

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).

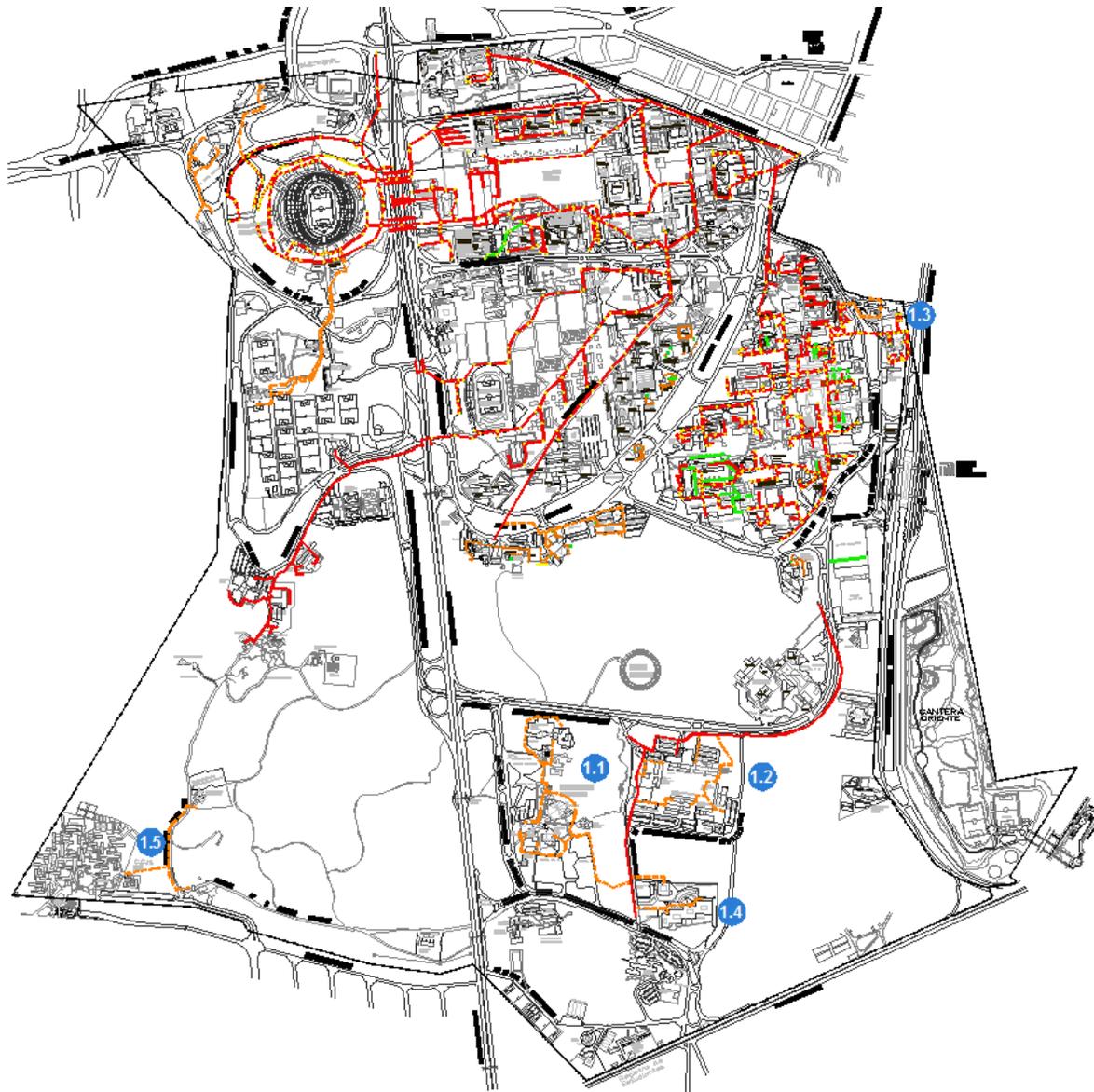


Figura 2 Red de alcantarillado de Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

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).

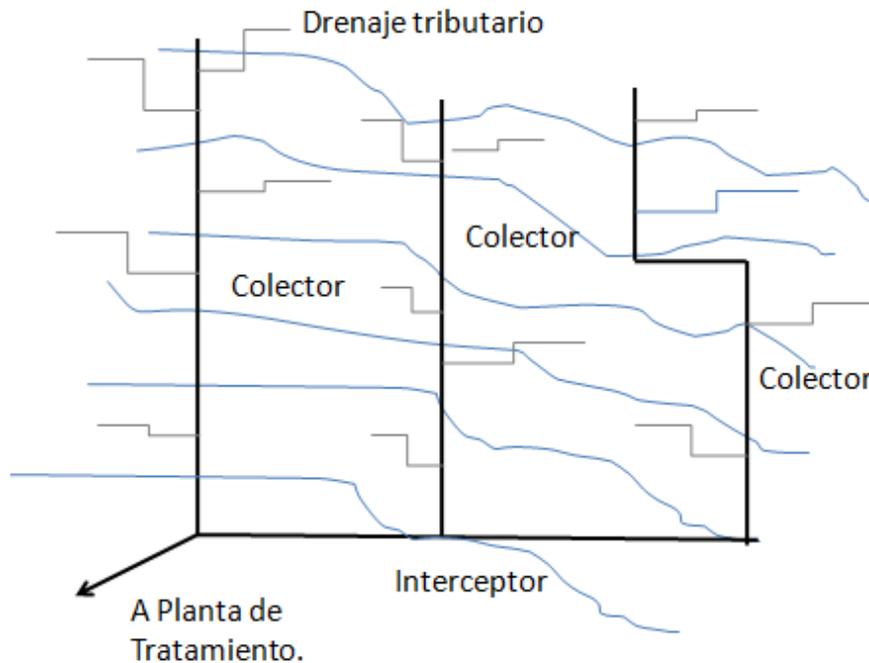


Figura 4. Modelo de interceptores de la red.

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.

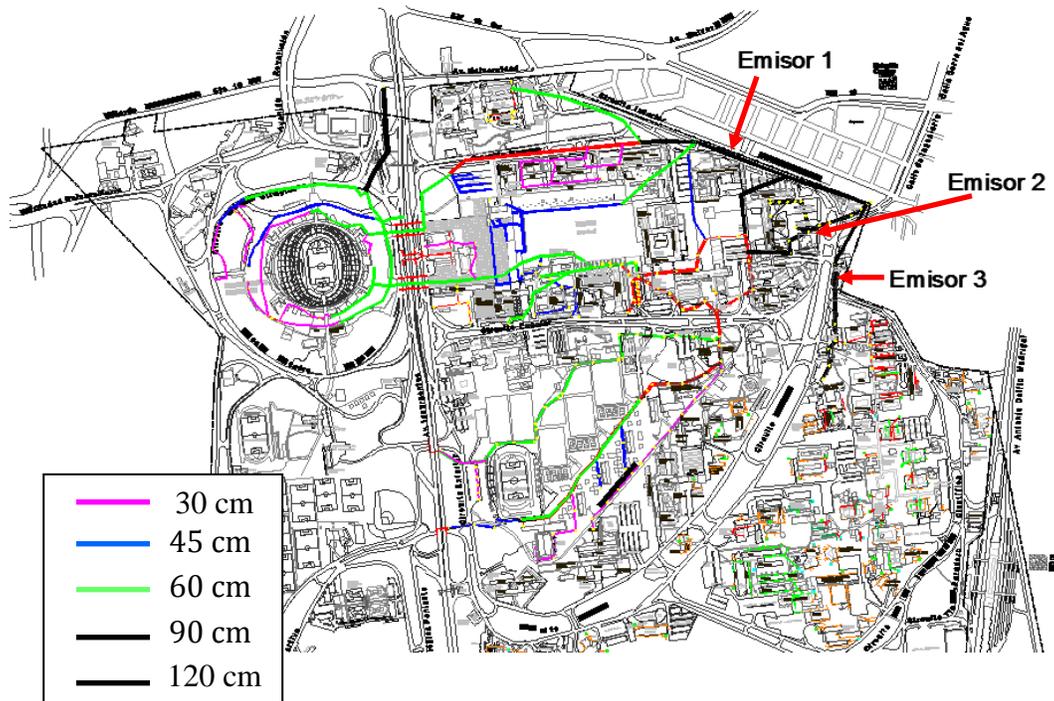


Figura 5. Red de alcantarillado de Ciudad Universitaria. En colores los diámetros de la red. En negro los tres emisores que convergen a la PTAR de Cerro del Agua.

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)

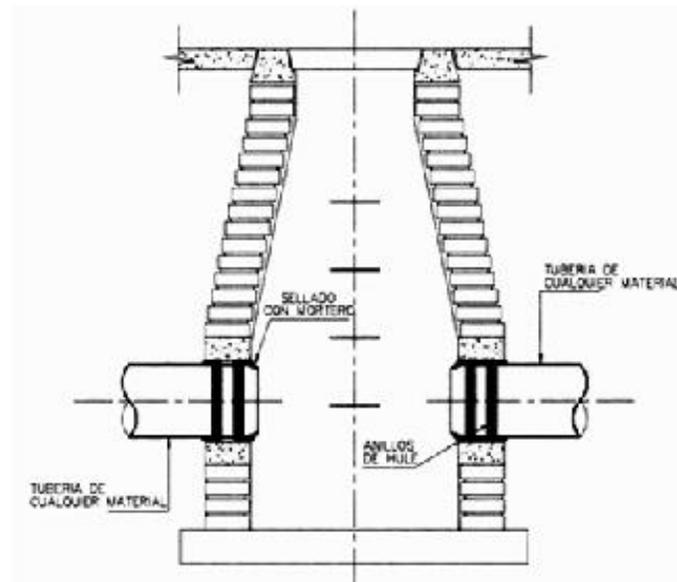


Figura 6. Perfil de un pozo de visita de Ciudad Universitaria. FUENTE: MAPAS 2007. CONAGUA

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).

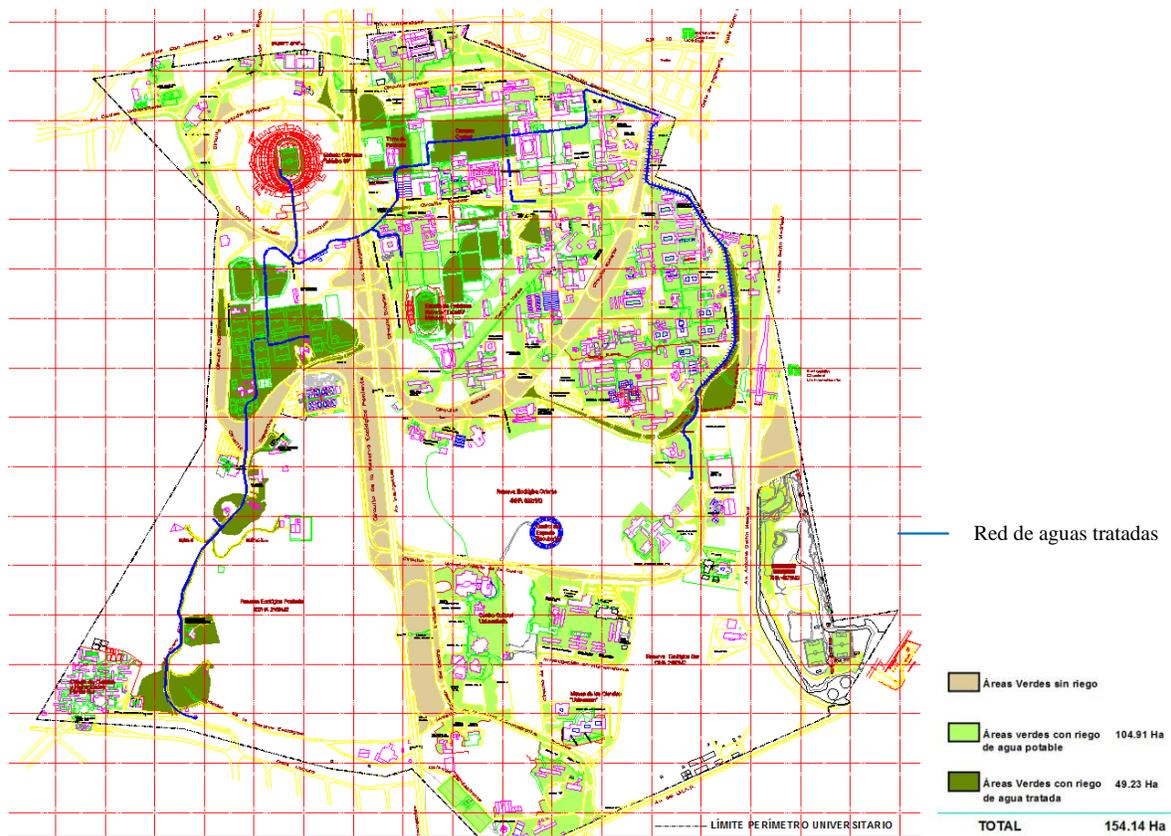


Figura 7. Zonas de Ciudad Universitaria que actualmente se riegan con agua tratada. Estas zonas son periféricas a las cisternas de agua tratada proveniente de la PTAR de Cerro del Agua. FUENTE: DGOyC. UNAM

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

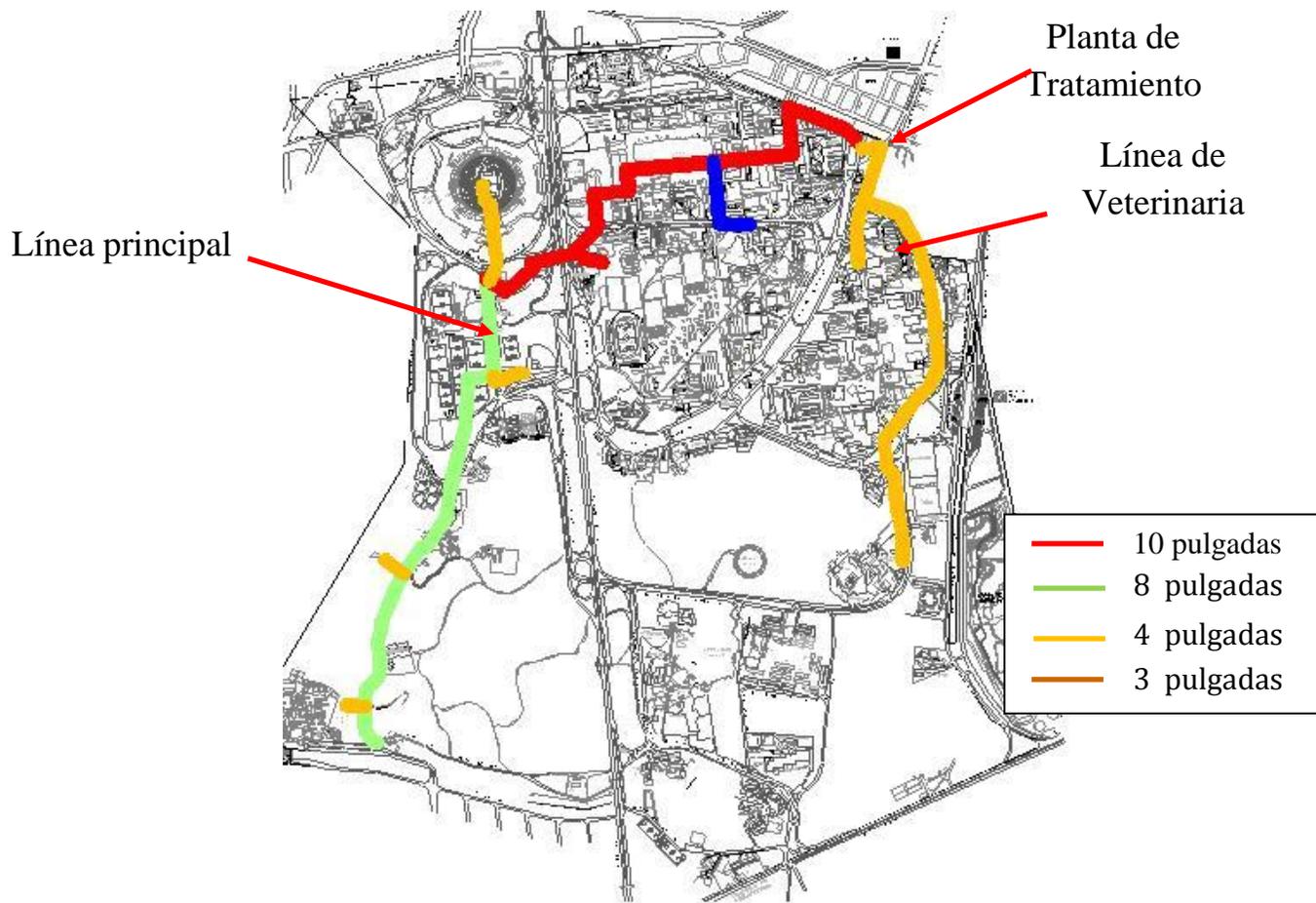


Figura 8. Red de aguas tratadas. FUENTE: DGOyC. UNAM

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%

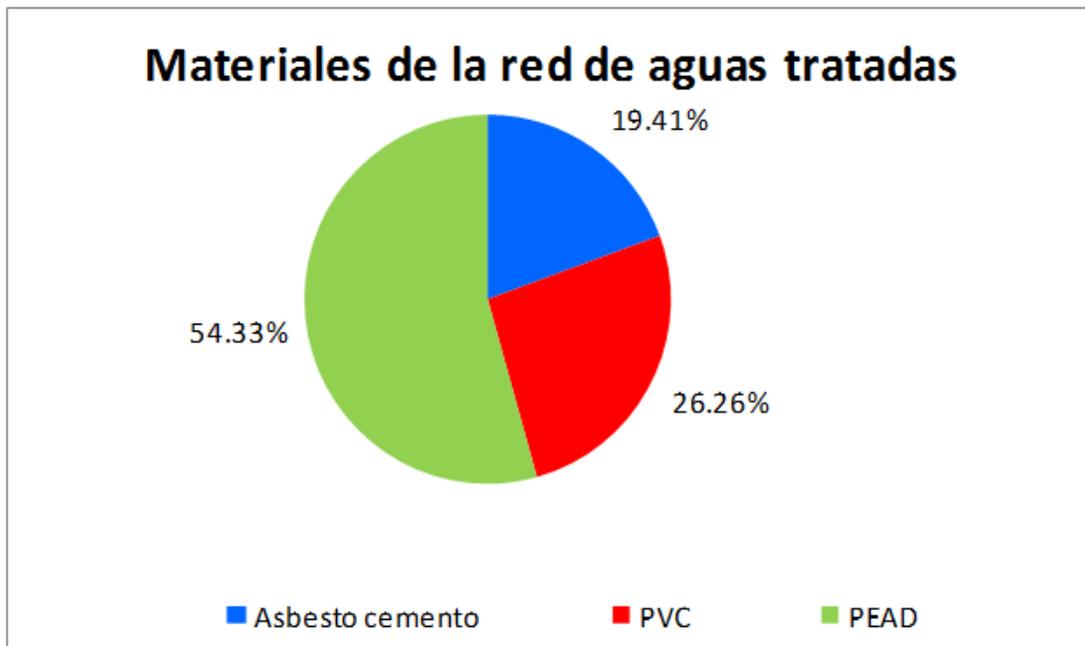


Figura 9. Materiales de la red de aguas tratadas

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.

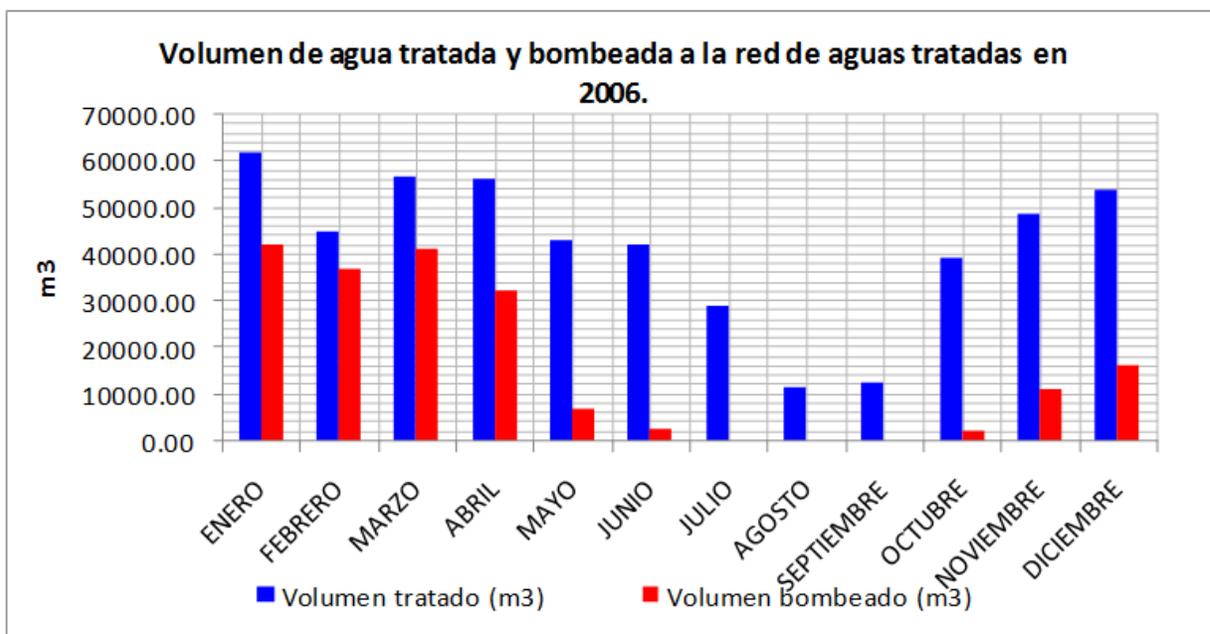


Figura 10. Comparación entre el volumen tratado y bombeado a la red de aguas residuales en el 2006. FUENTE: DGOyC. UNAM

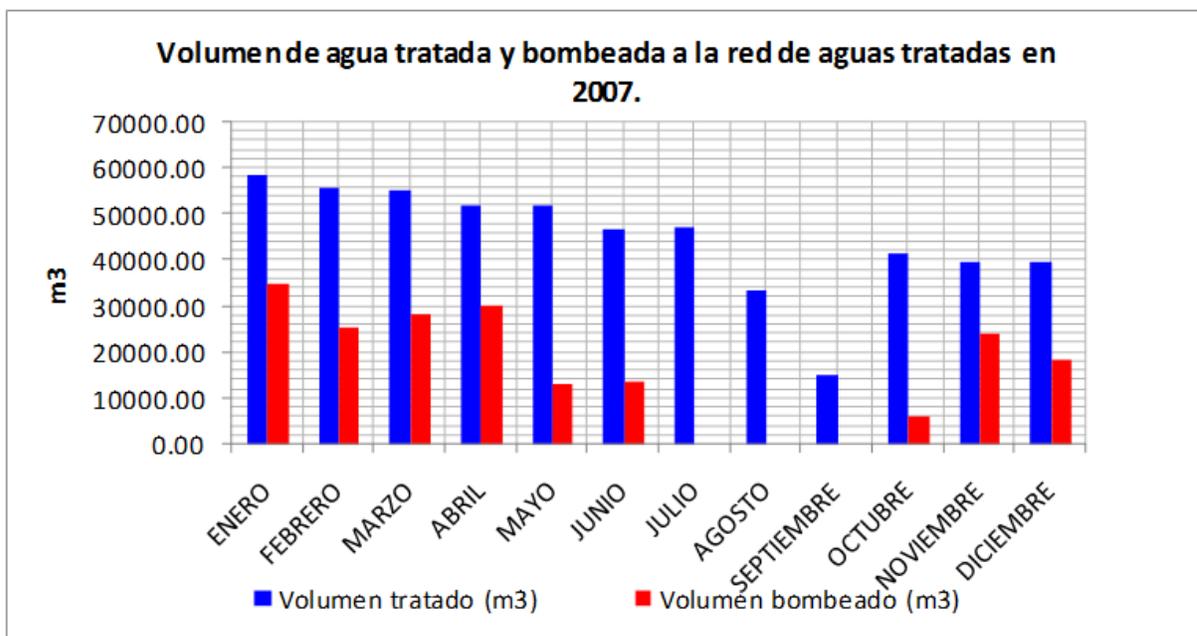


Figura 11. Comparación entre el volumen tratado y bombeado a la red de aguas residuales en el 2007. FUENTE: DGOyC. UNAM

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)

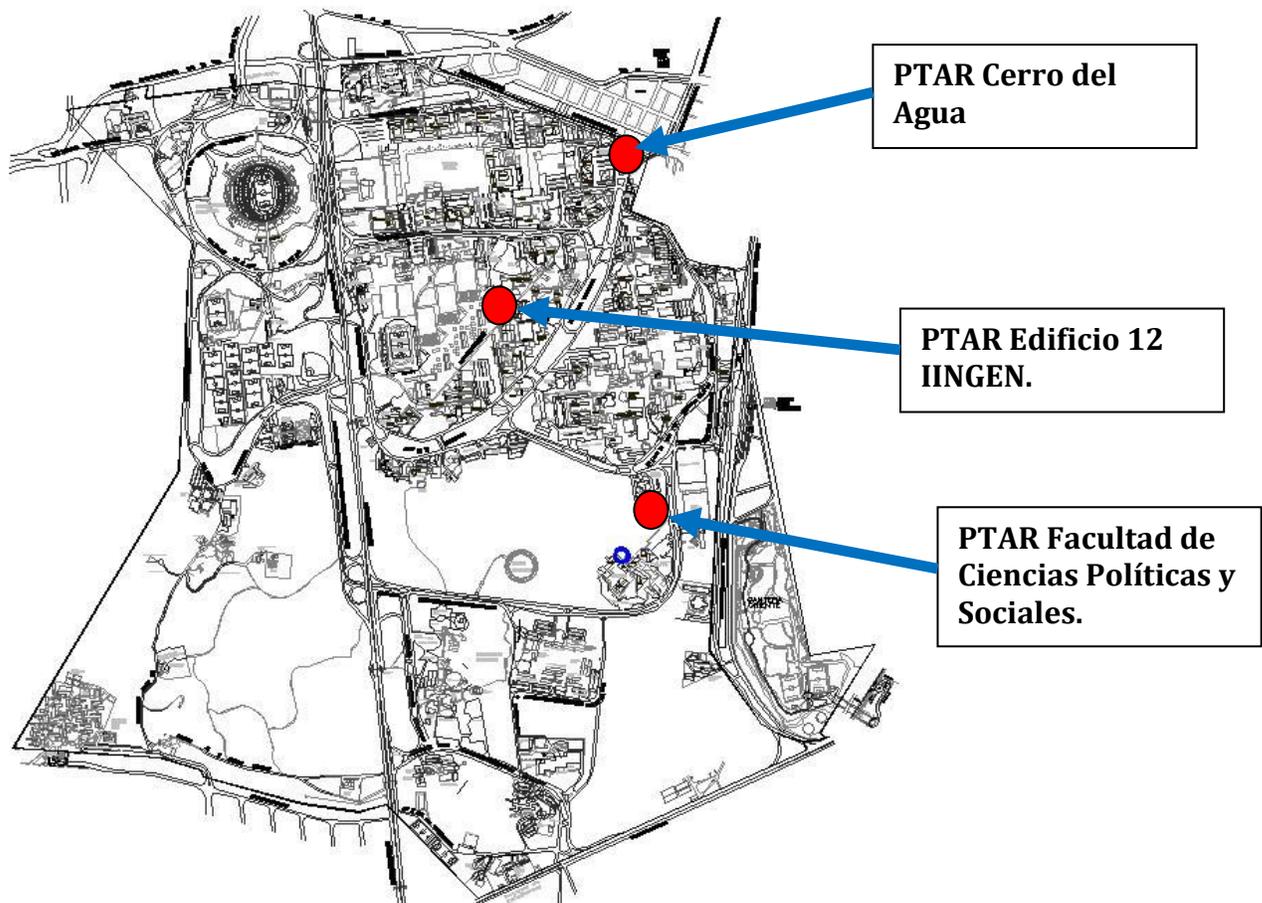


Figura 12. Ubicación de la PTARS de Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

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.

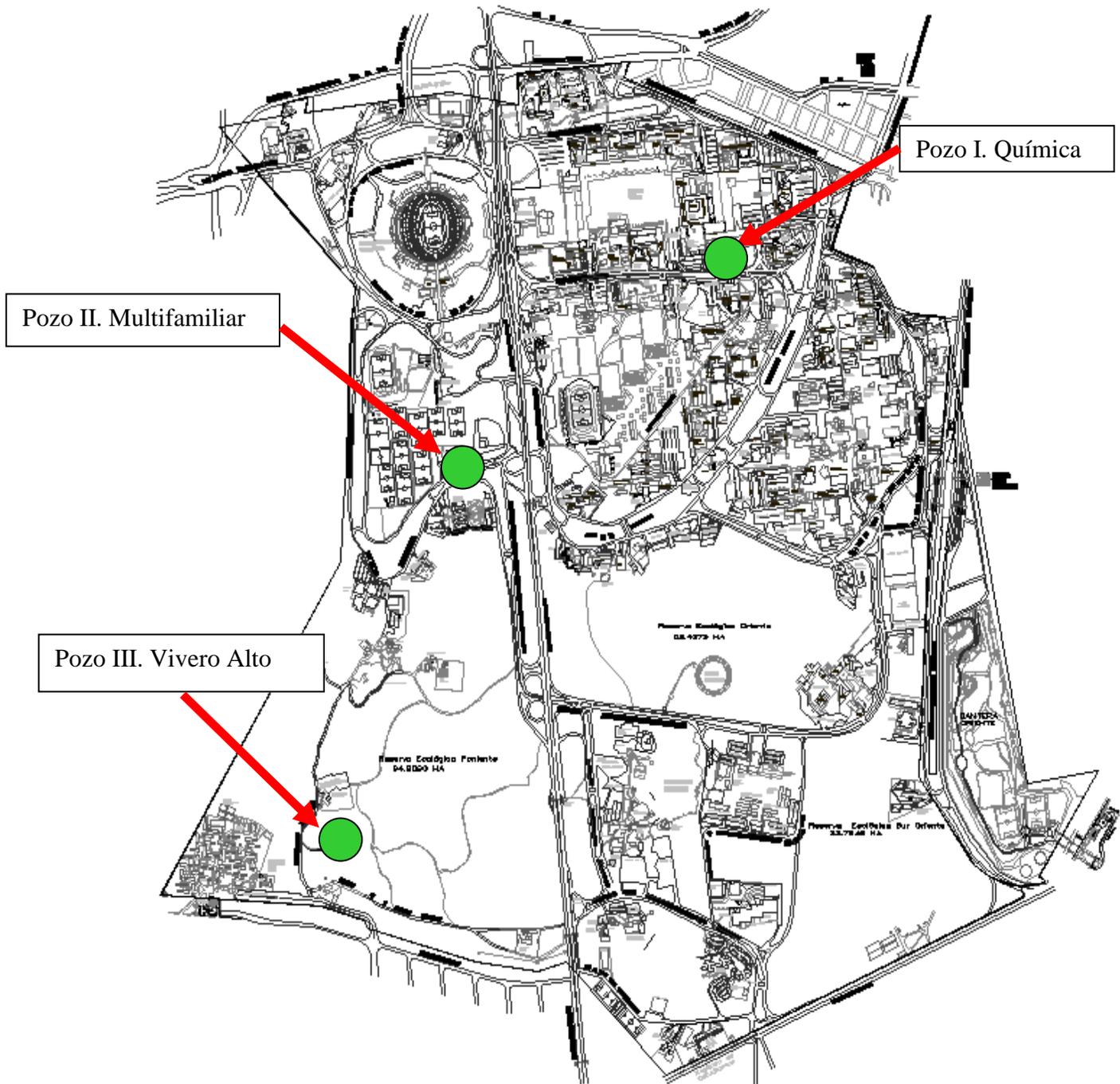


Figura 14. Ubicación de pozos en Ciudad Universitaria. FUENTE. DGOyC. UNAM

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

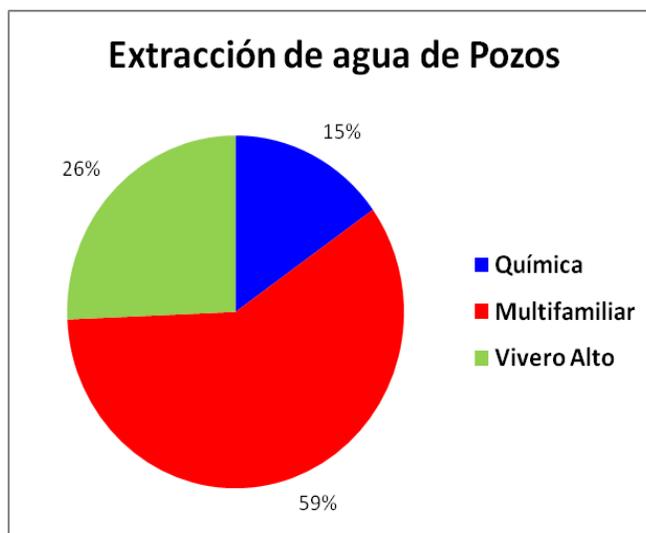


Figura 15. Porcentajes de extracción de los pozos. FUENTE: DGOyC. UNAM

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%

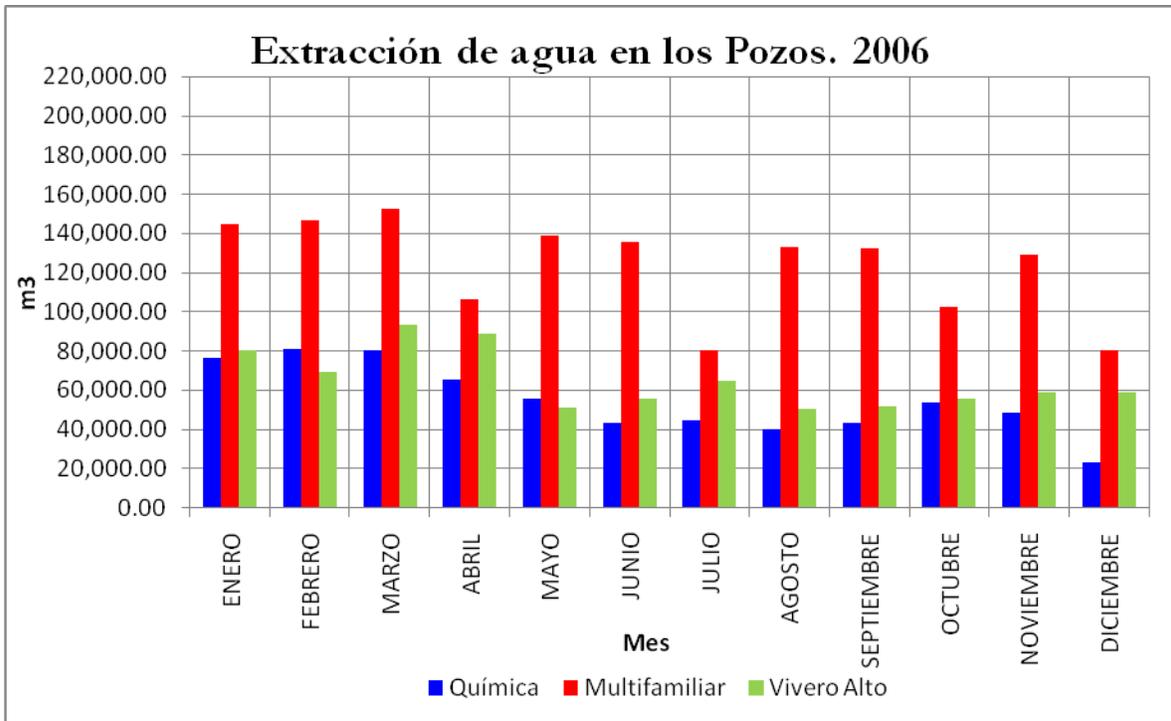


Figura 16. Extracción de agua en los Pozos durante 2006. FUENTE: DGOyC. UNAM

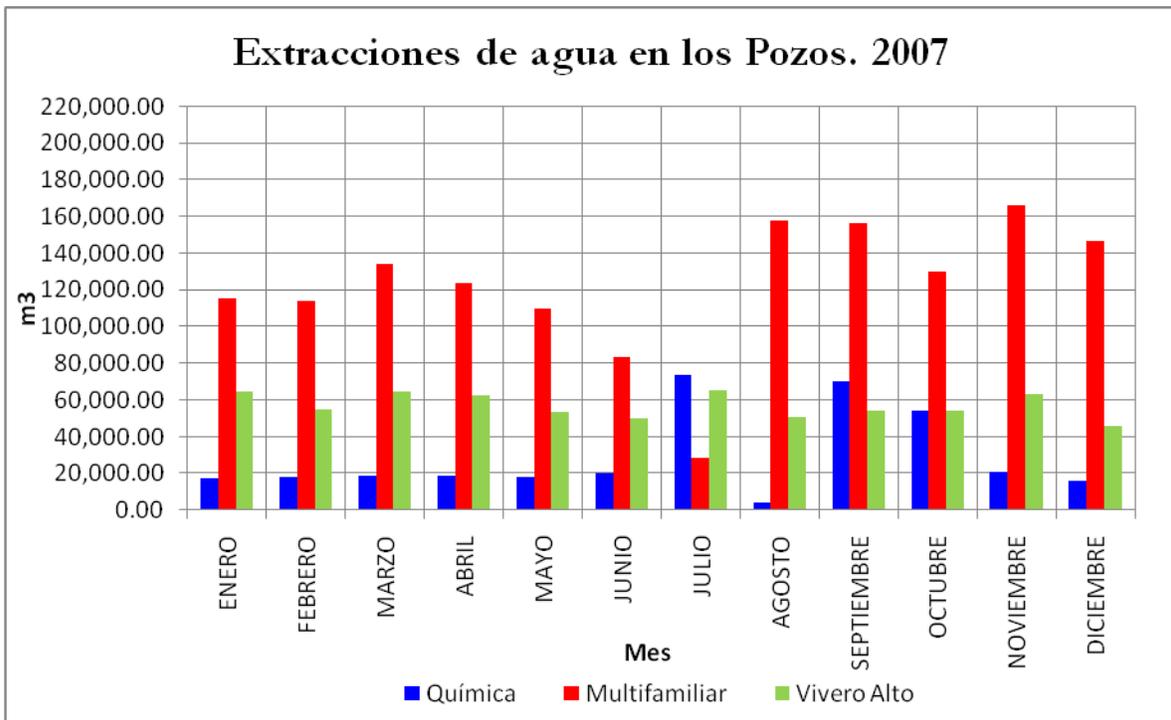


Figura 17. Extracción de agua en los Pozos durante 2007. FUENTE: DGOyC. UNAM

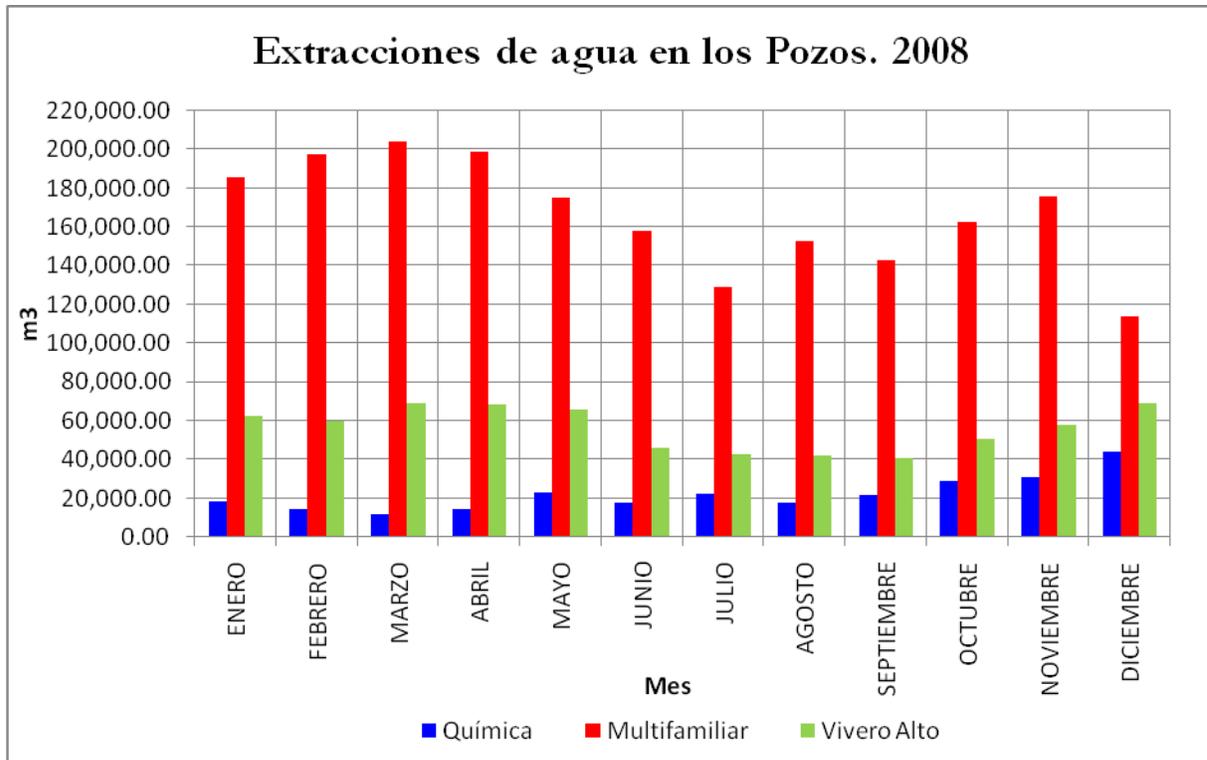


Figura 18. Extracción de agua en los Pozos durante 2008. FUENTE: DGOyC. UNAM

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.

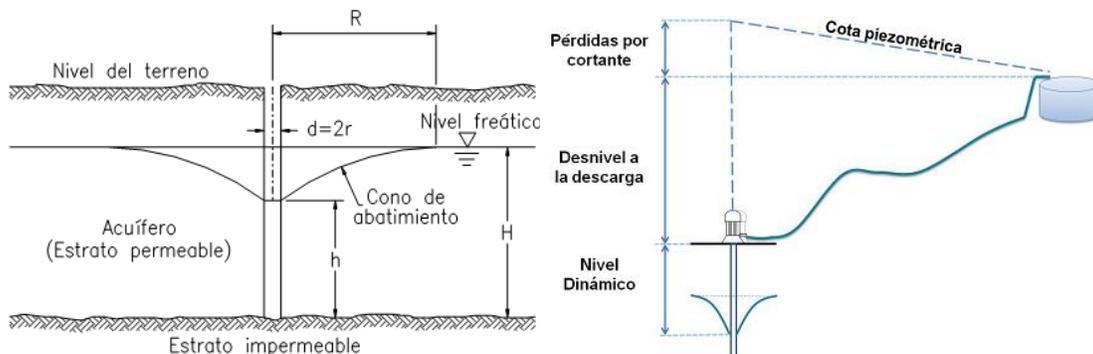


Figura 19. Cono de abatimiento en un Pozo ordinario o libre. FUENTE: MAPAS 2007. CONAGUA

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.

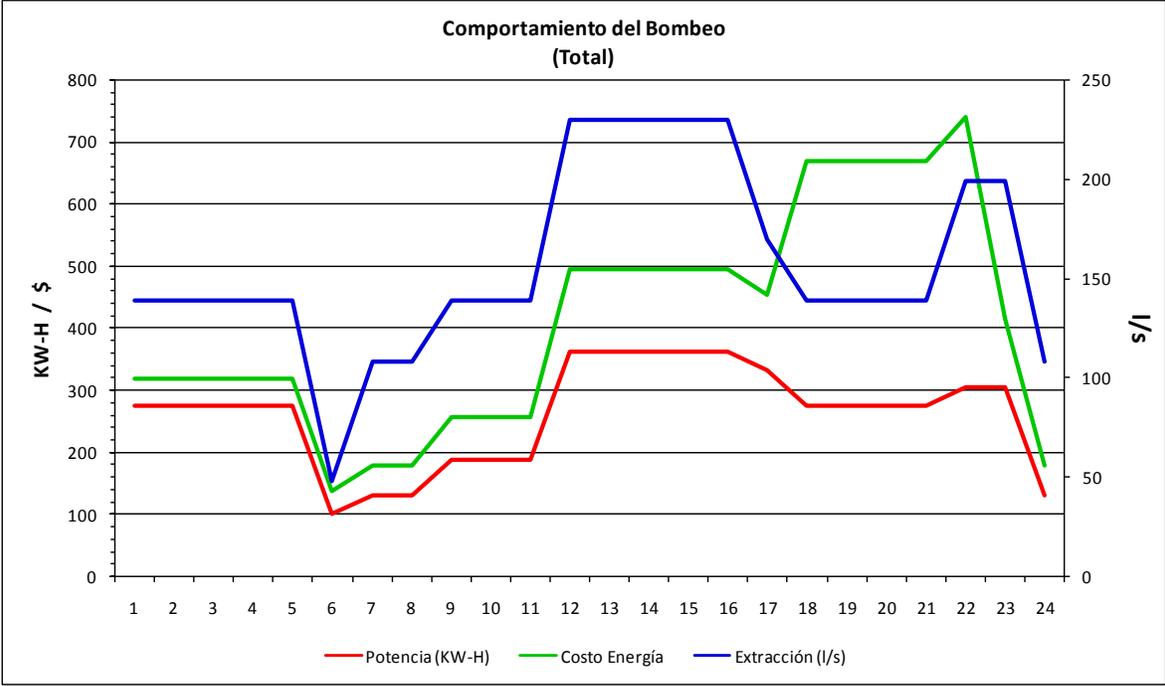


Figura 20. Consumo de energía en el equipo de bombeo y costos. FUENTE: DGOyC. UNAM

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.

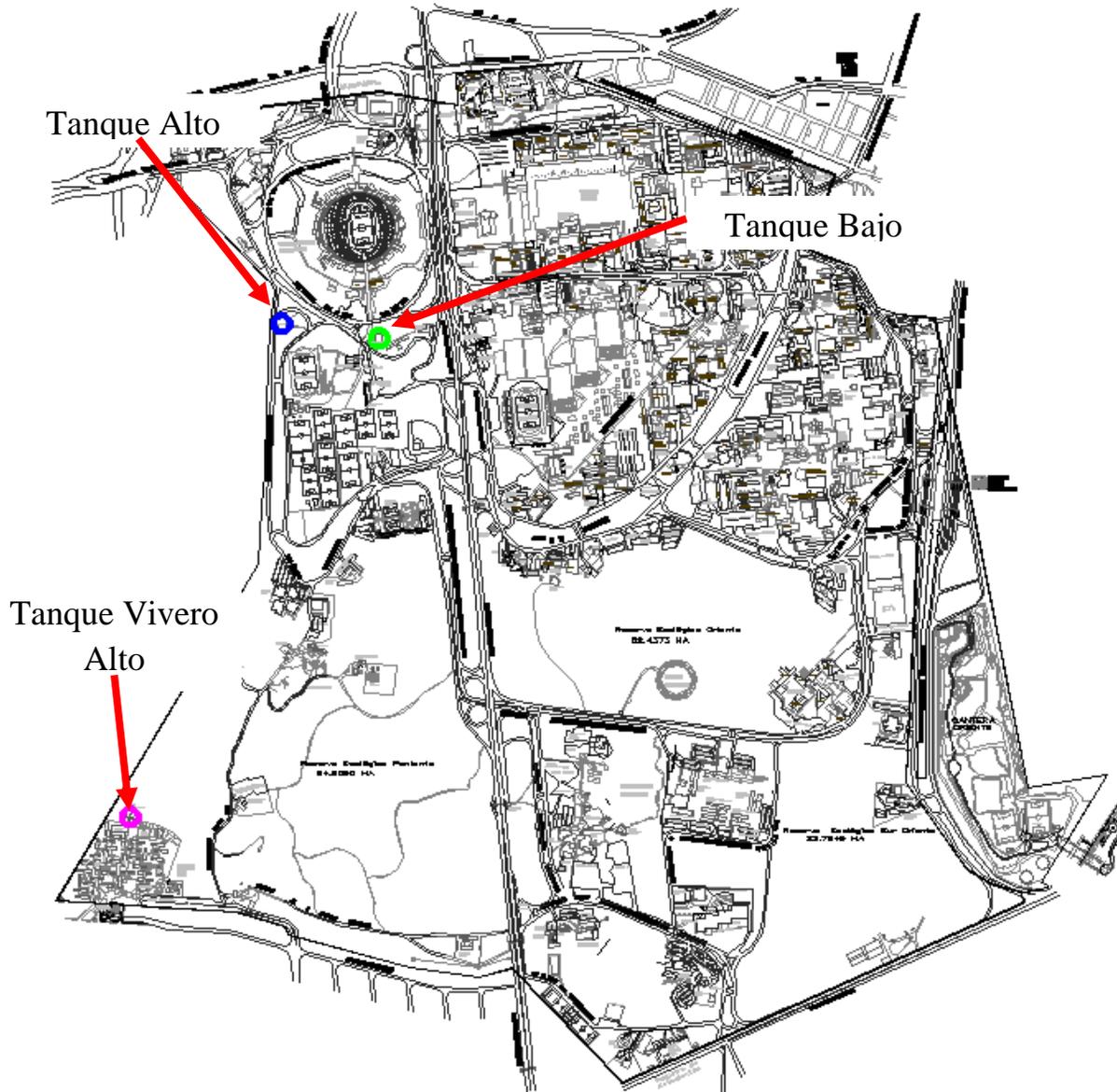


Figura 21. Tanques de almacenamiento en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

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.

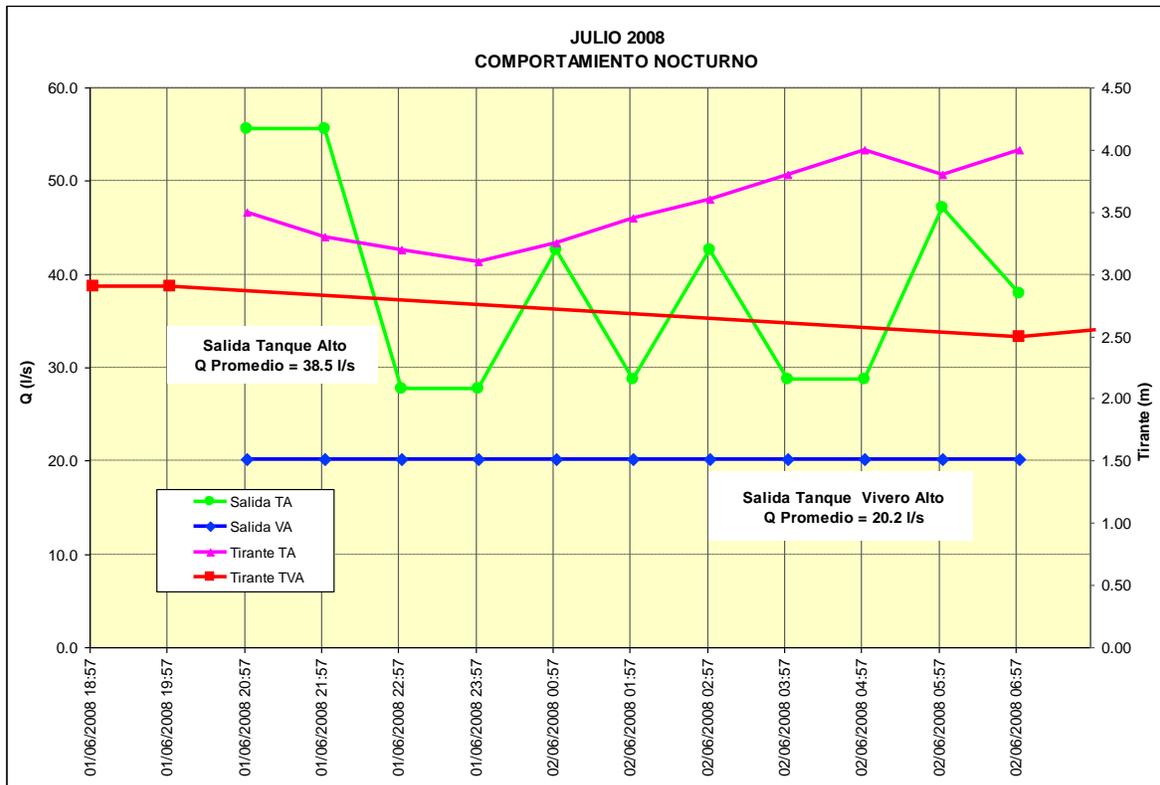


Figura 22. Tanques de almacenamiento en Ciudad Universitaria. FUENTE: DGOyC. UNAM

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

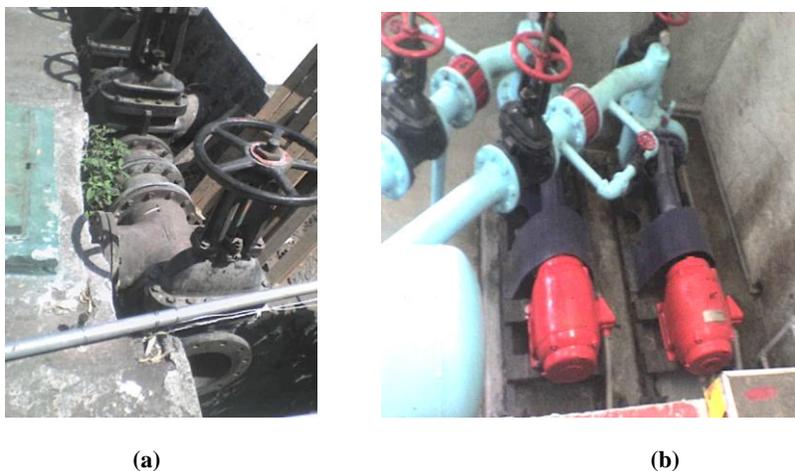


Figura 25. Tanque bajo: (a) válvulas y (b) Equipo de re bombeo en Tanque Bajo.

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

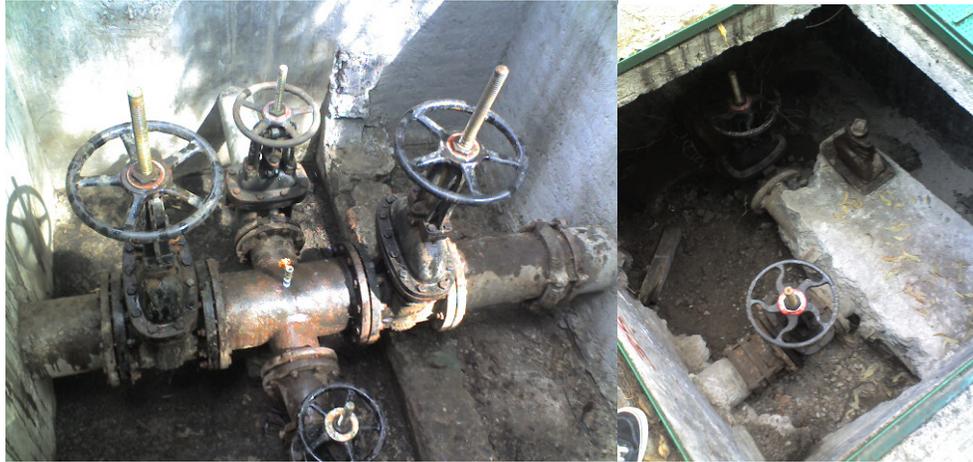


Figura 28. Cruceos de la red de distribución de agua potable. Línea de 10" con derivaciones a 4".

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.

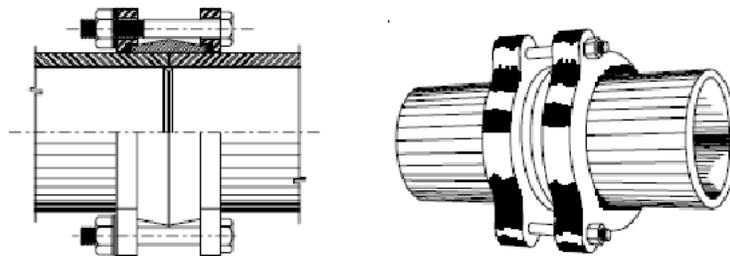


Figura 29. Junta Gibault generalmente empleada en uniones de tuberías. FUENTE: MAPAS 2007. CONAGUA.

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.

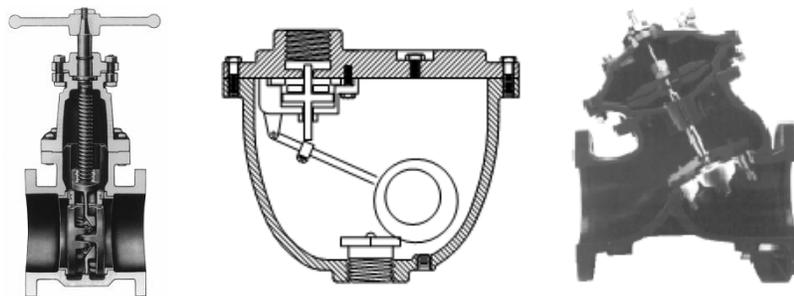


Figura 31. De izquierda a derecha: Válvula de seccionamiento, Válvula Expulsora de Aire y Válvula Reductora de Presión.

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)

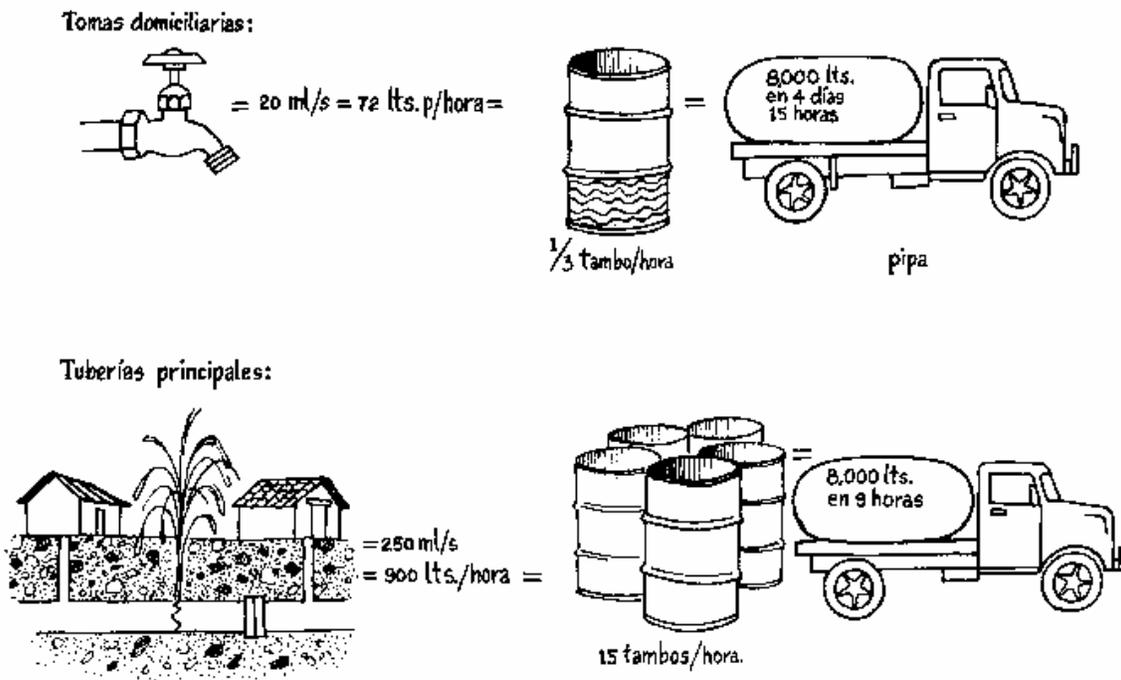


Figura 34. Fugas de agua en acometidas y en redes de distribución de agua. FUENTE: L. OCHOA. IMTA. 2007

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.

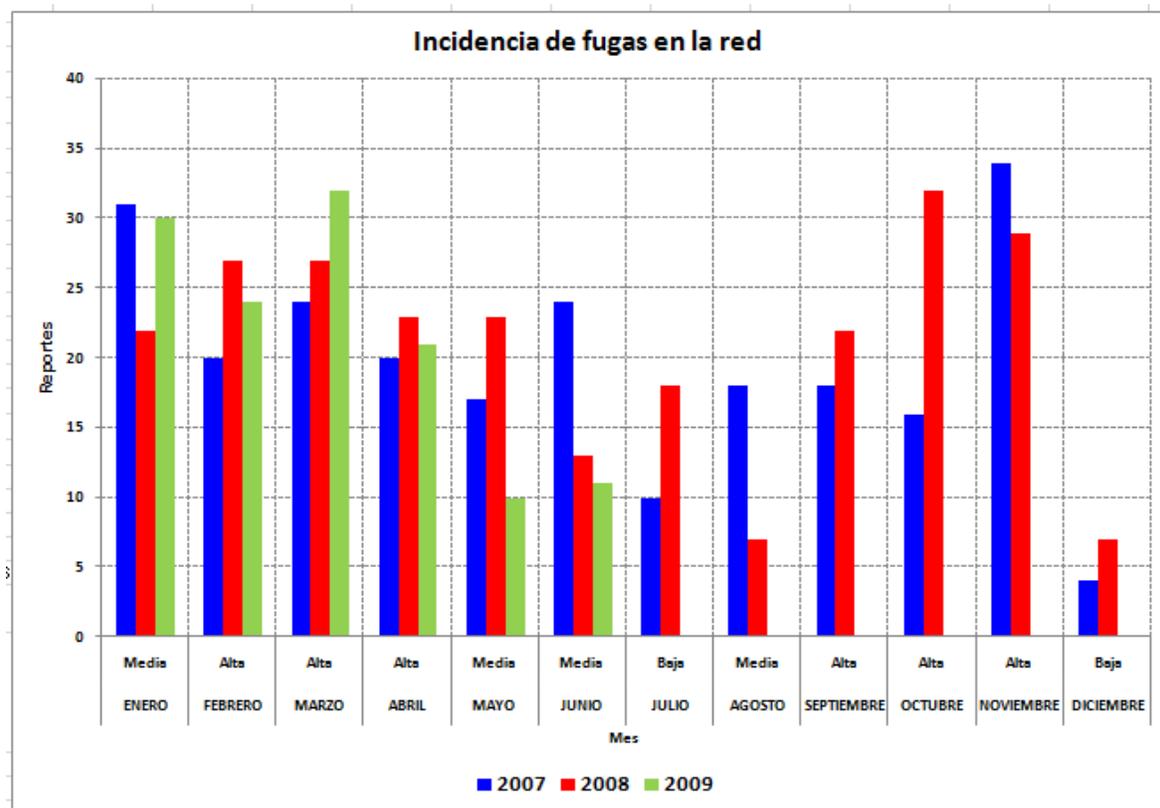


Figura 35. Incidencia de fugas en la red de agua potable según la ocupación en CU.

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.

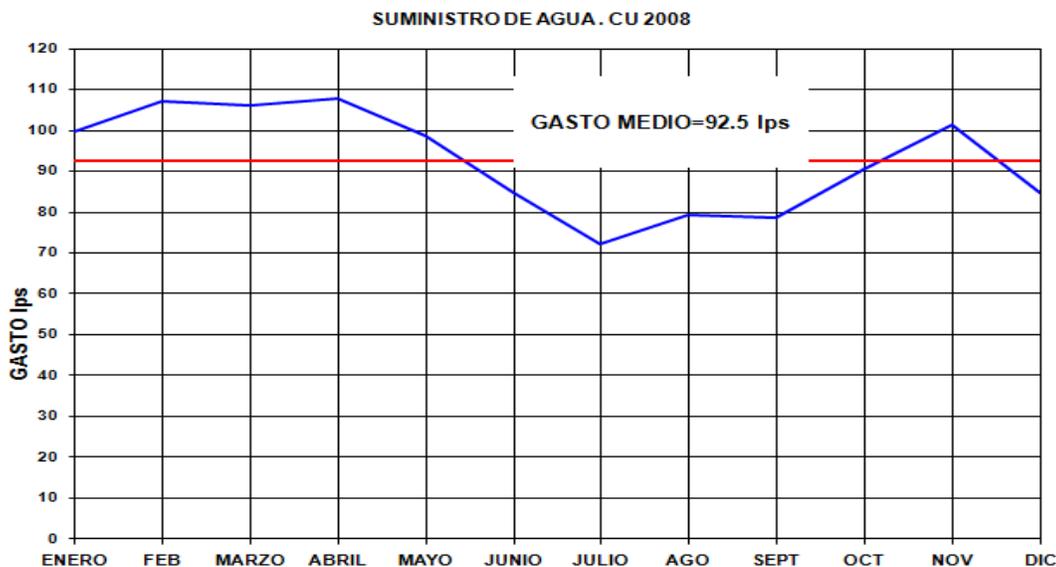


Figura 36. Estimación del Balance durante el Año 2008.

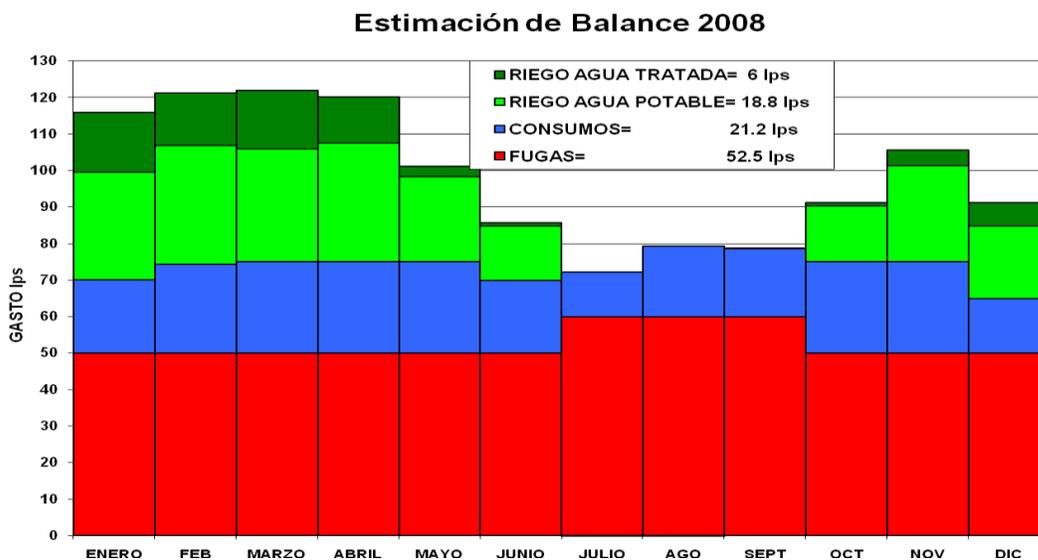


Figura 37. Estimación del Balance durante el Año 2008.

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:

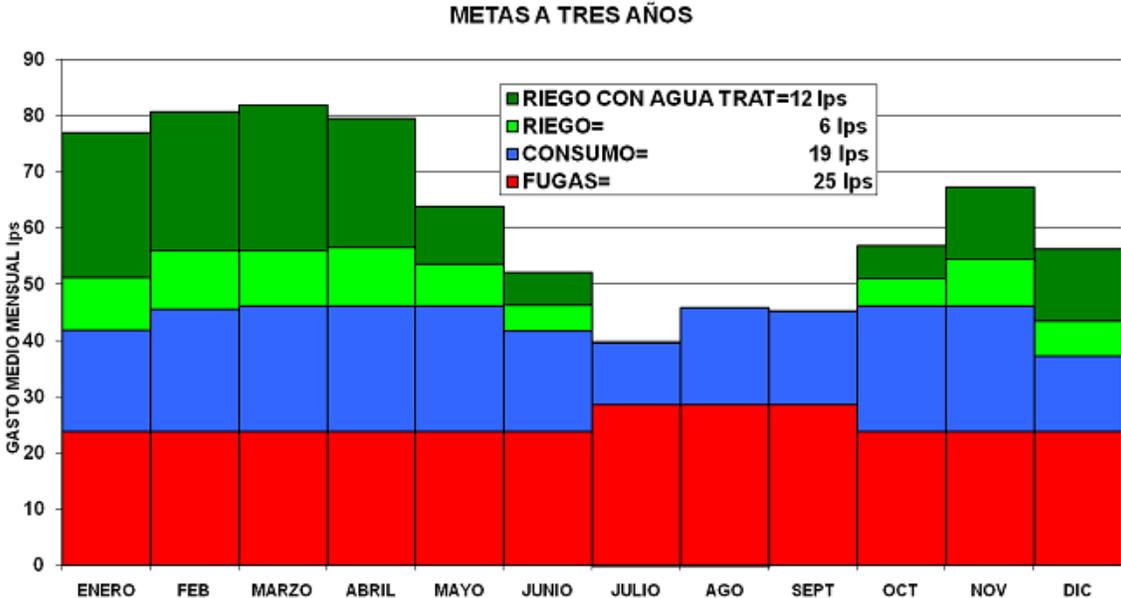


Figura 38. Balance hidráulico para el año 2011 en Ciudad Universitaria.

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 accesado 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.