
Capítulo 3

USO EFICIENTE DEL AGUA EN CIUDADES E INDUSTRIAS

Felipe I. Arreguín-Cortés

INTRODUCCION

La preocupación por usar mejor el agua en ciudades no es nueva, en 1890 Thomas Crapper construyó en Inglaterra el primer excusado de bajo consumo para reducir el problema de la contaminación provocada por las aguas residuales, (Corpening, 1990).

Los principales problemas de abastecimiento que afrontan los centros urbanos son el agotamiento de las fuentes locales, la contaminación de las mismas, los altos costos de captación y conducción del agua y los conflictos generados por los intereses de diferentes usuarios sobre las fuentes. Paradójicamente, ante esta difícil situación, en las ciudades ocurren grandes porcentajes de fugas, se utilizan tecnologías derrochadoras de agua, no se reusa este recurso, los sistemas de facturación y cobranza son deficientes, las tarifas por el servicio frecuentemente no cubren los costos del suministro y existe poca conciencia ciudadana.

En épocas recientes, se empezaron a conjuntar acciones de uso eficiente hasta constituirse en verdaderos programas. Estos se manifestaron como tales a principios de los años 70 en el ámbito urbano, cuando grandes sequías azotaron el suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica. En un principio fueron programas emergentes, pero su eficiencia y la creciente escasez de agua los han convertido en programas de mediano y largo plazos (Gordon, 1990; Van Dyke *et al.*, 1990). En México, el Departamento del Distrito Federal, implantó su programa de uso eficiente del agua en 1984 (DDF, 1990).

USO EFICIENTE EN LAS CIUDADES

En una ciudad, en promedio se consume el 71% de la producción total de agua en las casas habitación, el 12% en la industria, el 15% en el comercio y el 2% en el sector servicios. Las técnicas de uso eficiente en las ciudades se pueden clasificar en cinco grupos: medición, detección y reparación de fugas, sistemas tarifarios, reglamentación y comunicación y educación.

Medición

La medición en las ciudades es necesaria en dos niveles: macro y micro. La macromedición se refiere a la cuantificación de los caudales captados, conducidos y distribuidos. Esta actividad es fundamental para la planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y administración de los sistemas operadores de agua potable y alcantarillado. La micromedición tiene por objeto cuantificar periódicamente el consumo de agua de cada usuario con fines de facturación, de asegurar que los consumos sean racionales y para mantener un equilibrio adecuado entre la producción y la demanda de agua.

Macromedición

Es fundamental en la operación de un organismo operador, pues permite desarrollar las siguientes actividades, (IMTA, 1989):

- Obtener la dotación real de los sistemas y distintos sectores de abastecimiento de agua.
- Determinar los volúmenes y caudales de agua entregados en los sectores de producción, y comparar la disponibilidad con la demanda de agua.
- Obtener caudales, presiones y niveles en puntos significativos de los sistemas de agua potable.
- Generar información que permita evaluar el equilibrio en el suministro de agua en las diferentes zonas de presión, así como la homogeneidad de presiones en la red de distribución.
- Evaluar las condiciones hidráulicas reales de funcionamiento del sistema.

- Generar información para la planeación y ejecución de los programas de mantenimiento tanto preventivo como correctivo en las líneas de conducción, redes de distribución, instalaciones y equipos electromecánicos, plantas de potabilización y tanques de almacenamiento.
- Evaluar el tiempo de saturación de los sistemas en función del desarrollo demográfico, socioeconómico y cultural de las comunidades.
- Determinar los volúmenes de agua no facturados.
- Determinar los componentes de las pérdidas en el sistema público de producción y distribución de agua.
- Facilitar la generación de datos útiles para la evaluación del sistema de macromedición existente, incluyendo el grado de adecuación de los medidores domiciliarios al régimen de demanda de los usuarios, grado de precisión y sensibilidad de los equipos, eficiencia de mantenimiento, plan de sustitución, grado de eficiencia de lecturas y procesamiento de datos.
- Generar información para la formulación, implantación y control de las políticas tarifarias de los organismos operadores.
- Generar datos estadísticos de las mediciones que permitan evaluar los programas de operación, mantenimiento y del uso eficiente del agua.
- Implantar el sistema de información operacional y el proyecto de control de la operación.

Un problema muy común relacionado con la macromedición es la poca utilización de los datos obtenidos, es decir existe poca relación entre la medición y la operación de los sistemas (Saavedra, 1991). Para superar este problema se recomienda ligar la macromedición con un sistema de información adecuado por ejemplo el mostrado en la Figura 1. En la etapa de procesamiento de datos, estos se deben validar, almacenar, procesar y recuperar en la forma adecuada para satisfacer las necesidades del área de operación, de otras áreas del mismo organismo o aún de áreas externas al mismo, por ejemplo informes rutinarios para el control del sistema, informes para llevar a cabo los trabajos de operación y mantenimiento, proyectos de ahorro y optimización de la operación, reportes gerenciales, etc.

Otro aspecto importante para hacer un uso eficiente de los macromedidores es el programa de mantenimiento que puede ser de dos tipos: preventivo y correctivo.

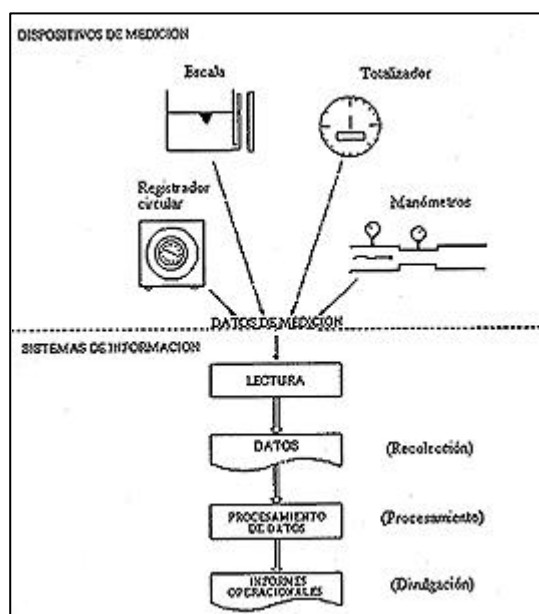
El primero de ellos permite obtener mediciones constantes y de buena calidad, evaluando técnicamente los medidores y haciendo las sustituciones periódicas de los accesorios que pudieran tener desperfectos por el uso. Dado que el mantenimiento correctivo es accidental, no es posible establecer una programación para ello.

Una forma eficiente de controlar los macromedidores son los sistemas de automatización, que permiten concentrar en un sitio determinado en forma automática la información de los medidores, procesarla y ligarla a la operación del sistema de agua potable y alcantarillado.

De esta manera el operador puede tener una visión amplia de la red, lo que le permitirá tomar decisiones correctas con respecto al sistema. Esto último puede reforzarse si el sistema de automatización puede recibir comandos del operador y traducirlos en órdenes ejecutables a control remoto (DDF, 1991).

Micromedición

Esta acción puede influir en la reducción del consumo de agua domiciliario hasta en un 25% en áreas que no contaban con medición, (Grisham y Flemming, 1989), ver Tabla 1.



¡Error! Marcador no definido.

Figura 1
Tratamiento de los datos de medición a través del sistema de información

Tabla 1
Técnicas de uso eficiente del agua en el medio municipal según Grishman y Fleming.

Técnica	Ventajas	Desventaja	Reducción del consumo
Medición	- Fácil de implantar - Mayor potencial de ahorros	- Altos costos de capital - Requiere cambios en la estructura tarifaria	25% en áreas que no tienen medición
Reparación de fugas	- Reduce el agua no contabilizada	- Los costos pueden sobrepasar los del agua ahorrada	9% aproximadamente
Tarifas	- Pueden inducir fuertemente al ahorro	- Objeción de los usuarios - Requiere de estructuras bien diseñadas para ser efectivas	10%
Dispositivos ahorradores	- Baratos - Ahorros rápidos	- Requiere la cooperación del usuario	Al menos 10% del consumo residencial
Reglamentación	- Gran potencial de ahorro - Reduce aguas residuales	- Posible resistencia de constructores	Sobre un 10% del uso residencial
Restricciones al uso residencial	- Efectivo en los exteriores de las casas, especialmente en sequías	- Requiere la cooperación del usuario - Difícil de establecer	10 a 20% del uso residencial
Reuso y jardines eficientes	- Ahorros significativos - Bajo mantenimiento de las plantas nativas	- Baja aceptación de usuarios - Preferencia de los usuarios por determinadas plantas - Puede no haber disponibilidad de plantas nativas	25% del uso residencial
Educación	- Puede cambiar malos hábitos - Resultados a largo plazo - Promueve la participación voluntaria	- Requiere un esfuerzo bien planeado y coordinado	5%

En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (Ochoa L, *et al.* 1990), se hizo un estudio para evaluar el impacto de la micromedición en los usuarios. Primero se colocaron medidores ocultos y se midió el consumo en tres sectores socioeconómicamente diferentes, después se colocó el medidor en forma visible a los mismos usuarios y se midió el consumo respectivo.

Se encontró que las clases socioeconómicamente alta y baja son poco sensibles a la medición, pero que la clase media redujo sus consumos en un 50%. En total la reducción del consumo fue del 25%.

Algunas de las ventajas de instalar medidores son:

- Racionalización del uso de los recursos hidráulicos.
- Optimización de los recursos disponibles en el sistema actual, es decir se pueden postergar inversiones, o incrementar la cobertura de agua potable.
- Posibilidad de ofrecer un servicio continuo, lo cual evita molestias a los usuarios y riesgos a la salud.
- Reducción de costos de operación.
- Apoyo a las acciones de control de fugas.
- Generación de información sobre el comportamiento de la demanda de las diferentes categorías y tipos de consumidores.

La micromedición puede resultar una acción cara desde la etapa de instalación hasta la de mantenimiento, por lo que conviene planear con mucho cuidado la administración de esta actividad.

Antes de instalar los medidores debe realizarse un análisis sobre el tipo y uso del predio y su probable consumo, de manera que se pueda dimensionar razonablemente la capacidad del medidor, pues existen dos riesgos: que se subdimensionen, es decir que su capacidad sea inferior al consumo real del predio, con lo cual se obtendrán mediciones erróneas y su vida útil será menor por el desgaste acelerado de sus piezas. La otra posibilidad es que se sobredimensionen, lo cual implica una inversión inicial mayor que la necesaria, y registros de flujos mínimos con errores debido a su menor sensibilidad en ese rango.

Una vez dimensionados conviene decidir dónde se instalarán los medidores, para ello deben considerarse variables técnicas, financieras, económicas y sociales, como las que se enumeran a continuación:

- a) Tamaño de los sectores
- b) Costos de instalación, mantenimiento, lectura y facturación
- c) Equipo de transporte
- d) Calidad del agua
- e) Cantidad del agua
- f) Consumos elevados
- g) Costos de operación
- h) Nivel de medición actual

Aunque lo ideal es medir en el 100% de las tomas domiciliarias, esto no siempre es posible debido al costo de la implantación de un sistema de micromedición.

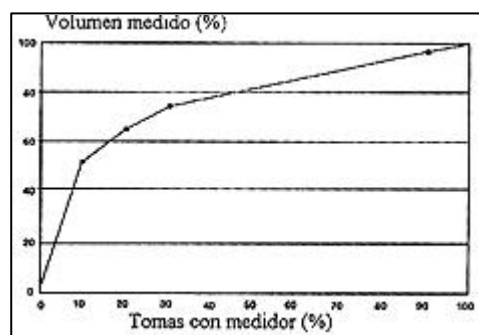
De acuerdo a estudios hechos en varios organismos operadores de agua potable y alcantarillado (IMTA, 1989), se ha determinado que al 10% de las conexiones con medidores corresponde el 51% del consumo total, esto es considerando a los mayores consumidores; que al rango del 10 al 20% de tomas con medidores corresponde un 14% del volumen medido, mientras que en el rango del 90 al 100% de conexiones sólo se mide un 3%, ver Figura 2. Con relación a los costos se estima que con el 30% de las tomas domiciliarias, se puede alcanzar a medir un 75% del volumen, con un costo del 36% del total.

Se puede definir entonces una estrategia para instalar micromedidores, existen tres posibilidades:

Medición selectiva. Consiste en localizar a los grandes consumidores y empezar la medición con ellos, hasta alcanzar el radio definido para la población.

Medición sectorial. Ocurre cuando se hace la medición de un predio con varios consumidores, prorateando el consumo medido entre todos ellos. Para que esta opción sea justa deberá tratarse de que la población tenga hábitos de consumo semejantes, que se conozca la cantidad real de tomas, que se estime el porcentaje de pérdidas en la distribución y que se tomen en cuenta hidrantes y otras derivaciones.

Medición combinada. Es una mezcla de los dos sistemas propuestos. Se aplica en zonas donde los consumos no son homogéneos. Por ejemplo en una zona abastecida por un sólo tanque se puede poner un macromedidor a la salida del mismo, colocar micromedidores a los grandes consumidores y de la lectura del macromedidor, restar los grandes consumidores, las pérdidas y los volúmenes públicos y el resto proratearlo entre los que no tienen medidor. Como en el caso de los macromedidores, será más eficiente el funcionamiento de los medidores domiciliarios si se establecen programas de mantenimiento adecuados.

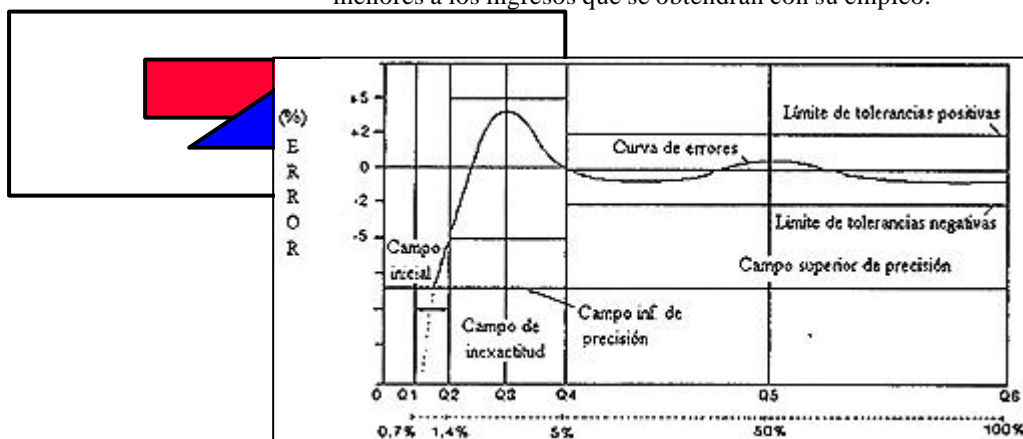


¡Error! Marcador no definido.

Figura 2

Relación de tomas con medidores/volumen medido

El mantenimiento preventivo tiene como principal objetivo asegurar los registros de los medidores dentro de los rangos de exactitud, ver Figura 3. Esta actividad se justifica sólo cuando los costos para su ejecución son iguales o menores a los ingresos que se obtendrán con su empleo.



¡Error! Marcador no definido.

Figura 3

Características principales de la curva de exactitud

Un método práctico para determinar el funcionamiento real de los medidores, es construir sus curvas características y en ellas analizar su funcionamiento, esto puede hacerse colocando aguas abajo del medidor que se desea estudiar, un medidor calibrado, o haciendo pruebas volumétricas con un recipiente graduado y un cronómetro.

Los medidores de mayor capacidad (7m³/h o superior) deberán tener prioridad en el programa de mantenimiento preventivo, y cada organismo operador debe establecer su propio programa de acuerdo a su capacidad de personal de campo y de su taller de medidores, existen programas de cómputo para establecer el periodo adecuado de mantenimiento a estos dispositivos (Planells *et al.*, 1987).

El mantenimiento correctivo es una respuesta a las informaciones de los lecturistas y de los usuarios, que deben transformarse en órdenes de servicio con objeto de garantizar su pronta ejecución.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (Ochoa, 1991), hizo un estudio del funcionamiento de medidores en una ciudad con 17,420 tomas, de las cuales el 17.8% cuentan con medidor.

El tamaño de la muestra se determinó por medio de la teoría de muestreo estratificado simple aleatorio, con un nivel de confianza del 95%. Se encontró que el 43% funcionan en el rango inferior, de la curva de errores del micromedidor, el 55.8% en el rango normal y el 1.2% en el superior, esto indica claramente que es necesario instalar aparatos cuya exactitud sea máxima con gastos inferiores al 5% de su capacidad nominal.

Se obtuvieron las curvas características de medidores con gastos normales de 2 y 3 m³/h en campo, en los cuales se hallaron errores promedio del +/- 27.8% . Aún más se sustituyeron varios de esos medidores por otros nuevos a los cuales se les calcularon sus curvas características obteniendo errores de +/- 4.5%, ver Figuras 4.6 y 4.7. Otro lote fue transportado a un laboratorio para hacer mediciones atendiendo a las condiciones de instalación que marca la

normalización correspondiente y los errores promedio fueron de +/- 12% . Se obtuvieron dos conclusiones inmediatas, para utilizar la micromedición como elemento del uso eficiente del agua es necesario que la calidad y el respeto a las normas de instalación sean las adecuadas.

Finalmente se encontró que el 23.4% de los aparatos miden de más, el 71.4% miden de menos y solamente el 5.2% mide bien.

Con esta experiencia el estudio fue ampliado a 22 ciudades, en la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en 15 de ellas, puede notarse que el promedio de submedición es de 2.0%, muy bajo en comparación con las fugas en la red de distribución y en las tomas domiciliarias.

Tabla 2

CIUDAD	Volumen promedio suministr. (L/s)	Tomas con fuga		Volumen perdido por fuga en toma		Volumen perd. por fuga en red		Volumen submed. por medidores		Total de pérdidas en el sist. %
		%	L/s	%	L/s	%	L/s	%		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
Guaymas, Son.	488	30	114	23.4	8.6	1.8	5.2	1.1	26.23	
Querétaro, Qro.	1283	14	242	13.5	50.0	2.8	242.7	13.6	29.96	
Veracruz, Ver.	2869	17	694	24.2	4.0	0.1	0.0	0.0	24.34	
Xalapa, Ver.	1215	9	418	34.4	108.0	8.9	0.0	0.0	43.32	
Los Cabos, B.C.S.	268	34	61	22.6	32.2	12.0	7.9	3.0	37.63	
Oaxaca, Oax.	721	24	427	59.2	8.2	1.1	0.0	0.0	60.34	
Cancun, Q.R.	940	38	226	24.1	146.7	15.6	2.4	0.3	39.95	
Chihuahua, Chib.	3489	5	552	15.8	896.0	25.7	0.0	0.0	41.50	
Juárez, Chih.	4147	19	1241	29.9	239.7	5.8	0.0	0.0	35.70	
Coatzacoalcos, Ver.	730	19	289	39.7	31.9	4.4	0.0	0.0	44.03	
Constitución, B.C.S.	165	35	52	31.4	2.0	1.2	1.3	0.8	33.44	
Durango, Dgo.	2128	21	650	30.5	236.0	11.1	0.0	0.0	41.63	
Tapachula, Chis.	776	10	107	13.7	170.0	21.9	30.6	3.9	39.55	
Tuxtla Gtz., Chis.	1162	15	300	25.8	174.3	15.0	110.0	9.5	50.28	
Zacatecas, Zac.	485	14	134	27.7	14.8	3.1	0.0	0.0	30.74	
Promedio (%)		15.0		26.0		10.0		2.0	38.0	

Resultados de estudios de fugas en la República Mexicana

Detección y reparación de fugas

Las pérdidas en los sistemas de agua potable y alcantarillado se deben a la evaporación y filtración en los vasos de almacenamiento y regulación, a las fugas en las plantas potabilizadoras, a las fugas en las redes y en las tomas domiciliarias; a la imprecisión de la medición o a la ausencia de ella y, en consecuencia, a la mala estimación, a las tomas clandestinas y al agua no contabilizada que se usa en los servicios municipales, como el riego de áreas verdes o arbotantes para el control de incendios.

Las fugas en las redes pueden ser visibles y no visibles; las primeras emergen de la tierra o del pavimento, las segundas no son detectadas a simple vista, pues el agua puede ir al sistema de drenaje o al acuífero.

Causas de las fugas

Las causas de las fugas pueden variar dependiendo del tipo de suelo, calidad del agua y de la construcción, los materiales usados, las presiones, la edad de la red y las prácticas de operación y mantenimiento.

En la red las fugas pueden presentarse como consecuencia de roturas debidas a agrietamiento transversal, aplastamiento o agrietamiento longitudinal; el primer caso es provocado por vibraciones causadas por cargas superficiales; el segundo es resultado de la mala construcción y el tercero se debe a fatiga, defectos de fabricación o golpe de ariete. Existen otros fenómenos como la corrosión, el mal junteo de los tubos o la falla de las válvulas que pueden incrementar este problema.

En las tomas domiciliarias, las fallas pueden ser por rajadura, perforación, corte o piezas flojas. El primer tipo de falla se asocia a mala calidad del material o mala construcción; el segundo y tercer caso a cargas externas y el cuarto a mala construcción.

Beneficios de la detección y reparación de fugas

Se pueden resumir de la manera siguiente:

- Reducción de pérdidas de agua, energía eléctrica y reactivos químicos.
- Mejoramiento financiero, al reducirse los costos de potabilización y bombeo.
- Incremento en el conocimiento de la red por parte de los operadores del sistema.
- Reducción de riesgos de contaminación.
- Menor desgaste de bombas, plantas potabilizadoras y sistemas de distribución.
- Reducción de aportaciones a las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Uso más eficiente de los recursos existentes, al poder ampliar la cobertura o diferir la construcción de obra nueva, pues de hecho se incrementa la producción.
- Promoción de la participación ciudadana, pues el manejo eficiente de un sistema siempre es un estímulo para que el público participe en su conservación.

Existen tres tipos de modelos de análisis de un sistema de agua potable: descriptivo, predictivo y físico, (AWWA, 1986).

El análisis descriptivo provee un entendimiento inicial del sistema, incluye análisis históricos de funcionamiento, fallas, tipo de reparaciones, etc. Este análisis permite definir con un nivel de confianza preestablecido los porcentajes de pérdidas en la red y en las tomas domiciliarias, en los sectores en que se haya dividido el sistema de distribución.

El análisis predictivo permite establecer el comportamiento futuro del sistema de agua potable, con base en el análisis descriptivo. Por ejemplo si se conoce la edad de la red, el tipo de material con que está construida, los niveles de corrosión, el tipo de fallas más frecuente, la forma en que se han reparado, etc, puede definirse un modelo de comportamiento futuro de la red.

El análisis físico por su parte incluye el trabajo de campo para hacer la detección puntual de las fugas, éstas se presentan en la red, en las tomas domiciliarias o en cualquier otra parte del sistema. Sirve además para verificar los resultados obtenidos en los análisis descriptivo y predictivo.

En México se lleva a cabo un ambicioso análisis descriptivo de pérdidas físicas de agua en 22 ciudades, que incluye la estimación de fugas en la red y en las tomas domiciliarias y submedición.

El análisis de fugas en la red se hace mediante la técnica de los distritos pitométricos, (Ochoa y Arreguín, 1991). Estos son sectores de la red que pueden aislarse, mediante la operación de válvulas. Así, se puede medir exactamente cuánta agua entra al distrito pitométrico, si a este volumen se le resta el consumo doméstico per cápita, el consumo no doméstico y el volumen de fugas de las tomas domiciliarias, se habrá calculado el volumen de fugas en la red. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en quince ciudades en las que puede observarse que en promedio el 10.0% del agua se pierde en las redes de distribución.

La determinación de fugas en las tomas domiciliarias se realizó mediante un muestreo estadístico estratificado con proporciones, estableciendo un nivel de confianza del 95% y un error en la estimación del 5%.

En la misma Tabla 2 se observa que el porcentaje promedio de pérdidas en las tomas domiciliarias es del 26.0% . Diferentes tipos de modelos predictivos y físicos pueden consultarse en (AWWA, 1986).

Métodos para la detección de fugas

Existe varios métodos (Echávez, G, 1991), uno de ellos es el método acústico. Se basa en el hecho de que las fugas a presión producen un ruido que puede ser captado por medio de micrófonos, amplificadores y audífonos. Se usa mucho por su accesibilidad y fácil manejo, aunque puede ser difícil interpretar las señales si no se cuenta con experiencia suficiente en su manejo.

Otro método es el de presurización de la red o método suizo, que consiste en inyectar agua a presión a un sector de la red o un tramo de tubería, y medir la cantidad de agua que se requiere para mantener la presión constante, este volumen de agua es exactamente el que se fuga.

El método de correlación (De la Vega y Espinoza, 1991), se basa en la recepción del ruido debido a una fuga por medio de sensores colocados a ambos lados de ella, las dos señales se amplifican y procesan en un analizador de correlación, hasta encontrar el defasamiento que produce una máxima correlación.

Otro método que se ha usado recientemente es el de los trazadores. Consiste en inyectar un trazador, por ejemplo isótopos, óxido nitroso, helio o mezclas de metano con nitrógeno y con argón, para su posterior detección en la zona de fuga por medios químicos o radiológicos.

Consideraciones económicas

Los programas de detección y reparación de fugas han demostrado ser rentables en muchos organismos operadores de agua potable y alcantarillado en varios países. El análisis económico de estos programas requiere del cálculo de los beneficios y costos de los mismos.

La forma más conservadora de estimar los beneficios, es considerar el valor del agua que se pierde incluyendo el pago de derechos y los costos de energía eléctrica y reactivos químicos. Una segunda forma incluye además reparaciones, mantenimiento, salarios y supervisión de bombeo, tratamiento, conducción y distribución, es decir los costos de producción. La tercera forma y tal vez la más adecuada es dividir todos los costos de operación del organismo operador, entre el volumen de agua producido, que para los efectos de este artículo se les llamarán costos de operación, (AWWA, 1985).

A manera de ejemplo se presentan los análisis económicos de dos programas de detección y reparación de fugas, implantados en Estados Unidos, que dan una buena idea de los beneficios netos y de la relación beneficio/costo de los mismos.

La Westchester Joint Water Works, WJWW, sirve a una población de 50,000 habitantes, en Nueva York. El sistema consiste de 302 km de tubería, 1334 hidrantes y dos estaciones de bombeo.

En esta ciudad se realizaron tres campañas de detección y reparación de fugas de 1975 a 1980, en la Tabla 3, se presenta el análisis económico de este programa en el periodo señalado. Los beneficios se calculan como el valor del agua que se fuga considerando los tres criterios señalados anteriormente. Puede notarse que la relación beneficio/costo de los programas de detección-reparación de fugas varía de 1.7 a 7.6.

Tabla 3

Análisis económico del programa de detección y reparación de fugas en la WJWW, usando las tres definiciones de la relación beneficio/costo actualizados a 1980

Definición de Beneficio	Beneficio Miles US\$	Programa	Costo Miles US\$	Beneficio Neto	Relación B/C
Derechos, energía eléctrica y reactivos	401	Det. y rep.	239	162	1.7
		Detección	111	290	3.6
Costos de producción	995	Det. rep.	239	756	4.2
		Detección	111	884	9.0
Costos de operación	1812	Det. rep.	239	1573	7.6
		Detección	111	1701	16.3

Fuente: Economics of Leak Detection, AWWA, 1985.

Otro ejemplo es el programa de detección y reparación de fugas de la Louisville Water Company, LWC, que abastece a una población de 800 000 habitantes, realizado en el período 1964-1980, presentado en la Tabla 4 donde pueden observarse relaciones beneficio/costo de 5.

Tabla 4

Análisis económico del programa de detección y reparación de fugas en la LWC, usando las tres definiciones de la relación beneficio/costo actualizados a 1980

Definición de Beneficio	Beneficio Miles US\$	Programa	Costo Miles US\$	Beneficio Neto	Relación B/C
Derechos, energía eléctrica y reactivos	900	Det. y rep.	2700	-1800	0.3
		Detección	1700	-800	0.5
Costos de producción	3900	Det. rep.	2700	1200	1.4
		Detección	1700	2200	2.3
Costos de operación	8500	Det. rep.	2700	5800	3.1
		Detección	1700	6800	5.0

Fuente: Economics of Leak Detection, AWWA, 1985.

Sistemas tarifarios

Históricamente los costos del agua han sido subsidiados en gran parte por los Gobiernos de los países, sin embargo cada vez es más difícil continuar con estos esquemas de financiamiento y se trata de establecer políticas tarifarias que involucren más al usuario.

Las tarifas son un elemento fundamental en los programas de uso eficiente del agua. Según Grisham y Flemming (1989), las tarifas pueden ayudar a ahorrar agua si en su estructura se observan las siguientes condiciones: que reflejen el costo real, que están relacionadas con los consumos, que los incrementos diferenciales sean grandes para que puedan inducir a ahorrar agua y que los cambios de tarifas están acompañados de programas de comunicación y educación.

En resumen, al cobrar adecuadamente los servicios a los usuarios, el consumo se hace eficiente, pues tiende a disminuir el volumen de agua usado y se evita el desperdicio, (Saavedra J. C, 1991).

El agua representa beneficios distintos para cada categoría de usuarios. En el medio urbano se distinguen básicamente cuatro tipos de uso: doméstico, público, industrial y especiales.

Cada una de estas categorías reacciona distinto ante un mismo estímulo económico de cobro por los servicios, por lo tanto es necesario diseñar adecuadamente las tarifas, para ello se debe disponer de información detallada de costos históricos y proyectados. También se requiere conocer el mercado consumidor y sus características de consumo estacional y la capacidad de pago de los consumidores.

Para establecer una política tarifaria adecuada, es necesario definir los objetivos que se persiguen eligiendo entre máximo ingreso, máximo volumen de ventas, recuperación de costos, obtención de una tasa de retorno determinada, amortización de la deuda, redistribución del ingreso, uso eficiente de los servicios o una combinación de los anteriores.

Definidos los objetivos, se procede al diseño. Las variables de decisión son: número de categorías de usuarios, tipo de tarifas, costos, subsidios disponibles, periodo de ciclo comercial, número de clases de consumo y límites para usuarios domésticos, si se incluye memoria o no, proporción de subsidios cruzados, tratamiento de usuarios múltiples, nivel tarifario medio, nivel tarifario por categoría de usuarios y bloques, criterios para estimación de consumos en usuarios no medidos por categoría, cuota básica sin consumo, criterio de cálculo y costo de conexión por categoría, cobro mínimo periódico por categoría, cobro por multas y cobro por otros servicios.

Una vez establecida la política tarifaria se requiere que todos los usuarios estén registrados en el padrón y que sean clasificados por categorías, que el volumen de consumo sea medido periódicamente con base en medidores en buen estado, que se calcule y se cobre correctamente la factura a los usuarios informándoles su consumo y que el proceso se ajuste continuamente.

El ajuste de tarifas es un proceso indispensable debido al cambio en los costos de los insumos. Si no se planifica y estalece una política en este sentido, las tarifas quedan sujetas a circunstancias ajenas al organismo operador y se rezagan.

Además de diseñar bien una tarifa es necesario implantarla bien. Esto implica comunicar eficazmente la necesidad del cambio a las autoridades políticas y a los usuarios, para reducir la resistencia natural a cobros más altos, se deben realizar campañas de comunicación dirigidas a las diferentes categorías y sectores sociales, basada en información simple y atractiva.

En México en un análisis hecho en 1990 en 68 ciudades que agrupan al 86% de la población urbana, se encontró que el 97% de ellas establece tarifas por servicio medido, y en el 73% de éstas se establece una cuota mínima (Saavedra, 1991).

Se recomienda ver la Tabla 2 para comparar la eficiencia de esta medida como otras incluidas en los programas de uso eficiente.

Reglamentación

En general, los reglamentos para hacer más eficiente el uso del agua son de tipo restrictivo y tienen efecto en el ahorro del líquido; pueden ser de mediano o largo plazos o aplicables sólo durante las épocas de escasez; normalmente estos últimos requieren de una vigilancia muy estricta y, por lo tanto, se recomienda que se apliquen sólo cuando sea realmente necesario.

En México, existe el Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal (Diario Oficial de la Federación, 1990), que en su título segundo, capítulo tercero, trata sobre el uso responsable, racional y eficiente del agua. Algunos aspectos relevantes señalados en los artículos correspondientes se refieren a que los usuarios deberán mantener en buen estado sus instalaciones hidráulicas interiores, a fin de evitar el desperdicio; los excusados tendrán una descarga máxima de seis litros en cada servicio, las regaderas un gasto de 10 l/min y los mingitorios de cuatro litros por descarga. Se menciona además, la obligación de participar en el programa de sustitución de excusados.

También se señala que las albercas de cualquier volumen, deberán contar con equipos de filtración, purificación y recirculación del agua; y se prohíbe el uso de la manguera para el lavado de vehículos automotores y de la vía pública, entre otros.

En algunos estados de la República Mexicana existen también reglamentos relativos al uso eficiente del agua, y actualmente se está promoviendo que se establezcan en todo el país.

Comunicación y educación

Para que todo programa de uso eficiente del agua tenga éxito, debe contar con la participación ciudadana, y para ello es indispensable establecer acciones de comunicación y educación. Otras actividades de estos programas, como las arriba mencionadas, serán más fáciles de realizar si se incluye a la población (Grisham y Flemming, 1989).

Los medios para hacer del conocimiento de los usuarios los objetivos, metas y resultados del programa son variados, incluyen desde avisos en los recibos de pago, campañas publicitarias en prensa, radio y televisión, anuncios en la vía pública y sistema de transporte hasta la distribución de dispositivos ahorradores. Se estima que este tipo de programas puede llegar a producir ahorros de entre un 4 y 5 % de la producción total de agua (Grisham y Flemming, 1989), ver Tabla 1.

En relación con la educación formal, es necesario fortalecer los programas de educación primaria y secundaria, en aspectos básicos como el ciclo hidrológico, de dónde viene, cuánto cuesta y a dónde va el agua usada en las ciudades; pero sobre todo mediante acciones que un niño o un joven pueden llevar al cabo en forma inmediata como el uso adecuado del agua en jardines, excusados, regaderas o lavabos.

USO EFICIENTE EN LAS CASAS

En este nivel los usos del agua pueden clasificarse en interiores y exteriores. En aquellos domicilios que cuentan con jardines puede llegar a utilizarse 50% del agua en cada tipo de uso.

Usos interiores

En una casa habitación puede utilizarse hasta un 35% del consumo interior en los excusados; un 30% en las regaderas, un 20% en las lavadoras de ropa, entre un 3 y 10% en las llaves de fregaderos y lavabos y un 5% en las lavadoras de trastos.

Excusados de bajo consumo

Los tradicionales utilizan de 16 a 20 litros por descarga, lo que significa un consumo de 80 a 100 litros diarios por habitante; los de bajo consumo que funcionan con 6 litros por descarga pueden reducirlo a 30 litros diarios por habitante. En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua se han probado una gran cantidad de excusados de diversos países y se ha encontrado que tienen un funcionamiento variable, dependiendo de la marca y del lote medido (García y Cortés, 1989-1990).

La búsqueda por ahorrar agua en estos dispositivos ha llegado a la utilización de tanques presurizados, que funcionan conectando la línea de alimentación al tanque que está cerrado herméticamente (Stevens Institute of Technology, 1991), con lo cual la carga de presión dentro del mismo puede ser igual a la diferencia de nivel de la superficie libre del agua en el tinaco y la descarga del tanque del excusado; o a la presión de la red de abastecimiento, lo que mejora la eficiencia del retrete y reduce la cantidad de agua a niveles inferiores a los 6 litros por descarga.

Existen otros tipos de excusados que llegan al extremo de no usar agua, como los biológicos y los incineradores, (García y Cortés, 1989), que degradan la materia fecal colocada en depósitos inferiores a la taza, hasta convertirla en abono.

Se han hecho esfuerzos para mejorar la eficiencia de los excusados tradicionales, reduciendo la capacidad del tanque, mediante la colocación de recipientes, tabiques, bolsas llenas de agua o represas de plástico, (García y Cortés, 1990), sin embargo en la mayoría de los casos esto resta capacidad de arrastre a la taza. Una opción que parece viable para ahorrar agua en estos inodoros, es la prolongación del sifón de descarga, lo cual reduce el consumo de agua, según mediciones que ha hecho el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (García y Cortés, 1991).

Regaderas

Como ya se señaló es el segundo dispositivo demandante de agua dentro de una casa habitación; en la Ciudad de México se ha reglamentado que la descarga en estos dispositivos no debe ser mayor de 10 l/min. Esto puede lograrse mediante nuevos diseños de regaderas o empleando reductores de flujo.

Llaves de lavabos y fregaderos

La reducción del flujo en estos dispositivos se logra por medio de aereadores, los cuales incluyen aire y dispersan el chorro, incrementando el área de cobertura y por lo tanto la eficiencia de lavado. Un aereador puede llegar a reducir el flujo hasta en un 6%.

Otra opción que se ha explorado y que brinda excelentes resultados, es la colocación de válvulas o sensores que hacen que salga agua sólo cuando se colocan las manos bajo ellos. En un estudio hecho en el IMTA, se encontró que en una llave de lavabo con sensor se tenían descargas de 1.5 l/min a una presión de 0.2 kg/cm²; y de 5.9 l/s con una presión de 2.5 kg/cm², (García y Cortés, 1989).

Lavadoras

Los ahorros en este tipo de máquinas se consiguen poniendo cargas adecuadas de ropa, usando los niveles de agua necesarios para una correcta operación o con lavadoras que usan menos agua. Existen básicamente dos tipos de lavadoras, las de carga frontal y las de tina, las primeras pueden llegar a utilizar la mitad del agua, un 50% de agua caliente y un 33% del detergente que demandan las segundas. La construcción de lavadoras de ropa eficientes ha logrado ahorros de hasta un 24% del consumo de agua en comparación con las tradicionales.

Otra variable que debe tomarse en consideración al evaluar lavadoras es el consumo de energía. (García y Cortés; 1990), presentan los resultados de la evaluación de algunas lavadoras de carga frontal.

Lavadoras de platos

El consumo de una lavadora de este tipo puede variar entre 49 y 95 litros por día, sin embargo, se han construido modelos eficientes que utilizan entre 36 y 45 litros en el mismo periodo de tiempo. Una recomendación para mejorar la eficiencia de estas lavadoras es cargarlas a su capacidad de diseño.

Detección de fugas intradomiciliarias

En los domicilios se pierde una gran cantidad de agua, debido a las fugas en las tuberías y accesorios hidráulicos y sanitarios.

Uno de los muebles que más fugas presenta es el excusado, básicamente en los herrajes de los tanques. Una forma de detectar dichas fugas es el empleo de colorantes que permiten ubicar con precisión por dónde se está fugando el agua; una vez detectada ésta se recomienda hacer las reparaciones necesarias. Sin embargo, la solución de fondo es la fabricación de herrajes que no provoquen fallas; en este sentido los tanques presurizados que no los emplean, los inodoros de balancín o los que sustituyen los herrajes por sifones son opciones que se encuentran en desarrollo.

Con frecuencia, las llaves de lavabo, fregadero o regaderas, también presentan fugas. El desgaste del empaque o las fugas por la tuerca superior, se reparan con facilidad lo que propicia importantes ahorros de agua.

Usos exteriores

Riego de jardines

Las prácticas adecuadas de riego de jardines, son la mejor técnica para ahorrar agua. La hora más apropiada para regar es entre las 4 y 8 de la mañana, debido a que durante esas horas la presión en la red es más alta, la dispersión provocada por el viento es baja y las pérdidas por evaporación son despreciables. Sin embargo, este horario pudiera ser incomodo y se recomienda como opción regar de las 8 a las 12 de la noche, o en las primeras horas de la mañana.

La cantidad de agua aplicada varía de acuerdo al clima. Se recomienda que la profundidad mojada durante el periodo de riego sea de 15 cm. En las áreas con pendientes pronunciadas, no se debe aplicar una cantidad de agua mayor que aquella que pueda ser absorbida por el suelo.

Una forma de reducir la evaporación del suelo es cubriéndolo con tierra de hoja o plástico sobre la superficie.

Igualmente importante es eliminar malezas, que compiten con las plantas por el agua, los nutrientes y la luz solar; (Arreguín y Buenfil 1990), hacen una serie de recomendaciones para ahorrar agua en estos casos.

Plantas nativas de la región

Las plantas que consumen más eficientemente el agua en una región son las nativas. La combinación de éstas con rocas y grava pueden dar una apariencia atractiva y consumir muy poca agua. Una tendencia reciente es el uso de xerófitas (cactus, nopales, etc.) como plantas de ornato; la promoción del empleo de éstas, debe hacerse tomando en consideración el posible impacto al ecosistema que podría causar su trasplante masivo (Cuthbert, 1989; Nero y Sorensen, 1990; Jacoby, 1990).

Lavado de automóviles

Uno de los mayores desperdicios que se pueden hacer del agua es el lavado de automóviles por medio de la manguera; se recomienda hacerlo con una cubeta y una jerga y apoyar el desarrollo de servicios públicos que reusan el agua, (Arreguín y Buenfil, 1990).

Albercas

Casi nunca hay que cambiarles el agua por más verde o turbia que está, siempre puede clarificarse con equipo portátil y productos químicos apropiados. Los factores que producen desperdicio en las piscinas son la filtración y la evaporación.

Para reducir pérdidas por estas causas se recomienda revisar el estado de paredes y el fondo de las albercas, así como utilizar cubiertas que eviten la evaporación, (Arreguín y Buenfil, 1990).

Reducción de Presión

La mayoría de los dispositivos antes analizados, sean exteriores o interiores, aumentan su descarga en relación directa con la presión. En aquellos lugares en donde ésta sea alta, se recomienda utilizar válvulas reductoras de presión, con ellas se logran reducciones en el consumo de agua de hasta un 10%. En la Tabla 5 se presentan algunas técnicas de uso eficiente y ejemplos de las mismas.

Tabla 5
Técnicas de uso eficiente del agua

Ambito	Técnica	Ejemplos
Ciudad	Educación Detección y reparación de fugas Medición Tarifas Reglamentación	Programas escolares Distritos pitométricos Auditorías del agua Programa de macro y micromedición Escalonadas A nivel ciudad, domicilio o actividad
Casas	Interiores Exteriores	Excusados de bajo consumo Regaderas Lavadoras Detección de fugas Riego eficiente de jardines Manejo de albercas Uso de plantas nativas
Industria	Recirculación Reuso Reducción del consumo	Sistemas de enfriamiento Sistemas de lavado Proceso de transporte de materiales Purificación de aire Transporte de materiales Proceso de lavado Optimización de procesos Descargas intermitentes Riego eficiente

USO EFICIENTE EN LA INDUSTRIA

En las industrias también se puede usar mejor el agua. La maquinaria, los procesos y los servicios accesorios demandan grandes cantidades de este recurso que pueden reducirse con técnicas de uso eficiente, (Brown y Caldwell, 1990; Campos *et al.*, 1990). La calidad del agua requerida varía según el tipo de industria (por ejemplo la petrolera o minera requieren menos calidad que la farmacéutica) y con su uso dentro del proceso, por lo que en una misma planta industrial pueden requerirse aguas de diferente calidad en varios procesos.

Los usos industriales del agua se pueden dividir en tres grandes grupos: transferencia de calor, generación de energía y la aplicación a procesos.

Transferencia de calor

Se utiliza en procesos de calentamiento o enfriamiento. Para el primer caso normalmente se usa la generación de vapor por medio de calderas que emplean la combustión de carbón, petróleo, gas o productos de desecho. Para enfriamiento se emplea la circulación de agua, por medio de torres o estanques de enfriamiento.

Generación de energía

La mayor parte de la energía generada en muchos países proviene de plantas termoeléctricas que emplean el vapor de agua para mover turbinas adaptadas a generadores. En la recuperación del vapor se usan condensadores, logrando establecer los volúmenes de reemplazo en un 1% del total de agua suministrada a la planta (American Society for Testign and Materials, 1982).

Aplicación a procesos

Son muchos los procesos en los que se necesita el agua, uno de ellos es el transporte de materiales, caso en que se utilizan tuberías o canales. Las industrias de la celulosa y el papel, las enlatadoras de alimentos, las carboníferas y los ingenios azucareros son las que más recurren a este método.

Las principales acciones de uso eficiente en el nivel industrial son la recirculación, el reuso y la reducción del consumo; en los tres casos son necesarias dos actividades básicas: la medición y el monitoreo de la calidad del agua. La medición es la acción fundamental de cualquier programa de uso eficiente en el sector industrial, en la determinación de consumos horarios diarios, mensuales, estacionales y medios, según se trate; en los procesos, equipos, accesorios, zonas de riego, baños, etc., sirve para programar cómo usar mejor el agua y para motivar a que los trabajadores participen en el ahorro de este líquido.

Como se señaló anteriormente, no todos los procesos industriales ni las áreas anexas a los mismos, requieren de la misma calidad de agua, así, para establecer medidas de recirculación, reuso o reducción, es indispensable conocer la calidad del agua en cada parte del proceso industrial.

Recirculación

Esta acción consiste en utilizar el agua en el proceso donde inicialmente se usó. En general, la primera vez que el agua ha sido utilizada, cambia sus características físicas y químicas y, por lo tanto, podría requerir algún tipo de tratamiento. Es necesario entonces conocer la calidad del agua demandada por el proceso en cuestión, el nivel de degradación de su calidad en el mismo y, por ende, el tipo de tratamiento necesario.

Uno de los usos industriales en que se emplea la recirculación es el enfriamiento de equipos que generan calor, por ejemplo, las bombas o los sistemas que condensan gases, como el de la refrigeración o la condensación de vapor. En estos casos para recircular el agua se utilizan torres de enfriamiento, las cuales disminuyen la cantidad de calor por medio de la evaporación de una parte del agua. La recirculación también se utiliza en los procesos de lavado que tienen por objeto remover residuos o elementos contaminantes de los productos o equipos fabricantes; en este caso es necesario establecer el sistema de tratamiento adecuado para la remoción.

En los procesos de transporte de materiales, por ejemplo minerales o alimentos, se puede recircular el agua, incluso sin tratamiento. Actualmente, en la fabricación de papel, el reciclaje de agua y fibras es una actividad común.

Reuso

En esta situación, el efluente de un proceso (con o sin tratamiento) se utiliza en otro que requiere de diferente calidad del agua. Es necesario determinar la calidad del agua que requiere cada proceso, identificar qué efluentes podrían utilizarse y, cuándo corresponda, definir cuál sería el tratamiento mínimo requerido y los mecanismos para transportar el líquido. El agua producto de los procesos de lavado puede reusarse en otros que requieran de una calidad menor, como sucede en el enfriamiento, el transporte de materiales o la purificación de aire.

En un estudio realizado por el IMTA en un ingenio azucarero, (Romero y González, 1990), se encontró que el agua se podía reusar en lavado de pisos, sistema de enfriamiento, servicios sanitarios y riego agrícola (28% de la demanda total del ingenio), mediante:

- el tratamiento de los efluentes de los sistemas de generación de vacío y de procesos de la destilería;
- reactores anaerobios de flujo ascendente, de sedimentación primaria y secundaria y de biodiscos;
- el tratamiento de los efluentes de servicios sanitarios y otros procesos por medio de lagunas de oxidación y
- el enfriamiento de los efluentes del proceso de condensación de vapor.

El mismo Instituto encontró en una fábrica que tiñe hilo de lana y que confecciona casimires, que se podía reusar hasta un 50% del agua demandada por la industria, (García, 1991).

Reducción del consumo

Otra opción es reducir el consumo. Para ello es posible optimizar los procesos, mejorar la operación o modificar los equipos o la actitud de los usuarios del agua. Aquí es necesario calcular la cantidad de líquido requerida por un proceso dado, compararla con el consumo real y evaluar opciones para disminuir el consumo.

En las industrias hay zonas accesorias (jardines o los servicios sanitarios) en las cuales se pueden lograr importantes reducciones del consumo, por ejemplo sembrando plantas nativas de la zona geográfica donde se ubique la industria, empleando equipo de riego eficiente, riego nocturno, etc. En cuanto a los servicios sanitarios, tanto la eliminación de fugas como el uso de reductores de flujo en excusados y regaderas de bajo consumo contribuyen a reducir los consumos industriales de agua.

En los procesos de transporte de materiales también se puede utilizar esta técnica, por ejemplo, mediante descargas intermitentes, que garantizan la misma capacidad de transporte que las descargas continuas.

En el programa de uso eficiente del agua de cualquier industria es importante la participación de todo el personal (Brown y Caldwell, 1990).

CONCLUSIONES

En muchos casos el uso eficiente del agua no es una opción más, es la única.

Existen técnicas y equipos que permiten usar mejor el agua y la infraestructura, y sin embargo, no se aplican.

La participación de los usuarios en los programas de uso eficiente del agua es escasa, no existe conciencia del problema real que implica la falta del agua y del potencial que existe en ellos para usarla mejor.

Las acciones de uso eficiente se agrupan en programas por ámbito, es decir, hay programas de uso eficiente para las industrias, los municipios, o las cuencas, pero no existe la interrelación adecuada entre ellos para realmente optimizar el aprovechamiento del recurso.

Es necesario apoyar los programas de uso eficiente del agua en el nivel cuenca, con una perfecta definición de la participación de todos los usuarios en su ámbito correspondiente. Sólo de esta manera pueden orientarse todos los subprogramas de uso eficiente en una misma dirección.

REFERENCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **Manual de Aguas para Usos Industriales**, Editorial Limusa, México, 1982.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, **Water Main for Rehabilitation, Replacement**, AWWA, Estados Unidos, 1986.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, "Economics of Leak Detection, A Case Study Approach", AWWA, Estados Unidos, 1985.

ARREGU&IACUTE;N, C. F. y BUENFIL, R. M., **68 Recomendaciones para Ahorrar Agua en Domicilios, Riego e Industrias**. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Octubre de 1990.

BROWN AND CALDWELL CONSULTANTS, **Case Studies of Industrial Water Conservation in the San José Area**, City of San José, Brown and Caldwell Consultants and Department of Water Resources, USA, February 1990.

CAMPOS, M.; MADDAUS, W. y MANZIONE, M., California Industries Discover that Water Conservation Pays, **Proceedings of the Conserv 90**, Phoenix, Arizona, Estados Unidos, August 12-16, 1990.

CORPENING, W. L., Why Toilets - A History of the consumption Toilet and its Introduction into the U.S Market, **Proceedings of the Conserv 90**, Phoenix, Arizona, Estados Unidos, August 12-16, 1990.

CUTHBERT, R. W., Effectiveness of Conservation - Oriented Water Rates in Tucson, Journal of the American Water Works Association, Estados Unidos, Marzo de 1989.

DE LA VEGA, H. Y ESPINOZA, J., "Correlación, la Alternativa Tecnológica en Detección de Fugas", **Memorias del Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua**, México, D. F., México, Octubre de 1991.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, Sistemas de Control para la Automatización de Redes de Agua Potable, Revista Ingeniería Hidráulica en México, Cuernavaca, Morelos, México, Sep-Dic. 1991.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, **Programa de Uso Eficiente del Agua**, México, D. F., México, Agosto de 1990.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACI&OACUTE;N, **Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal**, México, Enero de 1990.

ECH&AACUTE;VEZ, G., Fugas en Redes de Agua Potable, Memoria del Seminario Internacional de Uso Eficiente del Agua, México, D. F., México, Octubre de 1991.

GARC&IACUTE;A, B. A. y CORT&EACUTE;S, M. P., Evaluación del Funcionamiento Hidráulico de Regaderas Marca Nova de Fabricación Extranjera, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Mayo 1989.

GARC&IACUTE;A, B. A. y CORT&EACUTE;S, M. P., Evaluación del Funcionamiento Hidráulico de una Llave para Lavabo Automática Marca Watermatic, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Mayo 1989.

GARC&IACUTE;A, B. A. y CORT&EACUTE;S, M. P., Evaluación del Funcionamiento Hidráulico de Excusados de Bajo Consumo de Fabricación Extranjera, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Mayo de 1989.

GARC&IACUTE;A, B. A. y CORT&EACUTE;S, M. P., Evaluación del Funcionamiento Hidráulico de Excusados Lamosa Sahara de Fabricación Nacional, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Julio de 1989.

GARC&IACUTE;A, B. A. y CORT&EACUTE;S, M. P., **Informe Final del Proyecto UE-9003**, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Diciembre 1989.

GARC&IACUTE;A, B. A. y CORT&EACUTE;S, M. P., Evaluación del Funcionamiento Hidráulico de Tres Excusados Saver 1.6 Gpf. de Fabricación Chilena, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Enero de 1990.

GARC&IACUTE;A, B. A. y CORT&EACUTE;S, M. P., Evaluación del Funcionamiento de Dos Lavadoras de Ropa, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Mayo de 1990.

GARC&IACUTE;A, B. A. y CORT&EACUTE;S, M. P., Evaluación del Funcionamiento de Retenedores para Excusados de Alto Consumo de Fabricación Nacional, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Julio de 1990.

GARC&IACUTE;A, B. A. y CORT&EACUTE;S, M. P., Evaluación del Funcionamiento de Hidráulico del Supersifón, Marca Supersifón en Excusados de Alto Consumo de Fabricación Nacional, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Marzo de 1991.

GARC&IACUTE;A, O. J., Aprovechamiento de las Aguas Residuales en la Empresa Rivetex, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Junio de 1991.

GORDON, L. D., Water Conservation for Oahu, **Proceedings of the Conserv 90**, August 12-16, 1990, Phoenix, Arizona, Estados Unidos.

GRISHAM, A. y FLEMMING, W., Long Term Options for Municipal Water Conservation, **Journal of the American Water Works Association**, Estados Unidos, Marzo de 1989.

IMTA, **Manual para la Organización de la Macromedición**, serie Didáctica 8, Noviembre de 1989, Cuernavaca, Morelos, México.

JACOBY, B., Xeriscape Ordinaces for New Development, **Proceedings of the Conserv 90**, Phoenix Arizona, Estados Unidos, Agosto 12-16, 1990.

NERO, W. y SORENSEN, L., Residential Xeriscape, A Working Demonstration, **Proceedings of the Conserv 90**, Phoenix Arizona, Estados Unidos, Agosto 12-16, 1990.

OCHOA, L.; CAMACHO, C. A.; ENR&IACUTE;QUEZ, Z. S. y MALDONADO, S. J., **Resumen del Informe Final del Proyecto Detección y Control de Fugas e Impacto de Micromedición en Guaymas, Son.** Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Diciembre de 1990.

OCHOA, L. y ARREGU&IACUTE;N, F., Métodos Para Evaluar Pérdidas de Agua en Redes de Distribución de Agua Potable, **Memorias del Seminario Internacional de Uso Eficiente del Agua**, México, D. F., México, Octubre de 1991.

OCHOA, L.; MALDONADO, S., Funcionamiento de micromedidores instalados en Guaymas, Sonora, **Memorias del Seminarios Internacional sobre Uso Eficiente del Agua**, México, D. F., México, Octubre de 1991.

PLANELLS, V. F.; GONZ&AACUTE;LEZ, A. A. y L&OACUTE;PEZ, V. V.; SANZ, T. F. y García-SERRA, G. J., Diagnóstico de la Gestión Óptima de Contadores en un Sistema de Distribución de Agua, Tecnología del Agua, España, 1987.

ROMERO, G. A. y GONZ&AACUTE;LEZ, M. J., Estudio para la Reutilización de las Aguas Residuales en la Industria Azucarera, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos, México, Diciembre de 1990.

SAAVEDRA, S. J. C., Medición del Agua en las Ciudades Mexicanas. Un esfuerzo Institucional, Memorias del Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua, México, D. F. México, Octubre de 1991.

SAAVEDRA, S. J. C., Tarifas de agua potable y alcantarillado en México. Precio medio y pago medio 1990, **Memorias del Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua**, México, D. F., México, Octubre de 1991.

STEVENS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Study of Reduce Water Closet Volume, **Research Report 91-01**, ASPE Research Foundation, Hoboken, New Jersey, 1991.

VAN DYKE, P. and PETTIT, P., Pennsylvania Comprehensive Drinking Water Facilities Plan: Innovative Policy For Over. 2400 Community Water Systems, **Proceedings of the Conserv 90**, Phoenix Arizona, Estados Unidos, August 12-16, 1990.
