

# REDUCCIÓN INTEGRAL DE PÉRDIDAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Víctor Bourguett Ortiz y Leonel Ochoa Alejo\*

## ANTECEDENTES

**E**stimaciones determinadas por estudios realizados en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, precisan que México necesita invertir, en los próximos 20 años, 146 mil millones de pesos en la rehabilitación, renovación y ampliación de la infraestructura de los dos mil 485 sistemas de agua potable en todo el país, que sirven a comunidades mayores a dos mil 500 habitantes. Aproximadamente 93 mil millones de pesos deben destinarse a líneas de conducción y distribución de agua para mantener la calidad del servicio actual, cuya confiabilidad de suministro es menor a 50 por ciento.

El análisis del deterioro de la infraestructura es un tema poco explorado en el país, debido a que la principal tarea en el siglo pasado fue la expansión de los servicios, lo cual generó severos problemas por pérdidas físicas, comerciales y de cobranza en los sistemas

de distribución. A pesar de iniciarse programas de reducción de agua en los últimos años, los avances son limitados, ya que se está atacando el efecto y no las causas. La ocurrencia de fugas en tomas domiciliarias y tubería es alta, y las pérdidas físicas por este concepto son del orden de 30 por ciento, y las pérdidas comerciales de diez a 12 por ciento.

## PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE

Una forma efectiva de conservar el recurso y ahorrar dinero es mediante la reducción de pérdidas de agua potable a través de la reparación de fugas en conducciones, tanques de almacenamiento, redes de distribución, conexiones domiciliarias, en casas habitación y en el cuadro del medidor.

Existen dos tipos de fugas: las visibles y las no visibles (ilustración 1). Las primeras son aquellas que se presentan en los derrames de tanques, o las que emergen hacia la superficie del terreno, aunque estén localizadas a una distancia considerable del punto donde fueron descubiertas, como en zonas de una gran pen-

\* Investigadores del IMTA

diente. Las segundas se infiltran en el suelo o drenan hacia las tuberías del alcantarillado o canales. El IMTA ha determinado que, en nuestro país, entre 80 y 90 por ciento de las fugas ocurren en las conexiones domiciliarias y se deben, principalmente, a uno o varios de los factores siguientes: mala calidad de los materiales utilizados, problemas de construcción e incumplimiento de la normatividad.

Muchas fugas son pequeñas, pero tienden a crecer con el tiempo. Para efectos de evaluación económica en México, las fugas potenciales tienen períodos de existencia de un año en zonas de la ciudad relativamente nuevas; de dos a cinco en áreas seminuevas, y de diez años en zonas más antiguas. Para realizar estos cálculos se debe tomar en cuenta el agua no contabilizada, que es aquella que se utiliza en algún punto del sistema, y que el organismo operador no puede cuantificar con exactitud por errores de medición, de facturación y de usos no autorizados.

#### PROBLEMAS PARA REDUCIR PÉRDIDAS

Se presentan, principalmente, por el desconocimiento de técnicas aplicables a la solución del problema; a la falta de financiamiento para llevar a cabo los trabajos correspondientes; a la ausencia de programas sistemáticos de reducción de pérdidas de agua; a los errores en la estimación de la existencia real de las pérdidas de agua, y al escaso adiestramiento y capacitación del personal encargado. Es común que los operadores de los sistemas realicen prácticas de localización y reparación de fugas, calibración de medidores, identificación de usos no autorizados, lo cual ha propiciado, bajo circunstan-

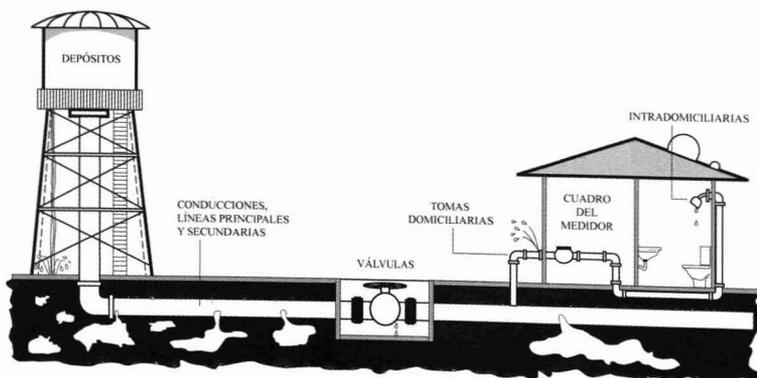


Ilustración 1. Representación gráfica de fugas de agua potable

cias precipitadas, la adquisición de equipos o la realización de actividades que conduzcan a eficiencias reducidas y a altos costos.

La reducción de pérdidas no es inmediata, sino que parte de un proceso que arroja resultados en un determinado lapso; al inicio puede ser fácil recuperar altos porcentajes de pérdidas a un costo relativamente bajo pero, después de un cierto nivel, la relación de costo aumenta considerablemente, debido a que se vuelve más difícil localizar las pérdidas o detectar las fallas en su control; existe siempre un nivel mínimo aceptable que físicamente se puede alcanzar, debido a que la ocurrencia de pérdidas es un proceso dinámico dependiente de parámetros no controlables. Como se observa en la ilustración 2, una recuperación de 50 a 30 por ciento tiene un costo inferior a recuperar de 30 a 20 por ciento, y más allá del valor límite de 15 por ciento, los costos de cada uno por ciento recuperado se incrementan notablemente. Entonces, el reparar o rehabilitar los daños que ocasionan las fugas, o corregir errores contables, puede ser conveniente y rentable hasta cierto nivel de pérdidas, siempre y cuando la relación beneficio costo de la reducción sea mayor que uno. En México, indica el IMTA, es aceptable 20 por ciento de fugas y el valor límite se considera de 15 por ciento, respecto al volumen total suministrado.

Como referencia tenemos que el precio de venta del agua en Francia sitúa el valor del rendimiento óptimo de sus redes de distribución en 80 por ciento. Evidentemente no sólo el precio de venta del agua de la red influye en el valor óptimo del rendimiento; también lo hacen, de manera significativa, las características

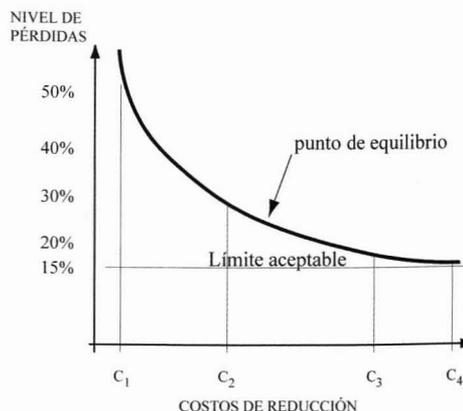


Ilustración 2. Curva de costo contra nivel de reducción de pérdidas

Cuadro 1. Resultados de la evaluación de pérdidas en ciudades de México

Ciudad	Caudal promedio suministrado	Tomas con fuga	Pérdidas por fugas en tomas	Pérdidas por fugas en tuberías	Pérdidas por submedición	Pérdidas totales en el sistema	Presión media de tomas	Profundidad media de fuga en tomas	Caudal unitario
	l/s	%	l/s %	l/s %	l/s %	%	kg/cm <sup>2</sup>	cm	ml/s/unit
Cancún	940	38	114 121	148.7 15.8	2.4 .3	28	0.52	32	20.3
Coatzacoalcos	730	19	262 35.8	36.03 4.9	0 0	40.7	2.02	41	47.9
Chihuahua	3489	5	552 15.8	8.96 25.7	0 0	41.5	1.80	64	90.3
Durango	2128	21	649 30.5	176.4 8.3	0 0	38.8	0.97	72	36.3
Guaymas	488	30	114 23.4	8.6 1.8	5.2 1.1	26.2	1.15	34	29.5
Cd. Juárez	4147	19	1241 29.9	239.7 5.8	0 0	35.7	2.63	60	34.8
Los Cabos	268	34	61 22.6	29.5 11	7.9 3	36.6	1.97	28	29.4
Oaxaca	721	24	445 61.8	8.2 1.1	0 0	62.9	1.98	50	46.5
Querétaro	1783	14	242 13.5	50 2.8	242.7 13.6	30	1.22	58	21.8
Tapachula	743	7	50.3 6.8	106.2 14.3	13.8 1.8	22.9	0.50	50	68.3
Tuxtla Gtz.	1162	24	212 18.3	93.29 8	38.9 3.3	29.7	0.80	35	70.1
Veracruz	2869	16	644 22.4	445.2 15.5	0 0	37.9	0.97	35	46.8
Xalapa	1215	9	465 38.3	7.8 0.6	0 0	38.9	4	32	96.8
Zacatecas	485	14	134 27.7	14.8 3.1	0 0	30.7	2.14	30	29.1
Promedio pesado (por ciento)		16.8	24.5		1.3	36.4	1.59	44	45.6

de la red de distribución. Con lo anterior se demuestra que los sistemas que no tienen un precio del agua que cubra los costos de mantenimiento, rehabilitación y/o renovación de la red, acaban teniendo unos sistemas de distribución de agua ineficientes y completamente obsoletos. En México, el precio medio de venta del agua es bajo, lo cual incide directamente en eficiencias bajas, ya que eventualmente es más costoso reparar y reducir las pérdidas que dejar que se tire el agua. Existen experiencias recientes en ciudades como Querétaro, Querétaro, donde fue factible alcanzar eficiencias físicas del orden de 85 por ciento, con beneficios económicos importantes, debido a que su tarifa se encuentra por arriba de la media nacional.

#### ¿QUÉ ES LA REDUCCIÓN INTEGRAL DE PÉRDIDAS DE AGUA?

Conforme a la metodología desarrollada en el IMTA, la reducción integral es un proceso dinámico en tiempo y espacio que inicia con un diagnóstico, involucra la eliminación y su control, y que, aplicado en forma precisa a la operación y mantenimiento de sistemas de

agua potable, ayuda a conservar el agua suministrada a las ciudades, a mejorar la calidad del servicio proporcionado a la población, a ahorrar dinero en gastos de energía eléctrica y de potabilización, y a aumentar los ingresos por la venta del agua. Una manera de enmarcar las actividades correspondientes a la reducción integral de pérdidas de agua es dividiéndolas en cuatro bloques:

- Diagnóstico. Se evalúan los volúmenes de agua que se pierden y sus principales patrones de ocurrencia, y se identifican las causas que las producen, a través del análisis de estadísticas y muestreos de campo; la utilización de las técnicas de detección de fugas son necesarias para obtener el diagnóstico. Además, se realizan análisis técnico-económicos de la reducción de pérdidas y su factibilidad.
- Sectorización de la red para facilitar la reducción. Se evalúa y optimiza el funcionamiento hidráulico de la red de distribución, integrando en su diseño y operación distritos hidrométricos y sectores.
- Eliminación. Se definen los procedimientos, dise-

ños, equipos y modelos de decisión, para facilitar la búsqueda de pérdidas y subsanar el daño existente. d) Control. Se plantean las acciones, ya sean directas, indirectas o de apoyo, que permitan establecer una estructura adecuada dentro de una empresa de agua, para apoyar y dar sustentabilidad a la reducción de pérdidas de forma ordenada y con actividades objetivas.

La ejecución de la reducción integral de pérdidas debe realizarse bajo una buena supervisión, con el objeto de asegurar que las acciones que se deriven de ella estén bien fundamentadas, con datos reales y con un análisis preciso.

#### DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS, BASE DE LA REDUCCIÓN INTEGRAL

Al realizar un balance de agua en un sistema de distribución, lo que se espera encontrar es una relación del tipo que se muestra a continuación:

$$\text{suministro} = \text{consumo medido de usuarios} + \text{consumo estimado} + \text{pérdidas de agua}$$

Y a su vez, las pérdidas de agua pueden dividirse en:

$$\text{pérdidas de agua} = \{ \text{fugas en tuberías principales y secundarias} + \text{fugas en conexiones domiciliarias} + \text{conexiones no-autorizadas} + \text{errores de submedición domiciliaria} + \text{errores de facturación} \}$$

El diagnóstico implica la descripción técnica, clara y concisa del estado de pérdidas de agua; es decir, de los efectos observados por las pérdidas de agua, en relación con sus volúmenes, porcentajes, reducción potencial y problemas que las originan. Se basa en estudios de muestreo y estadísticos sobre el estado físico que guarda la red de distribución.

El diagnóstico tiene varios niveles de aproximación dependiendo del método utilizado. Así, por un lado, una evaluación por medición, muestreo y encuesta será más confiable que una estimación basada en registros históricos; pero, por otro lado, resultará más costosa la primera. En el mejor de los casos siempre se buscará obtener los resultados más confiables; es decir, se debe tender a la evaluación con medición (ilustración 3).

En la metodología desarrollada en el IMTA se establece el concepto de distritos hidrométricos,  $DH$ , que son sectores que pueden aislarse hidráulicamente de la red de distribución, con movimientos de válvulas y que pueden utilizarse para precisar el diagnóstico, detectar fugas, facilitar la eliminación y optimizar el control de pérdidas de agua de una localidad. En el diagnóstico, los  $DH$  proporcionan información sobre los volúmenes de fugas que se tienen en líneas principales y secundarias, consumos unitarios de usuarios y usos no autorizados. En la detección de fugas, son utilizados para definir sectores con mayor incidencia de pérdidas de agua a través de indicadores nocturnos.

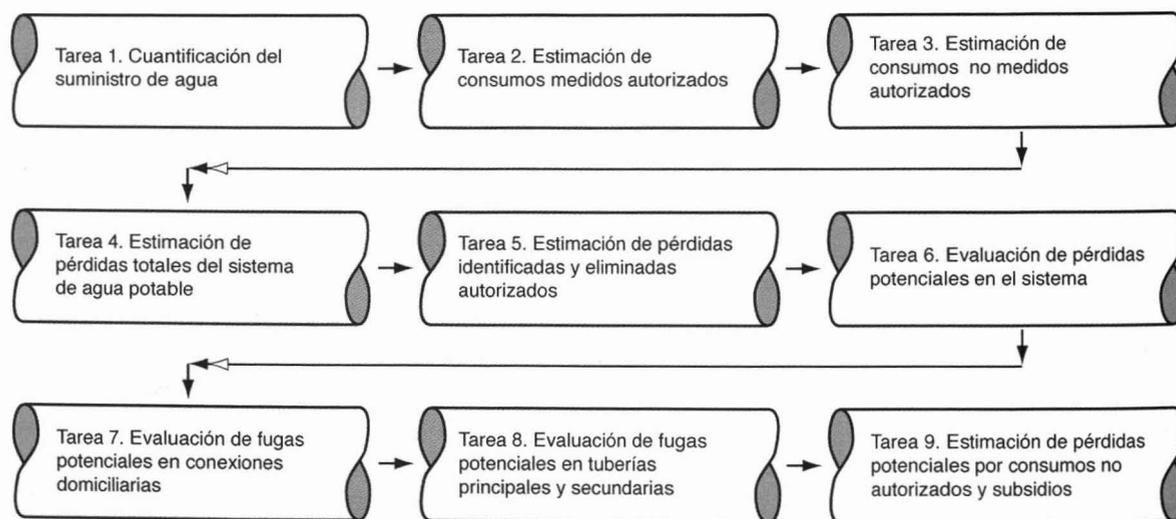


Ilustración 3. Esquema de diagnóstico

Durante la eliminación de pérdidas, evitan que el agua de fugas reparadas en un DH ingrese a otros sectores en donde no se ha llevado a cabo el programa de reducción. Y en el control de pérdidas hacen más eficiente el establecimiento de los subproyectos básicos.

#### ELIMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA

La eliminación de pérdidas de agua se define como cualquier acción que se realiza directamente al sistema de agua potable, con el fin de rescatar agua tanto física como contablemente. Particularmente, se establece en dos sentidos:

- a) Eliminación física: se presentan dos posibilidades: la primera, que consiste en detectar, localizar y reparar fugas que aparecen puntualizadas en las tuberías, accesorios o tomas domiciliarias de la red. La segunda considera la acción de limpiar, reparar o sustituir todo un tramo de una tubería de la red.
- b) Eliminación contable: Se refiere a la corrección de errores de medición, localización de conexiones no autorizadas y ajuste de errores de facturación.

La eliminación es una actividad continua que se debe ejecutar durante toda la vida útil del sistema de agua potable, pero en ocasiones será necesario aplicarla de manera intensa, como parte de una acción de corto plazo, cuando los niveles de pérdidas han alcanzado valores no deseables que están fuera de control.

#### POR QUÉ EL PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS

Todo proyecto de reducción de agua perdida debe incluir elementos que permitan mantener el nivel de agua facturada alcanzado durante la eliminación de pérdidas de agua.

En el programa de control desarrollado por el IMTA se diseñan e implantan estos elementos, mediante una serie de acciones a corto y largo plazos enmarcadas en los subproyectos básicos del cuadro 2. Éstos serán jerarquizados, detallados en actividades específicas, calendarizados con sus costos y financiamientos respectivos, para que conforme se implanten, se reduzca la posibilidad de retornar a niveles más altos de pérdidas de agua.

#### BENEFICIOS DE LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS

La ejecución de un programa integral de reducción de pérdidas de agua potable conduce a la obtención de beneficios tales como:

- a) Reducción de riesgos en la toma de decisiones al comprar equipos o herramientas de detección, localización y reparación de fugas.
- b) Mejoramiento financiero, al programar inversiones y medir los beneficios obtenidos.
- c) Cuantificación de las pérdidas de agua en tomas domiciliarias, tuberías principales, errores de medición, conexiones no autorizadas y fallas en la facturación y determinación del origen de dichas pérdidas. Las formas de estimar los beneficios económicos

**CUADRO 2.**  
Subproyectos básicos del programa de control de pérdidas de agua

Proyectos de operación del servicio	Proyectos de control de usuarios de usuarios	Proyectos de apoyo logístico
Catastro de la red de distribución	Padrón de usuarios	Desarrollo de recursos humanos
Catastro de instalaciones	Micromedición	Control de suministros
Hidrometría	y consumos	Comunicación social
Macromedición		
Control de la operación del sistema		
Estadísticas de fugas		

al ejecutar el proyecto integral de reducción de pérdidas de agua son:

- a) Considerar el valor del agua que se pierde incluyendo el pago de derechos y los costos de energía eléctrica y reactivos químicos.
- b) Incluir, además, reparaciones, mantenimiento, salarios y supervisión de bombeo, tratamiento, conducción y distribución; es decir, los costos de producción.
- c) Dividir los costos de operación del organismo operador entre el volumen del agua producido, que para los efectos de este documento se les llama costos de operación.

La transferencia de esta metodología, hacia los organismos operadores, se ha llevado a cabo con la asesoría y participación directa del IMTA, su difusión a través de publicaciones (libros, manuales, revistas, memorias de congresos, etc.) y la realización de cursos de capacitación en el ámbito nacional e internacional. Como resultado de este esfuerzo se cuenta con una serie de experiencias exitosas en diversas zonas urbanas, entre las que destacan México, D. F.; Chetumal, Quintana Roo; Querétaro, Querétaro; Reynosa, Tamaulipas; Cuernavaca, Morelos; Guadalajara, Jalisco; León, Guanajuato; Manzanillo, Colima, y Morelia, Michoacán. Por ejemplo, en el caso de Reynosa, al aplicar la metodología en el sector Granjas en 1998, que cubre a 40 mil habitantes, se logró la recuperación de cinco mil 184 m<sup>3</sup>/día, lo que representó un beneficio económico de 3.85 millones de pesos al año, como resultado de los ahorros en los procesos de producción y distribución, y de los beneficios adicionales por la venta del agua recuperada.

#### CONCLUSIONES

Mejorar la calidad de los servicios públicos de agua potable en el país debe ser una prioridad para la nación. Los costos de producción de agua son muy importantes y deben ser un compromiso de la sociedad cuidar el recurso agua y los recursos invertidos en su producción. Actualmente se desperdician 35 de cada cien litros de agua que se producen, pero además los usuarios sólo pagan 30 de cada cien litros que se consumen. De continuar así, los organismos responsables del servicio no tienen viabilidad a largo plazo; las inversiones que se requieren para mantener y mejorar el

servicio son tan altas que sólo con el compromiso de los responsables y los usuarios podrán vencerse los obstáculos actuales para la mejora de los servicios.

El objetivo fundamental de los trabajos es reducir pérdidas de agua por sectores de la red de distribución, a través de la rehabilitación de tomas domiciliarias y tuberías, así como el ajuste de errores de micromedición o subestimación de consumos con cuota fija, y localización de usos no autorizados. La reducción de pérdidas de agua es una acción que surge de la necesidad de los sistemas de agua potable, para implantar un proceso de modernización en el uso eficiente del agua y control de la operación del sistema hidráulico de agua potable y disminuir el nivel de pérdidas por fugas y agua no contabilizada. Este proceso se ejecuta por sectores, lo cual permite el escalamiento en la reparación de fugas en tuberías, modulando las inversiones en el tiempo, y contando con un balance de agua controlado, puesto que la estimación de volúmenes de pérdidas reducidas se define con mayor exactitud.

Los beneficios tienen un impacto inmediato, dado que se logran ahorros en energía eléctrica y de potabilización inmediatamente después de la inversión. Y mejoran la imagen social, ya que los usuarios reconocen pronto los esfuerzos del organismo operador y ven justo el pago por el servicio de agua. ☉

#### BIBLIOGRAFÍA

- BOURGUETT, V., L. Ochoa y S. Rodríguez y Navarro, "Transferencia de la metodología del programa de control de fugas", Anexo I, *Informe final*, IMTA, diciembre de 1996.
- MAYS, L., "Water distribution system", *American Society of Civil Engineering* (Nueva York), 1989.
- CABRERA, E. y A. Vela, "Mejora del rendimiento y de la fiabilidad en sistemas de distribución de agua", Valencia, España, noviembre de 1994.
- ENRÍQUEZ, S., A. Vázquez y L. Ochoa, *Control de fugas en sistemas de distribución*, CNA, México, 1994.
- OCHOA, L. y V. Bourguett, *Reducción integral de pérdidas*, 2ª ed., Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, México, 2002.
- ARRAGUÍN, F. y L. Ochoa, "Evaluation of water losses in distribution networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, septiembre-octubre de 1997.
- Comisión Nacional del Agua, *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento 2000*, CNA, México, 2001.