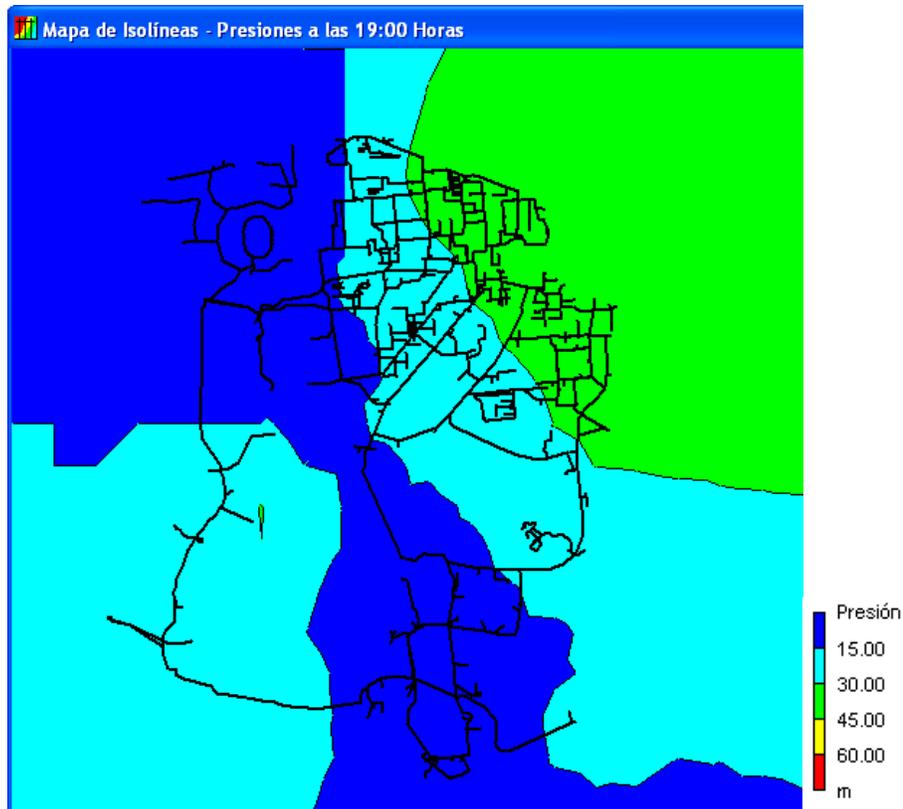


Figura 51. Mapa de isopresiones de la simulación en estado extendido sin control de presiones a las 19:00 hrs.

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.