

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**“METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL AGUA NO
CONTABILIZADA EN UN DISTRITO HIDROMÉTRICO”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER ÉL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
MÓNICA FERNÁNDEZ GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS:
M. en I. VÍCTOR FRANCO

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM, porque me dio la oportunidad de estudiar y formarme, como profesional y como persona, en una de las mejores universidades del mundo.

A mi madre, gracias por su apoyo constante y por su amor que me brindó tranquilidad y estabilidad en todo momento.

A mi padre por vivir la carrera conmigo, por apoyarme en todos los momentos de incertidumbre y alegrarse con cada uno mis los pequeños logros. Su presencia y consejos me dieron seguridad cuando me hizo falta.

A Carla Zenzes por ser mas que una amiga, por sufrir y reír la carrera conmigo, por su paciencia y su cariño que siempre estuvieron presentes.

A mi hermana Alejandra, por creer en mí y siempre decirlo en los momentos más oportunos, por la alegría que aporta a mi vida y el ánimo que me contagia.

A mi hermano Pablo porque siempre tuvo confianza en mi, por permitirme compartir su vida, por su entereza, por ser siempre una fuente de entusiasmo y esperanza.

A mi tío José Luís por estar cerca siempre, aconsejarme, con su experiencia en momentos de indecisión y siempre alentarme para seguir adelante.

Al Ing. Roberto Cagigas por guiar mis inicios en la práctica profesional, por sus enseñanzas y orientación.

A mi familia (Fernández, González y Zenzes) por siempre darme el ejemplo para continuar, brindarme luz en momentos oscuros y fortaleza en momentos de debilidad.

A mis compañeros de la carrera, con los que compartí una de las mejores etapas de mi vida, con los que me desvelé estudiando y divirtiéndonos, con los que viví las prácticas escolares. Les agradezco la compañía, las risas, las bromas y todo lo que vivimos juntos estos años.

A todos mis amigos, gracias por escucharme, por apoyarme en los momentos difíciles y disfrutar conmigo los momentos felices. No lo hubiera logrado sin ustedes.

Agua nuestra.
Agua, hermafrodita,
un solo cuerpo dividido.
Tus mutaciones nos habitan,
nos sorprenden,
nos perturban.

Agua-río,
líquida huella tatuada
sobre la piel del mundo.
Bailarina inquieta,
rebasas todo continente
y tu sonido recorre el mundo
a carcajadas.

Agua-mar inmensidad,
precipicio del tiempo:
tus olores se encajan
en el centro de la tarde;
riegas tus afectos
en signos amorosos y retorcidos.

Agua-lago,
espejo de estrellas:
devuelves a la luna,
cómplice nocturna,
su imagen transformada.
Más tarde, bajo la complacencia
solar,
dibujas la herida silueta del árbol,
el sueño antiguo de su sombra.

Agua-lluvia,
lenguaje de nostalgias:
un fragmento de universo
en cada gota,
una historia de ilusiones en desorden.

Agua-charco,
gajo de infinito,
acampas noble sobre la calle
El piso abre sus piernas
para esconder tus múltiples ensayos,
y en la soledad del concreto
guardas la esperanza de la hoja.

Agua-presa
enorme cuerpo en duermevela:
tu gris soberanía desgaja el paisaje
y viola la ley del desierto.
Eres fiera domada a fuerza de
desvíos.

Agua-mundo,
de tus añejos manantiales
sólo rastros, sólo huellas.
De tu esperanza,
sólo llaves que gotean,
secuelas de tu vientre disecado.

Eres la última conciencia.

Carla Zenses

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL AGUA NO CONTABILIZADA EN UN DISTRITO HIDROMÉTRICO

Introducción

- 1. DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO (CONTEXTO)**
- 2. LA GESTIÓN DEL AGUA EN LOS ORGANISMOS PRESTADORES DEL SERVICIO DE AGUA Y SANEAMIENTO.**
 - 2.1. El organismo operador.
 - 2.2. Padrón de usuarios.
 - 2.3. Tarifas.
- 3. LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Y SU MANEJO.**
 - 3.1. Red de abastecimiento.
 - 3.2. Inventario de la infraestructura hidráulica.
 - 3.3. Medición.
- 4. LA EFICIENCIA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.**
 - 4.1. Consumos autorizados y no autorizados.
 - 4.2. Balance de agua.
 - 4.3. Agua no contabilizada.
 - 4.4. Índices de agua no contabilizada.
- 5. METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO DE UN DISTRITO HIDROMÉTRICO**
 - 5.1. Información
 - 5.2. Desarrollo de la metodología
 - 5.3. Muestreo de precisión de la medición
 - 5.4. Planeación del Diagnóstico en el Distrito Hidrométrico.
- 6. CASO DE APLICACIÓN**
 - 6.1. Información estadística de la medición y cobertura del servicio
 - 6.2. Diseño del programa de acciones a seguir por distrito hidrométrico
- 7. CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las culturas que a través del tiempo han dejado importantes avances en todos los campos, desde la ingeniería hasta las artes, y la política, fueron construidas en las márgenes de ríos o lagos. Esto evidencia la importancia de éstos y de sus características vitales para el florecimiento de las culturas humanas.

Hoy en día, el hecho de que dos países o más compartan el agua, su cantidad y su grado de contaminación, puede determinar el tipo de relaciones entre ellos, y su control puede llegar incluso a generar conflictos graves.

En gran cantidad de referencias geográficas y ambientales se menciona que el 70% de nuestro planeta está cubierto por agua; sin embargo, el 98% es salada, y la tecnología actual para tratarla y usarla para el consumo humano o para riego, está todavía restringida debido a sus altos costos. No obstante, cada vez se vuelve más rentable aplicar esta técnica. Aunado a ello, la mayor parte de ese 2% de agua dulce se localiza en los casquetes polares o en los acuíferos, por lo que sólo queda disponible el 0.014% de este preciado líquido en los lagos y ríos de la superficie terrestre.

Es posible definir el grado de disponibilidad del agua si se le asocia a dos condiciones: espacio y tiempo.

La distribución espacial del agua es desigual, y lo es aún más si se le relaciona con la población. Por ejemplo, la disponibilidad anual de agua por habitante en miles de metros cúbicos, es de 109 para Canadá, 15 para la Unión Soviética, 10 para los Estados Unidos de Norteamérica, 4 para México y 0.16 para Arabia Saudita y Jordania.

Se estima que 3,400 millones de personas cuentan con una dotación de apenas 50 litros por día, y la Organización de las Naciones Unidas reporta que diariamente mueren 40,000 niños en el mundo, muchos de ellos víctimas de enfermedades diarreicas y de otros efectos colaterales ocasionados por la falta de agua; la epidemia de cólera es una muestra de ello.

En el mismo sentido, en la década antepasada hubo un decremento del 7% del área regada en el mundo; las reservas de granos en 1987 eran de 101 días y en 1989 habían disminuido a 54. Sandra Postel (1989), reporta que 61 millones de hectáreas con riego en el mundo tienen problemas de salinidad. México no escapa a esto; sus problemas son similares en la mayoría de los casos. En el territorio mexicano, debido a su geografía y clima destacan dos grandes zonas de disponibilidad de agua; la primera de ellas comprende el Sur y Sureste y la segunda el Norte, Centro y Noroeste del país. La disponibilidad natural en la primera de ellas es 7 veces mayor que en el resto del país. Sin embargo, en la zonas Norte y Centro se asienta el 77% de la población, se genera el 85% del PIB y sólo se tiene el 32% de la disponibilidad natural media. Esta problemática se abordará en este capítulo y se ejemplificará con un ejercicio.

A toda esta situación se debe agregar otro problema: la contaminación del agua. La mayoría de los ríos, lagos y mares se encuentra en un grado de deterioro tal, que urge tomar medidas para su protección. Una atención de carácter integral a este tipo de problemas requiere de la toma de decisiones en diversos órdenes: político, económico, social y técnico.

Por carácter integral se entiende la atención de los problemas con determinada corresponsabilidad entre todos los países. Al interior de ellos es recomendable atender, al menos a nivel de cuenca, y tomando en consideración las interacciones entre éstas, las transferencias de recursos, actividad común a la mayoría de ellas.

Uno de los componentes para atender los problemas citados son los programas de ahorro, conservación o uso eficiente del agua. Los tres tipos de programas tienen diferencias conceptuales. En México se ha optado por el último en su sentido más amplio, es decir, optimizando el uso del agua y de la infraestructura correspondiente, con la participación activa de los usuarios y con un alto sentido de equidad social.

La preocupación por usar mejor el agua no es nueva; de hecho, muchas de las técnicas de riego, como la nivelación parcelaria o la reducción de evaporación con camas de rastrojo, son tan antiguas como la construcción en 1890, en Inglaterra, del primer excusado de bajo consumo, por Thomas Crapper (Corpening, 1990). Algunas de estas acciones fueron aisladas, como en el caso del riego, o se idearon para reducir el problema de la contaminación por las aguas residuales, que era el objetivo del excusado de bajo consumo.

El incremento de la población hará que la disponibilidad natural media de agua por habitante a nivel nacional, en México, disminuya de 4,547 m³/hab/año en el 2003, a 3,822 m³/hab/año para 2025. En algunas de las regiones del país, la disponibilidad natural media de agua alcanzará niveles cercanos, e incluso inferiores, a los 1 000 m³/hab/año.

Otro de los aspectos que moldearán el futuro del país será el crecimiento económico. Si el país creciera a un ritmo de 2% anual, en 22 años el PIB se incrementaría en un 50%, mientras que si el país creciera a un ritmo de 5% anual, el PIB casi se triplicaría. En ambos casos existiría un incremento de la actividad económica y, por lo tanto, de la cantidad de agua utilizada.

Especial cuidado se tendrá que tener con el agua subterránea, ya que de los acuíferos se extraen cerca de 6 km³ de agua al año, que no es renovable y que ocasiona el hundimiento del terreno, lo que implica la excavación de pozos cada vez más profundos para extraer el agua.

Los principales problemas de abastecimiento de agua a 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 ocurre un alto porcentaje de fugas, se utilizan tecnologías derrochadoras de agua, no se reusa este recurso, y los sistemas de medición, facturación y cobranza del mismo son deficientes.

El primer paso en cualquier programa de uso eficiente del agua es su medición, dado que permite inducir la reducción del consumo y hacer más justo el cobro. Su aplicación, desde la etapa de instalación hasta la de mantenimiento, puede resultar onerosa por lo que resulta conveniente que se planee con mucho cuidado.

En muchos casos el uso eficiente del agua no es una opción más, sino la única. Existen técnicas y equipos que permiten usar mejor el agua y la infraestructura y que, sin embargo, no se aplican.

La participación de los usuarios en los programas de uso eficiente del agua es escasa, ya que no existe conciencia del problema real que implica la falta de este recurso y del potencial con el que cuentan para utilizarla mejor.

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

Es necesario apoyar los programas de uso eficiente del agua a nivel de cuenca, con una perfecta definición de la participación de todos los usuarios en su correspondiente ámbito, estableciendo metas y evaluando, en todo momento, los resultados de los programas de uso eficiente que

permitan mejorar la distribución y controlar la demanda de agua potable, esto es, micromidiendo los consumos, macromidiendo la explotación del agua en las fuentes de abastecimiento y estableciendo balances que permitan la evaluación del consumo y de las pérdidas de agua. Sólo de esta manera pueden orientarse todos los subprogramas de uso eficiente en una misma dirección.

A lo largo de los capítulos que conforman este trabajo, se busca profundizar en los temas ya expuestos; se hace igualmente una descripción del sector, de los organismos encargados del manejo del agua potable y de la importancia que tiene la medición para cualquier sistema de agua potable, haciendo un análisis de la problemática que presenta este recurso, de su distribución y de su abastecimiento, especialmente en las grandes ciudades. Asimismo, se propone y desarrolla una metodología para la determinación de las pérdidas físicas y comerciales de agua, por medio de un método numérico que utiliza los datos históricos de medición en un distrito hidrométrico, buscando orientar la toma de decisiones de los organismos operadores.

1 DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

Poco más del 70% del agua de lluvia del país se evapotranspira y regresa a la atmósfera; el resto escurre por los ríos o arroyos o se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. En el diagrama se muestran, de manera simplificada, los componentes del ciclo hidrológico.

Las importaciones hacen referencia al volumen de agua generado en los países con los que México comparte cuencas (Estados Unidos de América, Guatemala y Belice) y que escurre hacia nuestro país. Las exportaciones (ver *Figura 1.1*) se refieren al volumen de agua que México debe entregar a Estados Unidos de Norteamérica, estipulado en el Tratado de Aguas de 1944 entre ambos países.

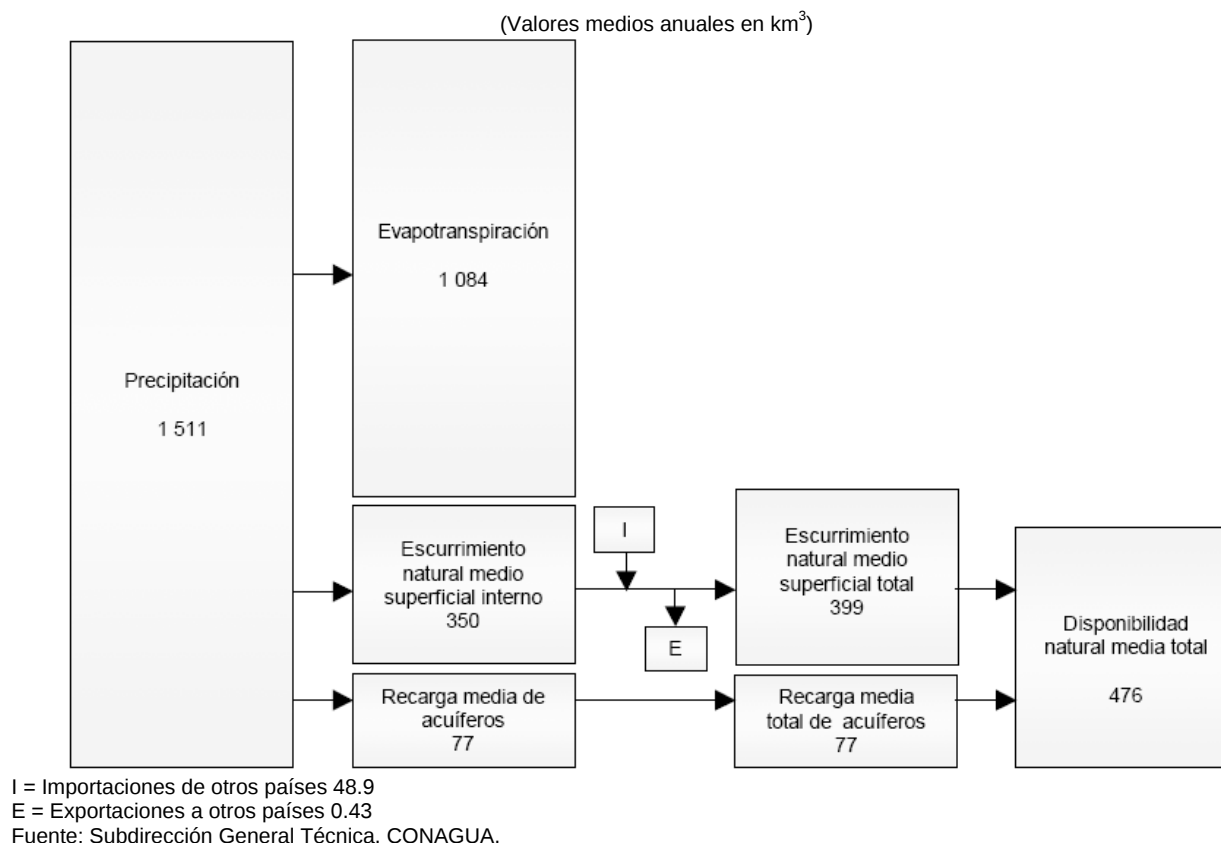


Figura 1.1. Componentes del ciclo hidrológico

En este capítulo interpretaremos los índices de las Regiones hidrológico-administrativas en las que divide al país la Comisión Nacional del Agua

El manejo del agua en México se realiza tomando como base las 13 regiones hidrológico - administrativas en que se dividió al país. Las regiones hidrológicas - administrativas están formadas por la agrupación de regiones hidrológicas, conservando municipios completos. Para el desempeño de sus funciones, la Comisión Nacional del Agua cuenta con una Gerencia Regional en cada una de dichas regiones.

El número, lugar y circunscripción territorial de las Gerencias Regionales de la Comisión Nacional del Agua, fueron publicados el 18 de mayo de 1998 en el Diario Oficial de la Federación y actualizados el 13 de octubre de 2000.

A continuación se muestra la información sobre extensión territorial, población, participación en el Producto Interno Bruto del país por región administrativa y cantidad de municipios (*Tabla 1.1*).

Tabla 1.1. Características de las Regiones Administrativas.

Región Administrativa	Extensión territorial continental ^a (miles de km ²)	Población ^b (diciembre) 2003 (millones)	Densidad de población 2003 (hab/km ²)	PIB ^c (%)	Municipios ^c (número)
I Península de Baja California	145.5	3.31	23	4.1	10
II Noroeste	205.3	2.54	12	2.8	79
III Pacífico Norte	151.9	4.10	27	2.9	51
IV Balsas	119.2	10.65	89	6.7	422
V Pacífico Sur	77.1	4.17	54	2.1	358
VI Río Bravo	379.6	10.36	27	14.6	141
VII Cuencas Centrales del Norte	202.4	3.95	20	3.3	83
VIII Lerma - Santiago - Pacífico	190.4	20.22	106	16.0	327
IX Golfo Norte	127.2	4.99	39	3.7	154
X Golfo Centro	104.6	9.67	92	5.5	443
XI Frontera Sur	101.8	6.41	63	2.9	139
XII Península de Yucatán	137.8	3.55	26	4.2	124
XII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	16.4	20.86	1,272	31.2	115
TOTAL NACIONAL	1,959.2	104.8	53	100.0	2,446

Fuente: Integrado por la Subdirección General de Programación. CONAGUA., con base en INEGI (2), 2000; INEGI (3), 2001; INEGI (5), 2001; y CONAPO (2), 2003.

Notas:

^a Se reporta únicamente la extensión territorial continental. No se cuenta con el desglose de la superficie insular.

^b Proyección de población estimada a diciembre de 2003, con base en proyecciones de CONAPO.

^c Datos estimados con base en el Banco de Información Económica, Sistema de Cuentas Nacionales de México, 2001, INEGI.

^d Incluye las 16 delegaciones políticas del D. F. Información a noviembre 2003.

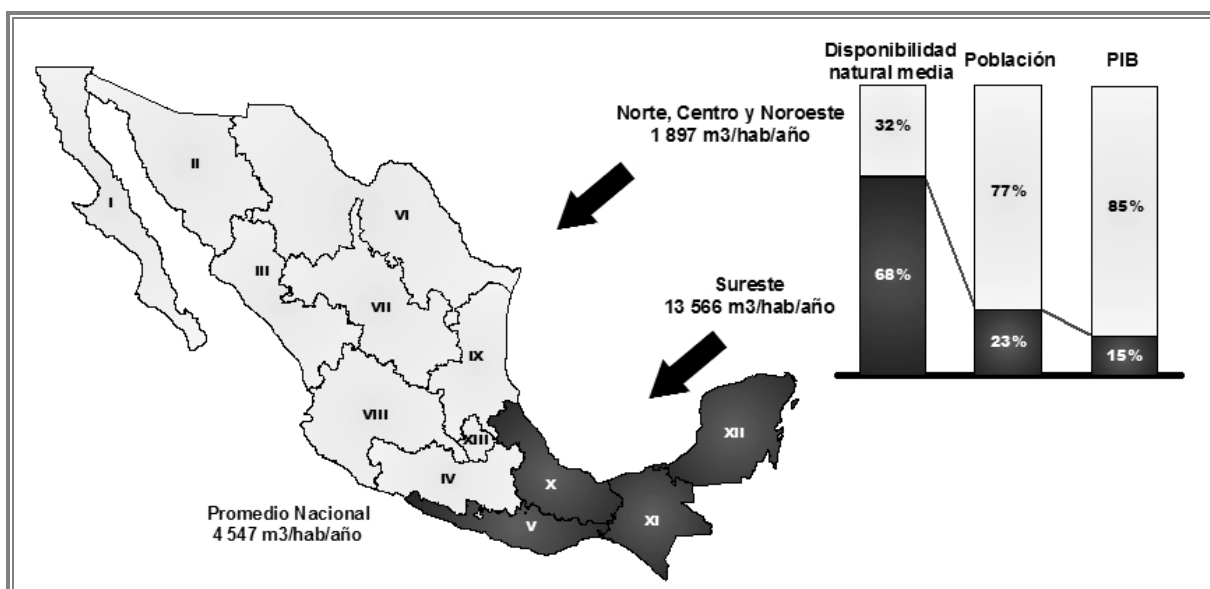
La cantidad de agua disponible varía considerablemente de un país a otro y de una región administrativa a otra; la población que se asienta en cada uno de ellos no necesariamente corresponde con esta disponibilidad. Un indicador ampliamente utilizado en el mundo para detectar posibles problemas de agua es el que se refiere a la disponibilidad natural media *per cápita*. De acuerdo con este indicador, las regiones y países se clasifican de la manera siguiente (*Tabla 1.2*):

Tabla 1.2. Clasificación de la disponibilidad natural media de agua

Disponibilidad natural media <i>per cápita</i> (m ³ /hab/año)	Clasificación
Menor a 1 000	Extremadamente baja
1 001 a 2 000	Muy Baja
2 001 a 5 000	Baja
5 001 a 10 000	Media
10 001 a 20 000	Alta
Más de 20 000	Muy Alta

Fuente: CONAGUA

En México destacan dos grandes zonas de disponibilidad el Sureste y el Norte, y el Centro y Noroeste del país. La disponibilidad natural en la zona Sureste, es 7 veces mayor que en el resto del país. Además, en la zona Norte, Centro y Noroeste se asienta el 77% de la población, se genera el 85% del PIB y sólo se tiene el 32% de la disponibilidad natural media. Esto se puede apreciar de manera clara en el mapa siguiente (*Figura 1.2 y Tabla 1.3*):



Fuente: Integrado por la Subdirección General de Programación. CONAGUA.

Figura 1.2. Contraste de disponibilidad natural media de agua

Tabla 1.3. Disponibilidad natural media de agua por región administrativa

No	Región Administrativa	Disponibilidad natural media Total (hm ³)	Disponibilidad natural media per cápita ^d (m ³ /hab)	Escurrimiento natural medio superficial total ^a (hm ³)	Recarga media total de acuíferos (hm ³)
I	Península de Baja California	4 423	1 336	3 012	1 411
II	Noroeste	8 214	3 236	5 459	2 755
III	Pacífico Norte	24 741	6 035	22 160 ^b	2 581
IV	Balsas	28 909	2 713	24 944	3 965
V	Pacífico Sur	33 177	7 963	31 468	1 709
VI	Río Bravo	13 718	1 324	8 499	5 219
VII	Cuencas Centrales del Norte	6 836	1 729	4 729	2 107
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	39 680	1 962	32 370 ^b	7 310
IX	Golfo Norte	23 347	4 685	22 070	1 277
X	Golfo Centro	102 546	10 604	98 930	3 616
XI	Frontera Sur	157 999	24 674	139 578	18 421
XII	Península de Yucatán	29 063	8 178	3 747 ^b	25 316
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	3 803	182	1 996 ^c	1 807
Total Nacional		476 456	4 547	398 962	77 494

Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. SGT., Gerencia de Aguas Subterráneas. SGT., SGP. CONAGUA; y CONAPO (1), 2003.

Notas:

Las cantidades expresadas en esta tabla son de carácter indicativo y para fines de planeación; no pueden ser utilizadas por sí solas para realizar concesiones de agua o determinar la factibilidad de un proyecto.

^a Incluye importaciones y excluye exportaciones.

^b Datos preliminares. En estas regiones aún no están concluidos los estudios al 100%.

^c Se consideran las aguas residuales de la Ciudad de México.

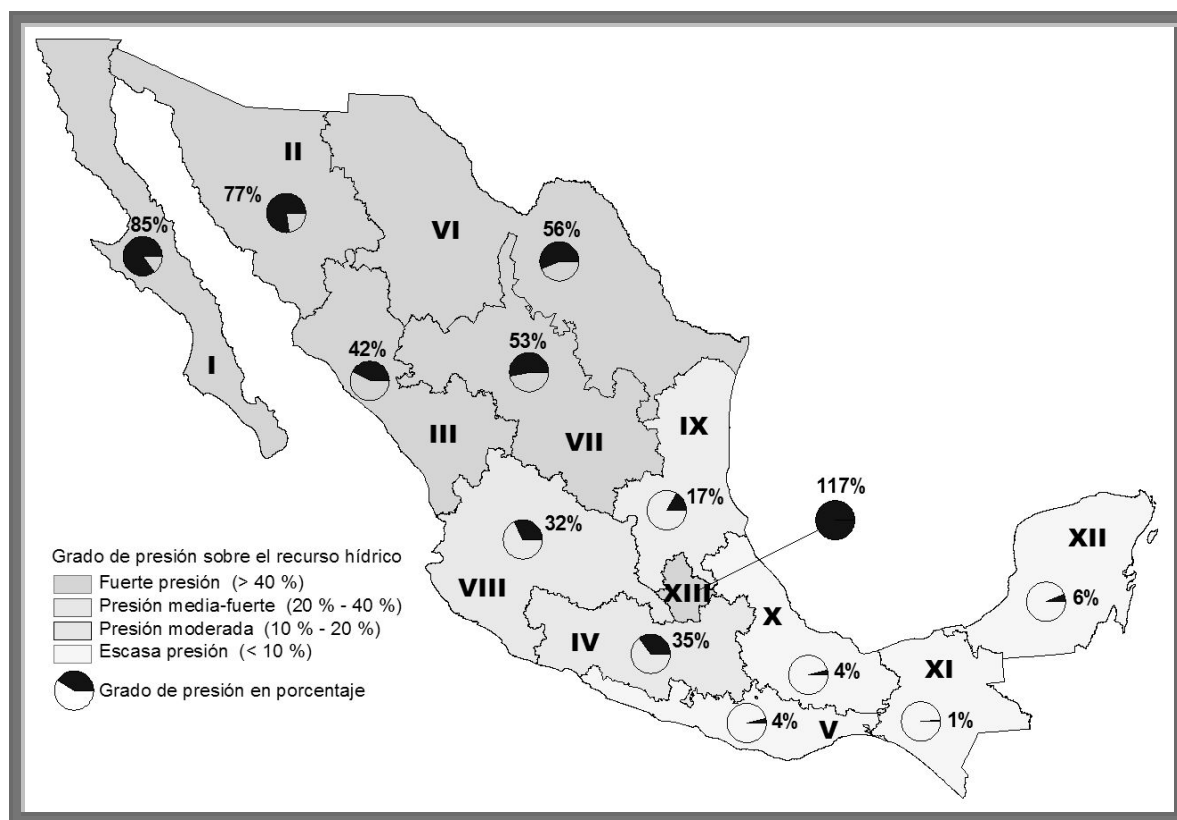
^d Con base en proyecciones de población al año 2003, de CONAPO.

En México se utiliza el 15% del volumen de disponibilidad natural media de agua; sin embargo, en el Norte del país se utiliza más del 40% de la disponibilidad natural media, lo que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) considera como una fuerte presión sobre el recurso hídrico, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Grado de presión sobre el recurso hídrico} = \frac{\text{Volumen total de agua concesionado}}{\text{Disponibilidad natural media de agua}}$$

El volumen total de agua concesionado se refiere al agua utilizada para usos consuntivos, esto es, el volumen de una determinada cantidad de agua que se consume al llevar a cabo una actividad específica, el cual se determina como la diferencia del volumen de una calidad determinada que se extrae, menos el volumen de una calidad también determinada que se descarga.

En el mapa que se muestra enseguida, se señala el grado de presión por cada una de las regiones administrativas, calculado con la expresión anterior en forma de porcentaje *Figura 1.3*:



Fuente: Integrado por la Subdirección General de Programación. CONAGUA.

Figura 1.3. Grado de presión sobre el recurso hídrico

Para fines de administración del agua, el país se ha dividido en 653 unidades hidrogeológicas o acuíferos. Actualmente, 102 acuíferos se encuentran sobreexplotados, es decir, la extracción es mayor a su recarga. Desde 1975 ha aumentado sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados: 32 en 1975, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001, y 102 en el 2003. De los acuíferos sobreexplotados se extrae aproximadamente el 57% del agua subterránea para todos los usos. Debido a la sobreexplotación, la reserva de agua subterránea está disminuyendo a un ritmo de cerca de 6 km³ por año.

A continuación se muestran los datos de los acuíferos por cada región administrativa de CONAGUA. Se considera que un acuífero está sobreexplotado cuando la extracción es superior a la recarga, al menos en un 10% (*Tabla 1.4*).

Tabla 1.4. Número de acuíferos por región administrativa
(Situación al año 2003)

Región administrativa	Total	sobreexplotados	Con intrusión salina	Con salinización de suelos y aguas subterráneas salobres	Extracción (hm ³)	Recarga media (hm ³)
I Península de Baja California	87	8	9	2	1512.2	1411.2
II Noroeste	63	17	5	0	2730.1	2754.7
III Pacífico Norte	24	1	0	0	938.4	2581.5
IV Balsas	42	2	0	0	2242.3	3965.1
V Pacífico Sur	38	0	0	0	237.4	1709.0
VI Río Bravo	96	16	0	3	4123.9	5218.9
VII Cuencas Centrales del Norte	72	23	0	8	2738.5	2106.6
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	126	28	1	0	7537.7	7309.6
IX Golfo Norte	42	3	0	0	1149.1	1277.2
X Golfo Centro	22	0	2	0	592.5	3615.6
XI Frontera Sur	23	0	0	0	458.3	18421.4
XII Península de Yucatán	4	0	0	0	1348.3	25315.7
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	14	4	0	0	1928.4	1807.5
Total	653	102	17	13	27537.0	77494.0

Fuente: Gerencia de Aguas Subterráneas. SGT. CONAGUA.

Otra característica importante por conocer, es la forma en que se hace uso de nuestros recursos hídricos; para ello se distinguen dos tipos de usos del agua:

- ❖ Usos **fuera del cuerpo de agua** o usos consuntivos, en los cuales el agua es transportada a su lugar de uso y la totalidad o parte de ella no regresa al cuerpo de agua, como ocurre en el abastecimiento de grandes ciudades o en industrias embotelladoras de agua.
- ❖ Usos **en el cuerpo de agua** o usos no-consuntivos, en los cuales el agua se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, como es el caso de las plantas hidroeléctricas.

No se sabe con exactitud qué cantidad de agua se utiliza en el país; sin embargo, se cuenta con el Registro Público de Derechos de Agua (REDPA), en el cual se asientan los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales. De los datos se infiere que los usuarios utilizan aproximadamente el mismo volumen que tienen concesionado o asignado y se considera que la gran mayoría de los usuarios ya se encuentran inscritos en el REDPA. En la *Tabla 1.5* se indican los volúmenes que se tienen registrados para los diferentes usos en el REDPA, por región administrativa.

Tabla 1.5. Volúmenes de agua concesionados para usos fuera del cuerpo de agua por región administrativa

(Cifras acumuladas a diciembre de 2002) (hm³ anuales)

Región Administrativa	Volumen total concesionado	Agropecuario ^a	Abastecimiento público ^b	Industria autoabastecida ^c
I Península de Baja California	3,780	3,083	416	281
II Noroeste	6,351	5,446	874	31
III Pacífico Norte	10,386	9,842	480	64
IV Balsas	10,160	6,029	728	3,403
V Pacífico Sur	1,350	1,075	262	13
VI Río Bravo	7,642	6,689	671	282
VII Cuencas Centrales del Norte	3,639	3,174	359	106
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	12,804	10,565	1,895	344
IX Golfo Norte	3,990	3,373	396	221
X Golfo Centro	4,535	2,132	730	1,673
XI Frontera Sur	1,944	1,434	430	80
XII Península de Yucatán	1,601	988	456	157
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	4,461	2,240	1,936	285
Total Nacional	72,643	56,070	9,633	6,940

Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CONAGUA.

Notas:

^a Incluye los usos agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros.

^b Incluye los usos público urbano y doméstico.

^c Incluye los usos industria autoabastecida, agroindustria, servicios, comercio y termoeléctricas.

Para poder entender y hacer uso de las cifras que se han citado a lo largo de este subcapítulo, a continuación se presenta un análisis de las estadísticas de la Región XIII; repitiendo el ejemplo siguiente se puede analizar cualquiera de las otras regiones.

EJEMPLO:

Considerando la Región administrativa XIII que comprende el Valle de México y parte de los estados de Hidalgo, Puebla y Estado de México, ésta presenta las características siguientes:

- a) Disponibilidad natural media total = 3,803 (hm³/año)
- b) Escurrimiento natural medio total = 1,996 (hm³/año)
- c) Recarga media total de acuíferos = 1,807 (hm³/año)
- d) Clima: templado

Con una población de 20.86 millones de habitantes, ocupa 16.4 miles de km². De esta región en particular, se sabe que los escurrimientos superficiales están contaminados con agua residual, por lo que el agua que puede emplearse para consumo humano es la de los acuíferos y la que proviene del sistema Cutzamala.

Los volúmenes concesionados anuales del agua son:

	Volumen total concesionado	Agropecuario	Abastecimiento público	Industria autoabastecida
(hm ³ /año)	4,461	2,240	1,936	285
Porcentaje	100%	50%	43.6%	6.4%

Comparando la disponibilidad con el volumen concesionado, podemos demostrar que hay una clara sobreexplotación:

$$V_{\text{TOTAL}} = 4,461 \text{ (hm}^3\text{)}$$

$$V_{\text{recarga}} = 1,807 \text{ (hm}^3\text{)}$$

La diferencia entre los dos volúmenes, nos da el volumen sobreexplotado:

$$\begin{aligned} V_{\text{sobreexplotado}} &= V_{\text{TOTAL}} - V_{\text{recarga}} \\ V_{\text{sobreexplotado}} &= 2,654 \text{ (hm}^3\text{)} \end{aligned}$$

La disponibilidad natural media *per cápita* se obtiene con el cociente de la disponibilidad natural media total, entre la población de la región:

$$\text{Disponibilidad natural media per cápita} = \frac{\text{Disponibilidad natural media total [hm}^3\text{/año]}}{\text{Población [millones de hab]}}$$

$$\text{Disponibilidad natural media per cápita} = 182 \text{ (m}^3\text{/hab/año)}$$

Según la ONU, siguiendo la tabla de clasificación por disponibilidad, mostrada anteriormente, esta región tiene una disponibilidad **extremadamente baja**.

Podemos igualar la disponibilidad natural media *per cápita* a una dotación máxima en la región (lt/hab/día), transformando sus unidades de la manera siguiente:

- ✓ Para pasar de m³ a litros, se multiplica por 1000 [lt/m³]
- ✓ Para pasar de años a días, se divide entre 365 [días/año]

$$\text{Dotación máxima} = \frac{182 \times 1000}{365} = 499 \text{ [lt/hab/día]}$$

Las Normas de Proyecto para obras de Aprovechamiento de Agua Potable en Localidades Urbanas de la República Mexicana. Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado, SRH, 1974, proponen la siguiente tabla de dotaciones mínimas aceptables en una región, en función de su población y clima (*Tabla 1.6*):

Tabla 1.6. Dotación de agua potable
(lt/hab/día)

Número de habitantes	Cálido	Templado	Frío
2 500 a 15 000	150	125	100
15 000 a 30 000	200	150	125
30 000 a 70 000	250	200	175
70 000 a 150 000	300	250	200
Mayor de 150 000	350	300	250

Comparando la dotación obtenida con la *Tabla 1.6*, podemos decir que **¡¡HAY AGUA!!** en abundancia.

Otra forma de conocer la dotación de agua existente en la zona, son las tablas de Cobertura del servicio de agua potable y dotación media de CONAGUA; en este caso, para algunas localidades con población mayor **a 50 mil habitantes**. (*Tabla 1.7*)

Tabla 1.7 Cobertura del servicio de agua potable y dotación media de algunas localidades con población mayor a 50 mil habitantes

Estado	Localidad	Población atendida		Dotación media
		(habitantes)	(%)	(L/hab/día)
AGS	Aguascalientes	648,300	99	350
BCS	La Paz	176,516	98	326
CHIH	Chihuahua	678,624	97	292
	Delicias	101,802	99	459
	Hidalgo del Parral	95,277	92	308
COAH	Ciudad Acuña	133,027	99	418
	Francisco I. Madero	58,831	96	211
	Monclava	266,754	99	390
	Saltillo	597,585	97	221
	San Pedro	10,698	95	237
	Torreón	514,431	98	395
COL	Colima	219,068	98	356
	Manzanillo	125,033	98	431
DF	Ciudad de México	8,268,654	98	336
DGO	Durango	423,759	97	479
	Gómez Palacio	222,096	99	344
	San Felipe	51,558	93	383
GTO	Dolores Hidalgo Cuna de la Independencia Nal.	49,791	95	379
	León de los Aldama	1,073,120	98	204
	Salamanca	140,378	98	255
	San Francisco del Rincón	71,891	98	320
GRO	Acapulco de Juárez	585,998	89	299
	Iguala de la Independencia	92,619	85	226

Fuente: CONAGUA, con base en las localidades proporcionadas por los propios encargados de la prestación del servicio de agua potable, considerando la población total obtenida a través de las proyecciones sugeridas por el CONAPO, a partir del XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

Si se comparan los datos de las *Tablas 1.6 y 1.7*, correspondientes a dotaciones reales y dotaciones teóricas, se hace evidente que, si bien la mayoría de las ciudades mencionadas están por encima de la dotación necesaria, hay algunas que están por debajo de ella.

Sin embargo, hasta aquí se estarían dejando de contemplar muchas otras circunstancias de la zona, como por ejemplo, el que no se ha descontado el agua contaminada; tomando esto en consideración, la dotación disponible sería:

	$V_{\text{disponible anual}} = 1,807$	$(\text{hm}^3/\text{año})$
Disponibilidad natural media per cápita	$= 86.63$	$(\text{m}^3/\text{hab}/\text{año})$
Dotación	$= 237.33$	$[\text{lt}/\text{hab}/\text{día}]$

Si se compara la dotación obtenida, con la tabla de dotación mínima (*Tabla 1.6*), se concluye que **¡¡HABRÍA AGUA LIMITADA!!**, pero aun así, se estaría dentro de rangos aceptables.

Al observar la tabla de concesiones de agua se observa que hay una clara sobreexplotación, pues el agua concesionada al abastecimiento público es mayor que la disponible en los acuíferos. Para poder hacer un análisis del incremento en la dotación, a partir de esta sobreexplotación, se calculará la dotación considerando el volumen concesionado al abastecimiento público.

	$V_{\text{disponible anual}} = 1,936$	$[\text{hm}^3/\text{año}]$
Disponibilidad natural media <i>per cápita</i>	$= 92.81$	$[\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}]$
Dotación	$= 254.27$	$[\text{lt}/\text{hab}/\text{día}]$

Comparando las dotaciones, se percibe que el incremento no es muy amplio **¡¡SE SOBREEXPLOTA PARA PROPORCIONAR SÓLO UN POCO MAS DE AGUA!!**

A pesar de que la dotación calculada hasta este punto ya es limitada, falta por hacer una reducción adicional, pues no se ha tomado en cuenta el agua no contabilizada (fugas, errores y clandestinaje) que existe en las regiones. Atendiendo las estimaciones de agua no contabilizada que reporta la CONAGUA para distintas ciudades (ver *Tabla 4.2*), se obtuvo un porcentaje promedio de la región en estudio:

Valor promedio = 47.4 %

Si se afecta el volumen disponible con este porcentaje, se obtiene el volumen real distribuido en la zona:

$V_{\text{real distribuido anual}} = 1,936 - 0.474 \times (1,936)$
$V_{\text{real distribuido anual}} = 1,936 - 917.18$
$V_{\text{real distribuido anual}} = 1.019 \text{ (hm}^3\text{/año)}$

Considerando el volumen real distribuido, se obtiene una nueva disponibilidad natural media *per cápita* y la dotación en la región:

	$V_{\text{real distribuido anual}} = 1,019$	$(\text{hm}^3/\text{año})$
Disponibilidad natural media <i>per cápita</i>	$= 48.84$	$[\text{m}^3/\text{hab}/\text{año}]$
Dotación	$= 133.81$	$[\text{lt}/\text{hab}/\text{día}]$

Si se compara esta dotación con la tabla de dotación mínima (*Tabla 1.6*), se advierte que la dotación real de la zona está muy por debajo de lo aceptable, a pesar de la sobreexplotación existente. Conclusión **¡¡HAY Poca AGUA!!**

Sin embargo, en su informe sobre esta dotación *per cápita*, la CONAGUA considera que cada habitante tiene igual oportunidad de acceso al agua. Esto no es totalmente cierto en la realidad, ya que la topografía y la geometría de la red de distribución pueden contribuir a una distribución no equitativa del agua. Por tanto, habrá zonas que cuenten con la dotación deseada y otras que se encuentren muy por debajo de ella.

No obstante estas restricciones naturales que limitan la disponibilidad del recurso, sumadas al crecimiento y a la mala distribución de nuestra población a lo largo del territorio nacional, en septiembre del año 2000, en la cumbre de las Naciones Unidas, México adoptó los objetivos ahí establecidos, conocidos como “Objetivos de Desarrollo para el Milenio”; entre ellos destaca el objetivo relativo a garantizar la Sustentabilidad Ambiental, que contempla para el año 2015 la meta de reducir a la mitad el porcentaje de personas que en 1990 no contaban con servicio de agua potable.

De acuerdo con la información proporcionada por las entidades prestadoras de servicios, de los 101.4 millones de personas que en 2004 habitan en viviendas particulares, 90.7 cuentan con el servicio de agua potable y 78.6 con alcantarillado. Es decir, 10.7 millones no cuentan con servicio de agua potable y 22.8 carecen del servicio de alcantarillado, número de personas equivalente al 10.5% y 22.5% de la población, respectivamente.

Tabla 1.8. Cobertura de Agua Potable

ESTADO	POBLACIÓN TOTAL (hab)	POBLACION VIVIENDAS PARTICULARES (hab)	AGUA POTABLE	
			hab. c/serv	%
AGUASCALIENTES	1,026,859	1,018,798	1,007,397	98.90%
BAJA CALIFORNIA	2,763,634	2,525,405	2,429,818	96.20%
BAJA CALIFORNIA SUR	4 57,509	449,411	4 38,807	97.60%
CAMPECHE	7 43,446	737,044	6 33,812	86.00%
CHIAPAS	4,152,347	3,998,308	3,109,912	77.80%
CHIHUAHUA	3,261,931	3,154,544	3,054,503	96.80%
COAHUILA	2,410,663	2,380,367	2,370,523	99.60%
COLIMA	5 81,509	545,036	5 36,779	98.50%
DISTRITO FEDERAL	8,678,668	8,522,922	8,423,987	98.80%
DURANGO	1,485,939	1,468,854	1,375,081	93.60%
GUANAJUATO	4,906,695	4,867,656	4,584,288	94.20%
GUERRERO	3,212,749	3,173,359	2,269,382	71.50%
HIDALGO	2,338,889	2,322,593	2,024,813	87.20%
JALISCO	6,632,477	6,542,232	6,076,984	92.90%
MÉXICO	14,109,064	13,436,789	12,263,678	91.30%
MICHOACÁN	4,139,595	4,083,204	3,697,424	90.60%
MORELOS	1,669,681	1,605,156	1,452,567	90.50%
NAYARIT	9 53,228	940,389	8 75,107	93.10%
NUEVO LEÓN	4,080,033	4,024,149	3,909,894	97.20%
OAXACA	3,564,218	3,541,502	2,613,438	73.80%
PUEBLA	5,358,446	5,187,556	4,343,774	83.70%
QUERÉTARO	1,523,020	1,505,257	1,447,324	96.20%
QUINTANA ROO	9 99,287	982,519	9 65,711	98.30%
SAN LUIS POTOSÍ	2,400,215	2,381,898	1,877,632	78.80%
SINALOA	2,609,566	2,586,622	2,495,794	96.50%
SONORA	2,351,052	2,318,210	2,261,501	97.60%
TABASCO	2,012,184	1,996,708	1,435,500	71.90%
TAMAULIPAS	2,925,810	2,890,675	2,791,482	96.60%
TLAXCALA	1,031,821	1,022,384	9 73,987	95.30%

ESTADO	POBLACIÓN TOTAL (hab)	POBLACION VIVIENDAS PARTICULARES (hab)	AGUA POTABLE	
			hab. c/serv	%
VERACRUZ	7,091,979	7,039,027	5,018,870	71.30%
YUCATÁN	1,754,694	1,741,160	1,658,704	95.30%
ZACATECAS	1,390,512	1,381,887	1,284,471	93.00%
TOTAL NACIONAL	1 02,617,721	100,371,620	89,702,943	89.40%

Datos de población del XII Censo General de Población y Vivienda INEGI 2000 proyectados con tasas de crecimiento CONAPO

Fuente: CONAGUA

La cobertura promedio nacional del servicio de agua potable es del 89.5%. Cabe destacar que 23 estados superan la cobertura promedio nacional; sobresalen Aguascalientes, Coahuila, Colima y Distrito Federal, con coberturas superiores al 98%. En contraste, nueve estados registran coberturas inferiores al promedio nacional, entre los que destacan Guerrero, Oaxaca, Tabasco y Veracruz, con coberturas inferiores al 75%.

Sin embargo, en la *Tabla 1.9* se pueden observar las desigualdades aún existen en el acceso a los servicios de agua potable entre los diferentes estados de la República Mexicana; existen estados como Oaxaca, Veracruz, Tabasco y varios más, en los que más del 20% de la población no cuenta con acceso directo a los servicios de agua potable. Esto se puede apreciar de manera mas clara en la *Figura 1.4*.



Fuente: CONAGUA

Figura 1.4. Cobertura nacional de agua potable.

Queda claro entonces que el agua es un recurso limitado. En promedio, una persona que tiene acceso al servicio de agua potable, usa la mayor parte del agua sólo para uso doméstico; gran parte de esa agua es desperdiciada. En la *Figura 1.5*, se muestra cómo se distribuye el consumo de agua en los hogares.



Figura 1.5. Usos de agua en los hogares.

Así como en la región que fue objeto del ejercicio anterior, la problemática de la disponibilidad de agua suficiente para satisfacer las necesidades de la población atendida, afecta a un gran número de zonas del país. Se puede entender que dada la escasez del recurso, es de suma importancia el cuidado del líquido distribuido en la red de agua potable de las ciudades; para ello, las instituciones encargadas deben implementar programas que reduzcan la cantidad de agua no contabilizada, conformada por desperdicios y consumos no controlados. Esta situación no debe continuar. La metodología que se muestra en esta tesis está enfocada a detectar el agua no contabilizada (ANC) de una región y determinar en qué medida está conformada por pérdidas físicas a lo largo de la red y qué proporción corresponde a consumos no regulados (consumos clandestinos); de esta manera el organismo operador encargado de los programas para disminuir el ANC, puede contar con un parámetro que le indique cuál de los dos factores es el que debe ser resuelto primero.

El capítulo siguiente ofrece una descripción de la estructura de los organismos operadores de servicios de agua, la forma en que se manejan y los elementos que les permiten tener un control de la población a la que se brinda el servicio de agua potable.

2 LA GESTIÓN DEL AGUA EN LOS ORGANISMOS PRESTADORES DEL SERVICIO DE AGUA Y SANEAMIENTO

2.1 EL ORGANISMO OPERADOR

En el capítulo anterior se hizo énfasis en la problemática de la disponibilidad de agua en los lugares con mayor densidad poblacional, y se observó que dicha problemática se agudiza a medida que la concentración de habitantes en los núcleos urbanos aumenta de manera desordenada. Esto provoca que se creen de forma apresurada instituciones encargadas de los servicios del agua y que éstas deban de generar, en muy poco tiempo, obras que permitan brindar este servicio a la población, así como implementar planes que regulen su distribución y den mantenimiento a las redes de agua potable ya existentes.

Como se aprecia, la existencia de las instituciones encargadas de brindar y regular los servicios de agua es vital para que este recurso sea distribuido de manera adecuada y no se deje a la población sin acceso al mismo; por ello es importante describir su estructura y funcionamiento, lo que permitirá entender el origen de algunos obstáculos que se presentan al tratar de hacer cumplir el objetivo de estos organismos que es, precisamente, hacer llegar el recurso a toda la población en igualdad de oportunidades y condiciones.

2.1.1 Estructura de un organismo operador

En un organismo operador confluyen distintos elementos que, unidos, le permiten cumplir el propósito para el que fue creado; estos son:

- Bases jurídicas
- Recursos humanos
- Recursos materiales
- Equipamientos y Bienes Inmuebles
- Infraestructura
- Recursos financieros
- Información

Todos estos elementos conforman un sistema que permite que cada uno de ellos alcance un objetivo particular. El objetivo del organismo une a su vez estos objetivos particulares y funge como elemento integrador.

En la actividad de un organismo se pueden identificar, en términos generales, distintos sistemas que facilitan el logro de sus objetivos; ellos son:

Sistema de planeación. Está orientado a la toma de decisiones que permiten al organismo definir objetivos, establecer políticas y estrategias, así como formular planes y programas y controlar su ejecución, de tal suerte que cumpla sus metas y se vincule a los cambios de su entorno.

Sistema operacional. Se relaciona con la administración de proyectos, la realización de las obras y la operación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento. También se encarga de la conservación de la infraestructura.

Sistema financiero. Comprende el conjunto de políticas y normas establecidas por el Organismo para la planeación, ejecución, control y evaluación de sus operaciones financieras, así como los procedimientos y métodos utilizados para registrar la gestión financiera e informar sobre sus resultados.

Sistema de apoyo administrativo. Integrado por las políticas, normas y procedimientos que orientan y organizan el desarrollo y desempeño de los recursos humanos y/o materiales del organismo.

Sistema comercial. Es el conjunto de actividades mediante las cuales el organismo operador promueve, contrata y cobra los servicios que presta. También se encarga de mantener y expandir el mercado, todo esto, dentro del marco de la planeación, proyección y control de la demanda, acorde con la disponibilidad real del agua.

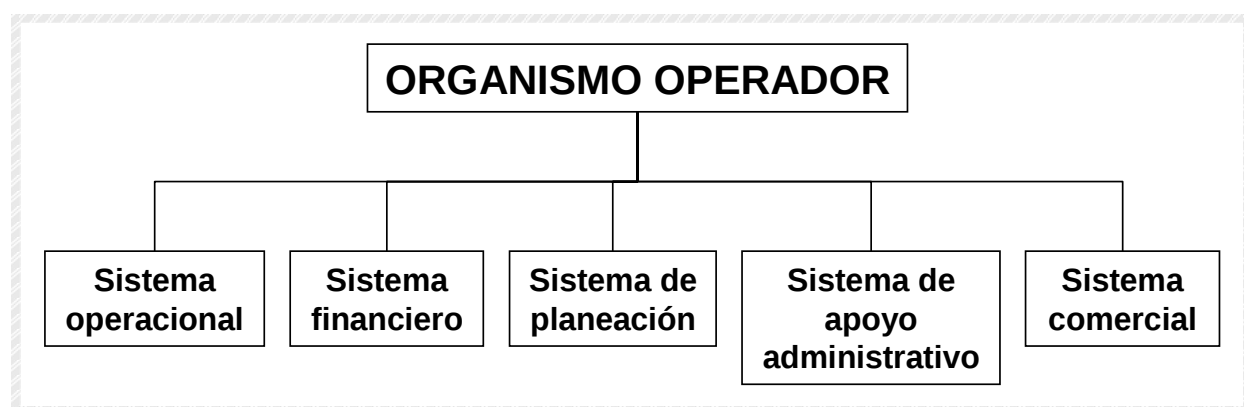


Figura 2.1. Sistemas de un organismo operador

A fin de cumplir con los objetivos de los sistemas organizacionales referidos, se deriva la estructura orgánica siguiente:

- Autoridad ejecutora

También denominada Dirección General, se encarga de dirigir, organizar y conducir los sistemas antes mencionados, obtener recursos, mantener una relación adecuada con otras instituciones, mostrar los logros de los servicios, percibir ingresos del organismo y vincularse con los usuarios. Sus facultades son:

- ✓ Planear, conducir, controlar y evaluar la operación de los organismos.
- ✓ Representar al organismo, así como delegar, otorgar y revocar poderes generales y especiales.
- ✓ Nombrar y remover a los servidores públicos y manejar las relaciones laborales con el personal.
- ✓ Administrar los recursos materiales y financieros. Suscribir créditos.
- ✓ Determinar créditos fiscales por la prestación de los servicios.
- ✓ Notificar y cobrar los servicios a los usuarios, aun por la vía económica - coactiva, en los términos que proceda.
- ✓ Ordenar al personal del organismo la práctica de visitas de inspección a inmuebles, locales y establecimientos de cualquier tipo, para verificar el cumplimiento de las obligaciones legales y administrativas en la materia.

- ✓ Aplicar sanciones por infracciones o violaciones a las disposiciones mencionadas.
- ✓ Someter al Consejo programas, presupuestos, informes de actividades, reglamento interior, manuales y todos los asuntos que deba conocer dicho órgano colegiado.
- ✓ Resolver los recursos administrativos que interpongan los usuarios inconformes con los actos y cobros que realice el Organismo.
- ✓ Autorizar las garantías del interés fiscal que ofrezcan los usuarios y suspender el procedimiento administrativo de ejecución.

Para su funcionamiento adecuado, la dirección general debe contar con un grupo de ejecutivos de apoyo, constituido al menos por las siguientes instancias:

- a) Área jurídica
- b) Área de planeación
- c) Área de control de gestión
- d) Contraloría interna

Este equipo de apoyo tiene bajo su responsabilidad el análisis de la posición del organismo dentro de la comunidad a la que sirve, cubriendo distintos aspectos como es el estudio de las leyes federales, estatales y municipales. También se ocupa de sus respectivos reglamentos, para proponer oportunamente las adecuaciones a la legislación de agua potable y alcantarillado. Se encarga de sustentar, desde el punto de vista legal, las decisiones que marquen la postura del organismo respecto de los problemas específicos relacionados con el sano crecimiento de los servicios que se identifiquen y estudien a corto y mediano plazo, en interacción con las otras instancias de la administración pública y, finalmente, valorar los impactos técnicos, económicos, sociales y ambientales que implica la prestación de los servicios.

- Consejo de Administración

Las necesidades de modernización de la administración de los organismos y las políticas de apertura al sector privado, requieren una mayor transparencia en el manejo de los organismos y una mayor independencia de las autoridades políticas. Para lograrlo, se modifica el concepto de Consejo Directivo, acuñado en 1981, para ser substituido por el de “Consejo de la Administración”, que contemple la participación de los representantes de los usuarios y, en su caso, de los inversionistas privados. En 1993, 44 organismos ya tenían un consejo de administración con estas características.

- Órgano de consulta

Se ha concebido la figura de un Consejo Consultivo en el que participen los usuarios, asociaciones de profesionistas y las instancias de la administración pública, y cuya función sea la de un cuerpo colegiado que emita una opinión sobre proyectos específicos y estrategias de crecimiento de los servicios. Este tipo de consejo consultivo requiere de mayor presencia al interior de los organismos.

- Órgano de planeación y control

A nivel municipal o estatal existe, en muchos casos, un consejo, comité, comisión o alguna otra denominación que agrupa a los funcionarios relacionados con el desarrollo urbano. Esta instancia también incluye representantes de la sociedad civil (colegios y asociaciones) para que, en su seno, se determinen las grandes líneas de crecimiento urbano y las necesidades urgentes y futuras.

- Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado (COPLADE)

Para el caso de los organismos encargados del agua potable, cuyas decisiones relacionadas con las inversiones en obras dependían de las necesidades censadas por el propio organismo y por las decisiones de la autoridad municipal, se creó en 1991, en el marco del COPLADE, un subcomité especial de agua potable y alcantarillado. Éste tiene facultades para proponer los programas de inversión, así como discutir y acordar sobre todos los asuntos relacionados con los servicios para hacerlos seguros y eficientes. En este subcomité participan fundamentalmente las diversas instancias de la administración pública de los distintos niveles de gobierno estatal y municipal, así como los organismos operadores implicados en el servicio (SEDESOL, BANOBRAS y CONAGUA, entre otras).

Programas gubernamentales de desarrollo institucional

Las inversiones de la SEDESOL se hacen a través de los siguientes programas (2005): Hábitat, Desarrollo Local (Micro Regiones), Incentivos Estatales, Iniciativa Ciudadana 3X1, Empleo Temporal, 3X1 para Migrantes y Jornaleros Agrícolas.

Entre los programas que maneja la CONAGUA para fomentar la ampliación de la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, destaca el programa para la modernización de organismos operadores de agua (Promagua). Su objetivo es funcionar como fuente adicional de recursos, condicionado a un esquema de cambio estructural para fomentar la consolidación de los organismos operadores de agua; impulsar su eficiencia física y comercial; facilitar el acceso a tecnologías de punta; fomentar la autosuficiencia y promover el cuidado del medio ambiente con proyectos de saneamiento, preferentemente ligados al reúso de las aguas residuales, con la participación del sector privado. Está dirigido a apoyar esencialmente a los organismos operadores de agua que atienden localidades de más de 50,000 habitantes. Para acceder al Programa, el gobierno estatal suscribe un convenio con la federación y las localidades interesadas firman un anexo de adhesión. Con ello se procede a realizar el Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral (DIP) que permite conocer la eficiencia de los organismos operadores, las coberturas y los requerimientos de inversión.

El control y la evaluación del organismo son responsabilidad de las contralorías de los estados y municipios que actúan como comisarios en el Consejo Directivo, y que tienen la estructura siguiente:

- Presidente municipal o representante
- Síndico
- Regidor
- Representante de la comisión o junta estatal de agua y saneamiento
- Representante de industriales
- Representante de comerciantes
- Representante de usuarios domésticos
- Áreas de apoyo

Prestación de los Servicios

Para la prestación directa de los servicios se cuenta o debe contarse, en términos generales, con las áreas siguientes:

- a) Técnica u operativa
- b) Administrativa
- c) Comercial
- d) Promoción social
- e) Construcción de obras

En muchos organismos se incluyen las áreas de Recursos Humanos, Contabilidad y Finanzas, y Recursos Materiales, dentro del área Administrativa.

Aunque este esquema puede ser aplicado, debe hacerse la observación de que las funciones financieras son diferentes de las funciones contables; así, el Área Financiera debe ser concebida dentro del Área de Planeación, o bien constituirse un Área Financiera independiente, ya que sus objetivos son distintos a los de un área administrativa.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda que el área *comercial* sea independiente.

Existen dos áreas que deben considerarse como unidades de apoyo a la operación: los departamentos de *informática* y de *mantenimiento*.

2.1.2 Prestación del servicio del organismo operador

Citaremos como ejemplo la Ley de Aguas del estado de Aguascalientes:

ARTÍCULO 19.- Los Municipios podrán prestar los servicios públicos en forma descentralizada, a través de organismos operadores municipales, o convenir con otros municipios la creación de organismos operadores intermunicipales, en los términos de la presente Ley.

Se conoce con el nombre de organismo operador a las entidades de los gobiernos municipales o estatales, centralizados o descentralizados, que tienen la responsabilidad de prestar, dentro de los límites políticos municipales o los autorizados, con la misma oportunidad, calidad y cantidad a la población, a los usuarios comerciales e industriales, así como a las instalaciones públicas, los servicios de:

- Captación
- Potabilización
- Suministro de agua potable
- Recolección de aguas residuales
- Operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales
- Disposición final de efluentes

La misión de un organismo operador no se limita a los aspectos técnicos y operativos del servicio, sino que abarca la promoción de la salud de la comunidad a la que sirve, llegando a convertirse en un pilar del desarrollo social y económico de la misma.

En este contexto, el organismo operador responde al compromiso de administrar, operar, mantener, ampliar y construir los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales domésticas, que cubran las necesidades de la población, con igualdad de oportunidad en el acceso al agua, a la calidad, cantidad y efectividad, así como al cobro de un costo justo y equitativo que permita y garantice su autosuficiencia financiera.

Debido a la importancia del cumplimiento de las actividades antes mencionadas, se destaca que su ejecución representa altos costos, lo que significa una inaplazable disposición de recursos económicos que deben generarse a través de la recaudación de cuotas y la aplicación de tarifas que los usuarios deben pagar como contraprestación.

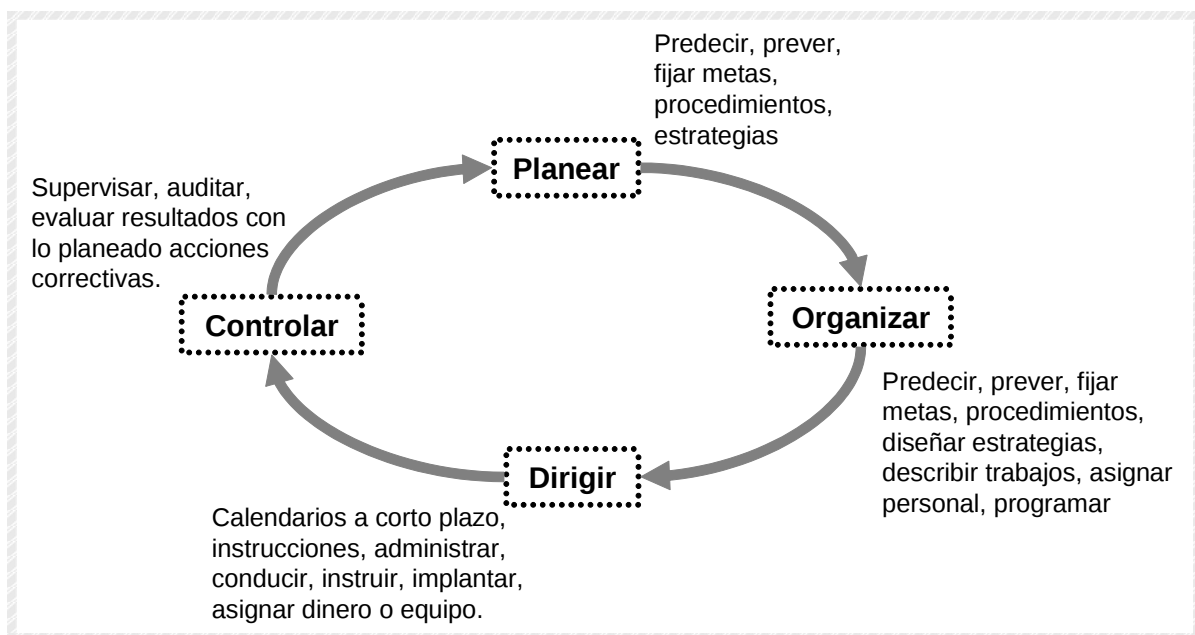
Normalmente, una empresa de agua y saneamiento debe regirse por la atención de *tres objetivos* primordiales, que se convierten en *cuatro* cuando existe poca infraestructura, o hay un acelerado crecimiento demográfico. Estos son:

1. Ofrecer a la población servicios de abastecimiento de agua, de alcantarillado sanitario y/o pluvial y de tratamiento de aguas residuales, con calidad, a un precio razonable.
2. Operar, conservar y administrar las fuentes, instalaciones e infraestructura (física y humana) de manera eficiente. Asegurar su vida útil y condiciones de operación apropiadas, así como renovarlas o mejorarlas cuando sea pertinente. Se incluye aquí la conservación de las fuentes de abastecimiento, sin deteriorar su volumen y calidad, ni dañar el medio ambiente.
3. Garantizar la solidez y continuidad institucional aunada a la permanencia o mejoramiento del conocimiento y el talento técnico. Es decir su *auto-sostenimiento (sostenibilidad o sustentabilidad)* y vigencia como empresa que ofrece un importante servicio a la población, sin necesidad de medidas ficticias como subsidios o préstamos, sino con tarifas justas y suficientes. Se incluyen aquí las negociaciones de tipo legal referentes a tarifas y derechos, y las campañas de conscientización del público.
4. Evaluar necesidades de expansión, planear estrategias, negociar fuentes y construir sistemas en caso de déficit en los servicios básicos de abastecimiento y saneamiento.

Los tres primeros son los que verdaderamente justifican la existencia de un organismo *operador* (administrador), ya que la construcción de obras podría ser realizada por otras instituciones públicas.

Algo que queda implícito en cualquiera de los cuatro objetivos antes mencionados, es “administrar la demanda”. Evidentemente, tal administración obliga a realizar lo pertinente para que la oferta sea apropiada para satisfacer la demanda, combinada con una rentabilidad justa entre egresos e ingresos. Es decir, es fundamental tener un “*estudio de mercado*”, que en otros términos se denomina “*estudio de predicción de demandas*”.

Amalgamada con el “administrar la demanda y la oferta de agua” queda la *gestión de la medición del recurso*. Por “*gestión de la medición*” se quiere dar a entender que no es una actividad aislada sino que, como cualquier programa y proyecto importante, debe coordinarse con muchas otras actividades de la empresa y contar con un responsable (ver *Figura 2.2*).



Fuente: IMTA

Figura 2.2. Ciclo de gerencia de gestión

Evolución histórica de las responsabilidades sociales de las empresas de servicios de agua municipales.

Los organismos operadores cumplen con sus funciones en áreas de prestación directa de los servicios. La mayoría son estructuras legales que iniciaron su operación en el año de 1980, cuando, por decreto presidencial, la Federación transfiere a los estados la responsabilidad de prestar los servicios de agua potable.

Posteriormente, en 1983, con la aplicación del Artículo 115 de la Constitución Política, se precisó como responsabilidad del municipio la prestación de los servicios públicos, en especial los de agua potable y saneamiento. De este hecho se derivó un proceso de aprendizaje relacionado con los aspectos de la administración y la autonomía de los organismos que se encuentran bajo condiciones muy diferentes a lo largo y ancho del país.

Los requerimientos de inversión en obras, sobre todo las de saneamiento y la decisión de hacer que los organismos operadores sean empresas autónomas y autosuficientes, permiten la apertura de la administración pública de los tres niveles de Gobierno a la participación de los grupos sociales y privados en la prestación directa de los servicios. Esta participación contempla algunos aspectos que incluyen:

- a) Participación de representantes de usuarios en los consejos de administración de los organismos.
- b) Participación de empresarios privados en el financiamiento, construcción y operación de infraestructura.
- c) Subcontratación con empresas privadas para la operación y mantenimiento de áreas específicas del servicio.
- d) Concesiones en las que los empresarios privados son responsables de operar y ampliar la cobertura de los servicios, mientras que el Estado realiza las acciones de control y normatividad.

La prestación de los servicios se debe dar en términos de:

- Oportunidad
- Cantidad
- Calidad
- Continuidad
- Confiabilidad

Recuperación del costo por los servicios prestados a la población.

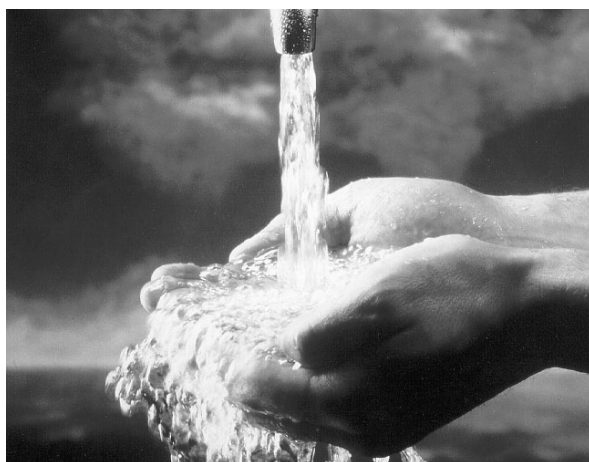


Figura 2.3. Cantidad, calidad, continuidad y confiabilidad del agua.

El organismo y la calidad en la gestión del servicio del agua.

★ Oportunidad y Cantidad

El Organismo debe ser capaz de captar, bombear, conducir, almacenar, potabilizar y distribuir, con la misma oportunidad, los volúmenes de agua al total de usuarios, para atender las demandas de la población.

★ Calidad

El agua entregada a la población debe cumplir con la normatividad vigente.

★ Continuidad

El sistema de abastecimiento de agua debe prestar a la población un servicio continuo, sin interrupciones.

★ Confiabilidad

Las variables que intervienen en el abastecimiento de agua (caudales, presiones y niveles) deben ser conocidas y dominadas por el personal de operación.

La administración de agua potable ha dado a los organismos una posición muy importante en las comunidades, por lo que su buen funcionamiento debe traducirse en:

- Mejorar los niveles de bienestar de la población
- Contribuir al desarrollo económico y social de la comunidad
- Proteger el entorno ecológico
- Preservar el recurso agua (que en general es escaso)
- Participar directamente con las autoridades para proyectar el crecimiento de la región en el mediano y el largo plazo.

Tanto en las comunidades rurales como en las zonas urbanas marginadas, la carencia de agua implica invertir más de un tercio del tiempo de las labores cotidianas para obtenerla. Si el servicio es proporcionado por el organismo operador, los usuarios destinan a actividades productivas el tiempo, que hace sólo algunas décadas, se dedicaba al aprovisionamiento de dicho bien.

Servicios que Presta

La prestación del servicio público de agua potable y alcantarillado en la actualidad se estructura y organiza como un sistema, ya que utiliza insumos y por medio de ciertos procesos, genera productos que son canalizados hacia la comunidad.

El sistema de agua potable y alcantarillado puede pensarse como un conjunto de elementos íntimamente relacionados, que tienen por objetivo ofrecer a una comunidad el agua potable que requiera para satisfacer sus necesidades sociales, productivas e individuales, así como llevar a otro lugar las aguas utilizadas, pluviales y desechos humanos e industriales, para que puedan ser tratadas y, posteriormente, reciban un reúso o sean vertidas en cauces naturales. En todo caso, debe asegurarse de no ocasionar degradación alguna del sistema ecológico y procurar mantener las condiciones generales naturales de la zona o lugar del que se trate. El sistema de agua potable y alcantarillado presta los servicios públicos siguientes:

Agua potable:

- ➔ Captación y conducción de agua
- ➔ Potabilización
- ➔ Almacenamiento, conducción y distribución de agua potable:
 - ➔ Primaria
 - ➔ Secundaria
 - ➔ Tomas domiciliarias

Alcantarillado:

- ➔ Establecimiento de drenaje:
 - ➔ Sanitario
 - ➔ Pluvial
 - ➔ Albañales.

Tratamiento de aguas residuales

- ➔ Almacenamiento de aguas residuales
- ➔ Conducción de aguas residuales.
- ➔ Distribución.
- ➔ Derivación a usuarios.
- ➔ Construcción de la red de alcantarillado:
 - ➔ Red primaria
 - ➔ Red secundaria
 - ➔ Desagüe general

2.1.3 Problemática de los organismos operadores

A pesar de los avances que en los últimos años se han presentado en el Subsector, existen diversos problemas en los organismos operadores que condicionan el logro de niveles de eficiencia acordes las demandas de la comunidad.

2.1.3.1 Capacidad de infraestructura

Cuando el crecimiento de las zonas urbanas rebasa los niveles de planeación maestra de desarrollo urbano, se tiene como consecuencia que la elaboración de proyectos de agua potable y saneamiento sea resultado de una demanda de la comunidad en lugar de ser producto de un

ejercicio de planeación que prevea las condiciones de demanda en el corto y mediano plazos. Por ello, la infraestructura se construye para solucionar problemas puntuales, lo que genera un desfase entre las condiciones originales de los proyectos y las de operación. Ello ocasiona una incapacidad real para prestar un servicio adecuado, debido a la falta de un conocimiento cabal de las condiciones vigentes de la red, dejando de atender cuestiones tales como un incremento en el número de roturas de tubos, lo que traería consigo la disminución de presiones, provocando un cambio en el abastecimiento. Este problema puede llevar, incluso, a hacer necesaria la implementación del tandeo, esto es, la alimentación de la red de agua potable por lapsos, lo que implica el incremento de los costos de operación. Es decir, se tendría, en lugar de una administración estándar, una crisis.

2.1.3.2 Escasez de agua

En México, el crecimiento poblacional y económico han ejercido mayor presión sobre las reservas de agua, a tal punto que el volumen demandado es mayor que el suministrado en algunas regiones del país, lo que ocasiona problemas de distribución. La competencia por este recurso es ya causa de conflictos de diferente intensidad y escala, que se presentan no sólo entre usuarios de la misma comunidad, sino entre distintas comunidades, municipios, estados e incluso en el ámbito transfronterizo.

Según el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de enero de 1994:

Capítulo IV.- Organización y Participación de los Usuarios

Artículo 18. Los usuarios podrán explotar, usar o aprovechar el agua, directamente o a través de la forma de organización que mejor les convenga, para lo cual se podrán constituir en alguna de las personas morales reconocidas en la legislación vigente.

Artículo 19. "La Comisión" promoverá y apoyará la organización de los usuarios del agua para que coadyuven y participen en la explotación, uso o aprovechamiento racional de las aguas nacionales y en la preservación de su cantidad y calidad, en los términos de la "Ley" y de este "Reglamento".

Para efectos del párrafo anterior, "La Comisión" podrá acreditar aquellas organizaciones de usuarios del agua que se hubieran constituido al amparo de otras leyes.

Por ejemplo, en el norte del país se ubican las zonas desérticas en las que el abastecimiento de agua es el principal reto. En la zona central, el abatimiento y contaminación de los acuíferos es una realidad; en las costas, la intrusión salina ha disminuido el espesor de la "Cuña" de agua dulce, obligando a traer el agua desde puntos más distantes a partir de la línea de costa. El Sur y Sureste del país constituye otro caso igualmente importante, ya que las captaciones son superficiales y la abundancia de lluvias hace que los ríos aumenten sustancialmente su turbidez, volviendo insuficientes los procesos de potabilización. Aun habiendo mucha agua, sólo una reducida cantidad es apta para el consumo humano; a ello se suma el crecimiento de la demanda del servicio y el de las ciudades, así como la necesidad de mejorar la calidad de vida.

Dada la problemática anterior, para el organismo operador representa un compromiso ineludible el promover políticas que incentiven el uso eficiente del recurso para dotar del servicio a un mayor número de personas y preservarlo para las generaciones futuras.

El uso más importante de agua es el riego (aproximadamente 85%) y el uso prioritario es el abastecimiento a la población; esta dualidad obliga a todos los involucrados a realizar un trabajo conjunto en el sentido de hacer un mejor uso de este líquido.

Por todo ello, el problema del control del agua y de los consumidores, rebasa ampliamente las fronteras geográficas de las zonas de extracción, por lo que no puede ser objeto de soluciones locales. Principalmente, porque la gran mayoría de las ciudades se abastece de agua proveniente de otras regiones.

Ante esta realidad se hace necesario fortalecer el concepto de los llamados Consejos de Cuenca, instrumentos de coordinación y concertación entre la CONAGUA, las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal, y los representantes de los usuarios de la respectiva cuenca hidrológica. El objetivo de dichos consejos es formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca. Aquéllos pretenden agrupar a los usuarios con la intención de aplicar políticas y estrategias comunes que eviten el abatimiento y contaminación de los acuíferos.

En el *Capítulo 1* se muestra un ejemplo en el que se hace evidente la manera en que se presenta la problemática de escasez de agua en una región de la República Mexicana.

2.1.3.3 Suficiencia y oportunidad de recursos

En décadas anteriores, la disponibilidad de recursos era limitada, debido a que las tarifas y los precios de los servicios prestados no correspondían a los costos de operación y mucho menos a la ampliación de los servicios. Por lo que estos sistemas se mantenían, en buena medida, del subsidio que aportaba el gobierno federal, y los gobiernos estatales y municipales.

Sin embargo, la inercia de muchos años en los que el agua potable fue un servicio público *otorgado* por el gobierno, significó que los aspectos de facturación y cobranza se mantuvieran en un segundo plano, mientras que se dio prioridad al crecimiento de la infraestructura y a la disponibilidad de agua potable. Esta situación provocó que las administraciones de los organismos no asumieran su responsabilidad en forma integral (sólo entregaban agua), y que las dependencias y la subordinación de éstas a las autoridades estatales y municipales, limitara su participación en las acciones de planeación y orientación del desarrollo.

Actualmente, los organismos existen técnica y legalmente como entidades autónomas, pero en muchos casos, continúan siendo un apéndice de la administración estatal o municipal.

Por ello destaca que los organismos no siempre tienen la capacidad para hacer frente a las demandas del mediano y largo plazos. Desde 1990 en que se crea el Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU), se plantea que los recursos fiscales de la Federación y de los estados sean acompañados por una componente crediticia y por un porcentaje de recursos propios del organismo llamado Generación Interna de Caja (GIC).

Respecto de este hecho, es conveniente señalar que el esquema, en estricto apego a términos financieros, resulta ventajoso porque cuando se creó la Comisión Nacional del Agua, e inició el programa APAZU, se intentó eliminar de inmediato el subsidio y en su lugar aplicar la mezcla de recursos, mezcla conformada por un 66% de recursos fiscales. Con esta mezcla, el organismo debía hacer sus proyecciones financieras para amortizar todo el capital y los intereses únicamente de la tercera parte del monto. Esto equivalía a obtener un crédito por el total de la inversión, a una tasa equivalente a la tercera parte de la tasa bancaria, lo que hacía el crédito muy barato respecto de las tasas comerciales que existían y permitía al organismo capitalizarse con la recuperación y reinversión de los recursos fiscales.

Cualquier programa de inversión, sea por la vía del crédito de la banca comercial o de fomento, o por la vía del capital privado, debe tener un elevado nivel de certeza en cuanto a la recuperación de las inversiones. El razonamiento es muy simple: Si la fuente de pago de un crédito no es clara y confiable, entonces no se es sujeto de crédito y mucho menos socio atractivo para el capital privado.

Para lograr mejoras sustanciales en la eficiencia de operación y buscar la capacidad para que el organismo se convierta en sujeto de crédito, son necesarias inversiones importantes y tiempo para corregir redes, disminuir fugas, aumentar presiones y mejorar la medición de caudales y, ciertamente, la administración.

2.1.3.4 Sistemas de información

Al interior de los organismos operadores de agua se sabe muy bien que hay importantes pérdidas físicas de agua, problemas de medición macro y micro, mal uso de la energía eléctrica, instalación de materiales de dudosa calidad, así como costos y gastos elevados; pero pocos saben cuál de estos problemas es más importante y en qué medida influyen en su organismo. Tampoco se sabe en cuál de ellos se deben invertir recursos para obtener beneficios palpables que permitan, a través de un proceso de reinversiones, atender otros requerimientos sin descuidar los avances logrados.

Esta situación es en parte el reflejo de un problema que existe comúnmente: falta de información oportuna y confiable de los indicadores de operación interna del organismo.

A pesar de muchos intentos de sistematizar los procesos informáticos y de manejo de bases de datos, algunos organismos no tienen registros ni posibilidades inmediatas de disponer de datos totalmente confiables, por lo que difícilmente pueden, a partir de ellos, mantener un proyecto de mejoras en la eficiencia, basados en índices de eficacia que permitan un seguimiento día a día y proceso a proceso.

2.1.3.5 Falta de continuidad en la operación de programas

Los programas iniciados para el desarrollo institucional de los organismos son en la mayoría de las veces suspendidos o cancelados por dos tipos de razones fundamentales, ocurriendo generalmente en el cambio de poderes Municipales:

- o La separación de los funcionarios del Organismo por cambio de poderes.
- o Cambio de las Directrices Políticas del nuevo gobernante y, por tanto, cambio en la dirección de las inversiones de los recursos.

Los organismos operadores enfrentan una alta rotación de personal, propiciada tanto por los cambios de las autoridades municipales, como por los bajos salarios inherentes a su propia descapitalización, situación que deteriora su capacidad técnica para contratar, operar y mantener los servicios, y limita la permanencia de personas capaces y con el conocimiento necesario para la prestación del servicio.

Esta alta rotación hace que no exista continuidad en los programas, planes y estrategias previstos para el sistema, debido a que los cambios ocurren en los mandos altos del organismo.

Generalmente, al sustituir a los funcionarios, se presenta un cambio en los trabajos, en los criterios, en los fines y en los intereses, lo que implica un programa o estrategia de funcionamiento diferentes.

Sin embargo, es de esperarse que a través de los consejos de administración, donde la participación de los usuarios se haga más importante, pueda mitigarse este problema, que además de truncar programas, desaprovecha a funcionarios capacitados.

2.1.3.6 Cobranza y rezago en los servicios de agua

La cartera vencida es la porción del total de los clientes (deudores) que reportan atraso en el cumplimiento de sus obligaciones de pago. Dicho de otra manera: la cartera vencida está conformada por los clientes que, por alguna razón, no pagan sus cuotas.

Generalmente, la cartera vencida es "calificada" de acuerdo a la sensibilidad del retraso en el cumplimiento de las obligaciones de pago, desde la menos riesgosa (una o dos parcialidades -generalmente mensualidades- vencidas), pasando por la cartera en litigio (que se encuentra en pleito ante los tribunales para intentar recuperar lo adeudado o ejecutar las garantías), hasta la que se considera prácticamente incobrable (aquella que a pesar de gestiones judiciales, no pudo ser recuperado el adeudo y se la considera un quebranto -pérdida).

El éxito en la implementación de una cultura de cobro dependerá, en gran medida, de la disciplina en el desempeño de los procesos: padrón de usuarios, facturación, servicio medido, atención a usuarios y control de rezagos y de que, a través del sistema comercial, se logre un control total para incrementar la eficiencia comercial.

Para que un organismo proporcione un servicio de calidad depende en gran medida de:
la recuperación del costo por el servicio que se presta a la población.

En la *Tabla 2.1* se observan las diferentes condiciones que afectan el cobro del agua, como son: las tarifas, la legislación, el nivel educativo y el producto interno *per cápita*.

La eficiencia comercial se calcula con el cociente de la facturación y la recaudación, como se muestra en la expresión siguiente:

$$\text{Eficiencia Comercial (\%)} = \frac{\text{Recaudación}}{\text{Facturación}} \times 100$$

Tabla 2.1. Cuadro comparativo de índices de cobranza

Estado	Año de la ley	Suspensión del servicio por falta de pago	Eficiencia Comercial (%)	Ciudad	\$/m ³ en consumo de 30 m ³ /mes	Grado promedio de escolaridad de la población de 15 y mas años	PIB Per Cápita 2004
Baja California	1969	Sí	81.1%	Tijuana	10.02	8.5	18,473
Baja California Sur	1990	Sí	49.9%	La Paz	6.93	9	18,767
Campeche	1992	Sí	46.3%	Campeche	1.00	8.1	23,480
Chihuahua	1998	No	82.7%	Chihuahua	5.36	8.4	21,143
				Juárez	3.09		
Distrito Federal		No	51.7%	Distrito Federal**	2.86	10.1	38,700
Jalisco	2000 ⁽¹⁾	No	82.5%	Guadalajara	4.11	8.2	15,147
Michoacán	1994	No	99.5%	Morelia	1.28	7	8,561

Estado	Año de la ley	Suspensión del servicio por falta de pago	Eficiencia Comercial (%)	Ciudad	\$/m ³ en consumo de 30 m ³ /mes	Grado promedio de escolaridad de la población de 15 y mas años	PIB Per Cápita 2004
Nayarit	1995	Sí	58.0%	Tepic	C.F.	8	8,680
Quintana Roo	1996	Sí	70.5%	Cancún	4.92	8.9	22,492
				Chetumal	4.92		
San Luis Potosí	1996	Sí	53.1%	San Luis Potosí	2.71	7.7	11,405
Sinaloa	1998	No	77.9%	Culiacán	3.51	8.2	11,643
Sonora	1992 ⁽³⁾	Sí	79.3%	Hermosillo	3.81	8.7	17,556
Tamaulipas	1992	No	81.1%	Tampico Madero	2.51	8.7	16,016
				Nuevo Laredo	5.39		
Veracruz	1992	No	80.1%	Xalapa	3.06	7.2	8,647
Yucatán	1982	No	88.8%	Mérida**	2.43	7.5	12,183
Zacatecas	1994	Sí	68.0%	Zacatecas	3.58	7.2	9,489

Fuentes: CONAGUA/UPRPS/Coordinación de Descentralización Gobiernos de los estados. SGIHU/Gerencia de Fortalecimiento Institucional, INEGI, Estudio del IMO, publicado por la cámara de diputados 2003.

Notas:

(1) La nueva ley entrará en vigor el 21 de mayo de 2001

(3) En 1999 se crea por Decreto del Ejecutivo Estatal la Comisión Estatal del Agua

C.F. Cuota fija

** Cobro bimestral

Como se puede observar, no existe una relación directa entre la eficiencia en el cobro y la legislación sobre el agua potable; tampoco depende del precio del agua, como se muestra en el caso de Campeche, que presenta la eficiencia más baja, a pesar de que existe la sanción de suspender el servicio, y el costo del m³ de agua potable es el más bajo.

Si se compara la eficiencia en la cobranza con el nivel de estudios, tampoco se encuentra una explicación de la razón por la que los usuarios no cubren los pagos del agua. Lo mismo ocurre cuando se analiza el PIB *per cápita*, pues en el caso de Morelia, a pesar de tener índices de escolaridad bajos y un PIB *per cápita* de los más bajos, cuenta con la mayor eficiencia en la cobranza de los estados reportados por CONAGUA.

Se puede concluir que el rezago en el pago de los servicios de agua depende más bien de la cultura del agua que se tenga en las regiones, esto es, la forma de entender que es necesario cubrir los pagos, para mantener un servicio con la calidad y con las características ideales (gasto, presión, etc.) en la comodidad del hogar. También se debe resaltar que los fórmulas actuales para el cálculo de los índices, propuestos y aprobados en la ley, para medir la eficiencia comercial de los organismos prestadores del servicio de agua potable, pueden no representar la situación real de las entidades, ya que deberían de incluirse, en la determinación de la eficiencia comercial, conceptos como la diferencia entre el volumen medido y el volumen facturado.

Tabla 2.2. Combinación de acciones de reducción de fugas y aumento en el volumen de facturas cobradas

Si el volumen de las fugas disminuye	Sí el volumen de facturas cobradas	El porcentaje de eficiencia comercial	El porcentaje de eficiencia global
Aumenta el volumen consumido y la eficiencia física	Disminuye	Disminuye	Disminuye
	Se mantiene	Disminuye	Se mantiene
	Aumenta en la misma proporción	Se mantiene	Aumenta
	Aumenta en proporción mayor	Aumenta	Aumenta
	Aumenta en proporción menor	Disminuye	Aumenta
Si el volumen de las fugas se mantiene	Sí el volumen de facturas cobradas	El porcentaje de eficiencia comercial	El porcentaje de eficiencia global
El volumen consumido y la eficiencia física no cambian	Disminuye	Disminuye	Disminuye
	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Si el volumen de las fugas aumenta	Sí el volumen de facturas cobradas	El porcentaje de eficiencia comercial	El porcentaje de eficiencia global
Aumenta el volumen consumido y la eficiencia física	Se mantiene	Aumenta	Se mantiene
	Aumenta	Aumenta	Aumenta
	Disminuye en proporción mayor	Disminuye	Disminuye
	Disminuye en proporción igual	Se mantiene	Disminuye
	Disminuye en proporción menor	Disminuye	Disminuye

Fuente: "Planeación de acciones de incremento y control de la eficiencia en sistemas de agua potable", CONAGUA, IMTA.

Del análisis de esta tabla se puede concluir que en cualquier caso deberán realizarse acciones de incremento de cobranza, aun cuando no se estén llevando a cabo acciones de incremento en la eficiencia física; de lo contrario, la eficiencia global tenderá a reducirse.

2.2 Padrón de usuarios

El "catastro de consumidores" (padrón de usuarios) es esencial para la ejecución de las principales funciones de toda empresa de servicios de agua potable y alcantarillado.

Este padrón sirve para saber quiénes son y dónde están los diferentes clientes que han contratado los servicios de la empresa de aguas; bajo qué circunstancias; cuándo y cuál es su clasificación como usuario del agua (gran consumidor, industria, comercio, servicio turístico, escuela, residencia, vivienda marginal, etc.), así como las tarifas que se les cobran. Asimismo, indica si pertenecen a grupos con derechos o descuentos especiales (personas de la tercera edad, servicios de emergencia), o son acreedores a cargos extras (generan contaminación en sus descargas por grasas, químicos, etc.).

El padrón o censo de usuarios es tan sólo una de las varias "bases de datos" con las que debe interactuar el departamento de lectura de medidores. Por lo mismo, como su manejo

y actualización en oficina requiere de analistas de tiempo completo, y su confiabilidad afecta a otros departamentos, es más conveniente que la responsabilidad de su control directo o exclusivo no recaiga en el área de lecturas.

El aporte de información para mantener al día tal censo debe ser, más bien, una **responsabilidad compartida** entre varios departamentos, principalmente los del área de “contratos”, apoyados en el área de “sistemas”.

Otros ejemplos de intervención son:

- Los lectors pueden aportar maneras de retroalimentar y revisar ese inventario al observar nuevas construcciones o modificaciones, tanto en el destino como en el tamaño de las viviendas ya registradas; o bien, cuando notan que lo descrito en el inventario no coincide con lo que observan en campo.
- El departamento de atención a reportes de fugas de agua puede, en ocasiones, aportar datos al padrón sobre diámetros o materiales de conexiones. Ello puede ser importante para revisar qué tan apropiados son determinados medidores.

2.2.1. Definiciones

Con frecuencia las expresiones utilizadas para referirse a un mismo concepto varían de una región a otra del país; esto puede dar lugar a problemas en la interpretación de los términos que se utilizan. A fin de minimizar este problema, a continuación se presenta una definición de los vocablos más usados.

Subsistema de Padrón de usuarios

Conjunto de actividades de investigación, recolección, registro y procesamiento de datos, destinados a establecer y mantener el catastro de usuarios y dar la información requerida para el control de los usuarios, la facturación de los servicios, la gestión de comercialización y la formulación de los planes del organismo.

Padrón de usuarios (También denominado Catastro de Usuarios)

Catálogo o registro ordenado de los usuarios reales, factibles y potenciales, con sus respectivos elementos de información e identificación.

Usuario

Es todo predio destinado a vivienda, comercio, industria, etc., que utiliza o requiere utilizar los servicios de agua y/o alcantarillado que suministre el organismo.

Predio

Es un terreno con o sin construcción, independiente y delimitado o diferenciado de otros predios, ya sea que esta delimitación sea física (barda, cerca, etc.) o únicamente conceptual (límites y colindancias marcadas en la escritura del predio u otro documento semejante y/o en el catastro municipal).

Suscriptor

Persona física o moral que suscribe un contrato con la empresa para la prestación de servicios a un predio.

Usuario real

Es aquel usuario para el que han sido contratados y se le están brindando los servicios que presta el organismo.

Usuario factible

Es aquel predio que no recibe oficialmente los servicios, pero que es factible proporcionárselos por existir redes de agua y/o drenaje frente a su ubicación.

Usuario potencial

Es aquel predio que no posee los servicios, ni es factible proporcionárselos de inmediato por no existir redes frente a su ubicación.

Usuario activo

Es aquel usuario real a quien se le están prestando y facturando los servicios normalmente.

Usuario inactivo o limitado

Es aquel usuario que tiene suspendido o limitado el servicio de agua temporalmente y no se le remiten facturas en forma regular.

Usuario cancelado

Es aquel usuario a quien se le suprimió el servicio de agua y/o alcantarillado y se le canceló el contrato respectivo.

Usuario clandestino

Es aquel usuario que recibe los servicios sin haber suscrito un contrato o sin tener autorización del organismo, y no paga por los mismos.

Unidad de consumo

Es un albergue (vivienda, edificio, etc.) común a uno o varios hogares, a una colectividad (hospital, cuartel, etc.) a una fábrica, a un comercio, etc. que constituyen un conjunto consumidor o usuario de los servicios de agua potable y alcantarillado.

Unidad de vivienda

Lugar estructuralmente separado e independiente, ocupado o destinado a serlo, por una o varias personas (casa, departamento, cuarto, etc.). Cada vivienda debe tener acceso directo a la calle, a un pasaje o a una escalera que permita entrar y salir, sin pasar por las áreas de uso exclusivo de otras viviendas.

Conexión o toma domiciliaria

Es el medio a través del cual se provee de los servicios de agua potable a un usuario.

Descarga domiciliaria

Es el medio a través del cual se presta el servicio de alcantarillado a un usuario.

Registro

Conjunto de datos referidos a un solo ítem. En el caso del Padrón de usuarios, un registro se refiere a todos los datos correspondientes a un usuario (nombre, domicilio, número de cuentas, etc.).

2.2.2. Objetivo y funciones del padrón de usuarios

Para que el organismo operador pueda cumplir eficazmente sus funciones, es necesario que exista información precisa, oportuna y confiable sobre cada uno de los usuarios y de las unidades de consumo, que permita identificarlos y conocer las características de los inmuebles y de los servicios en todo el ámbito geográfico bajo la responsabilidad del organismo, tanto en las zonas donde ya existe el servicio, como en aquellas que aún no cuentan con este beneficio.

El principal objetivo del padrón de usuarios es el de obtener, procesar, organizar, mantener y difundir información oportuna y confiable de todos los usuarios reales, factibles y potenciales que constituyen el mercado del organismo, así como informar sobre su identificación, características, ubicación de los predios y estado de los servicios. De esta manera, sirve de base para las funciones de facturación, cobranza, comercialización, estudios tarifarios, medición de consumos, etc. La información que brinda alimenta los procesos de medición de consumos, facturación y cobranza, señalando a los usuarios reales; apoya al subsistema de comercialización informándole sobre los usuarios reales, factibles y potenciales; constituye además un apoyo para la planificación global del organismo.

La función general de un padrón de usuarios es el Registro Catastral de información de los usuarios de los servicios de agua potable y alcantarillado a cargo de la empresa.

Asimismo, el padrón de usuarios debe cumplir con las funciones particulares siguientes:

- ⇒ Implantación del padrón de usuarios, organizado y constituido de forma adecuada, para componer una nómina de todos los usuarios reales, factibles y potenciales de los servicios.
- ⇒ Caracterización de cada uno de los usuarios, determinando su identificación, clasificación y categorización, para su posterior incorporación al padrón.
- ⇒ Mantenimiento del padrón con la incorporación oportuna de todas las novedades y modificaciones producidas, a fin de conservarlo constantemente actualizado.
- ⇒ Control del mercado consumidor por medio de censos e investigaciones de predios y servicios domiciliarios, a fin de eliminar fraudes y conexiones clandestinas así como tener conocimiento de los usuarios factibles y potenciales.
- ⇒ Suministro de información sobre los usuarios, para efectos del cobro de los servicios, la comercialización y la formulación de los planes de la empresa.

A fin de obtener datos para la actualización del padrón, deberán establecerse programas de censo permanente e investigación programada para detectar los cambios y variaciones ocurridas en relación a los usuarios, las unidades de consumo o los servicios instalados. Para ello se debe establecer una comunicación permanente con las entidades internas (proyectos y construcción, micromedición, contratos, etc.) y externas (catastro municipal, Comisión Federal de Electricidad, compañías de gas, compañías de teléfonos, compañías fraccionadoras, institutos de vivienda, etc.) a fin de intercambiar datos con respecto al padrón de usuarios.

Tradicionalmente, los organismos operadores forman su padrón de usuarios únicamente con base en los contratos de servicio que celebran con los suscriptores; esto implica que sólo tienen el registro de los usuarios reales y con sus datos incompletos. En estas condiciones, el padrón es útil exclusivamente para indicar a quiénes se debe facturar el servicio.

Normalmente, un padrón de esta naturaleza no refleja la situación real de los usuarios de la localidad, ni en cuanto a su cantidad ni a la actualidad de sus datos, ya que no se registran todos los cambios efectuados, ni se desarrollan acciones específicas de investigación, de una manera rutinaria.

Uno de los objetivos del organismo operador debe ser el dotar de servicios al mayor número posible de usuarios, responsabilidad que también incumbe al sistema comercial. El padrón de usuarios es el punto de arranque y el pilar de este último; por ello, la eficiencia, la eficacia y la calidad del desempeño de la actividad comercial depende en gran medida del padrón, tanto en la veracidad, como en la cantidad de los datos que contenga. En general, excepto cuando el padrón resulta tener muy poca veracidad, la manera mas eficiente de corregirlo es llevando a cabo un muestreo de usuarios o, en su caso, un censo de los mismos.

El padrón de usuarios debe contener información relativa a tres aspectos:

- Datos del usuario.
- Datos de los servicios.
- Datos para tarifas y control.

Es lógico y conveniente que un levantamiento tipo censo sea aprovechado para obtener datos útiles para otros fines, distintos a los del catastro, como la comercialización (incorporación de usuarios factibles, expansión física. de los servicios, etc.), el planeamiento y control de la medición, el mantenimiento de los medidores, el control de la calidad de los servicios prestados, etc.

El proceso de creación del padrón de usuarios

De manera muy general, las actividades para llevar a cabo un censo de pueden dividir en 6 etapas diferentes:

1. Preparación
2. Prueba piloto
3. Campaña de difusión
4. Levantamiento de información
5. Procesamiento de datos
6. Conclusión

En la *Figura 3.1* se muestra un diagrama de las actividades del levantamiento de un censo de padrón de usuarios.

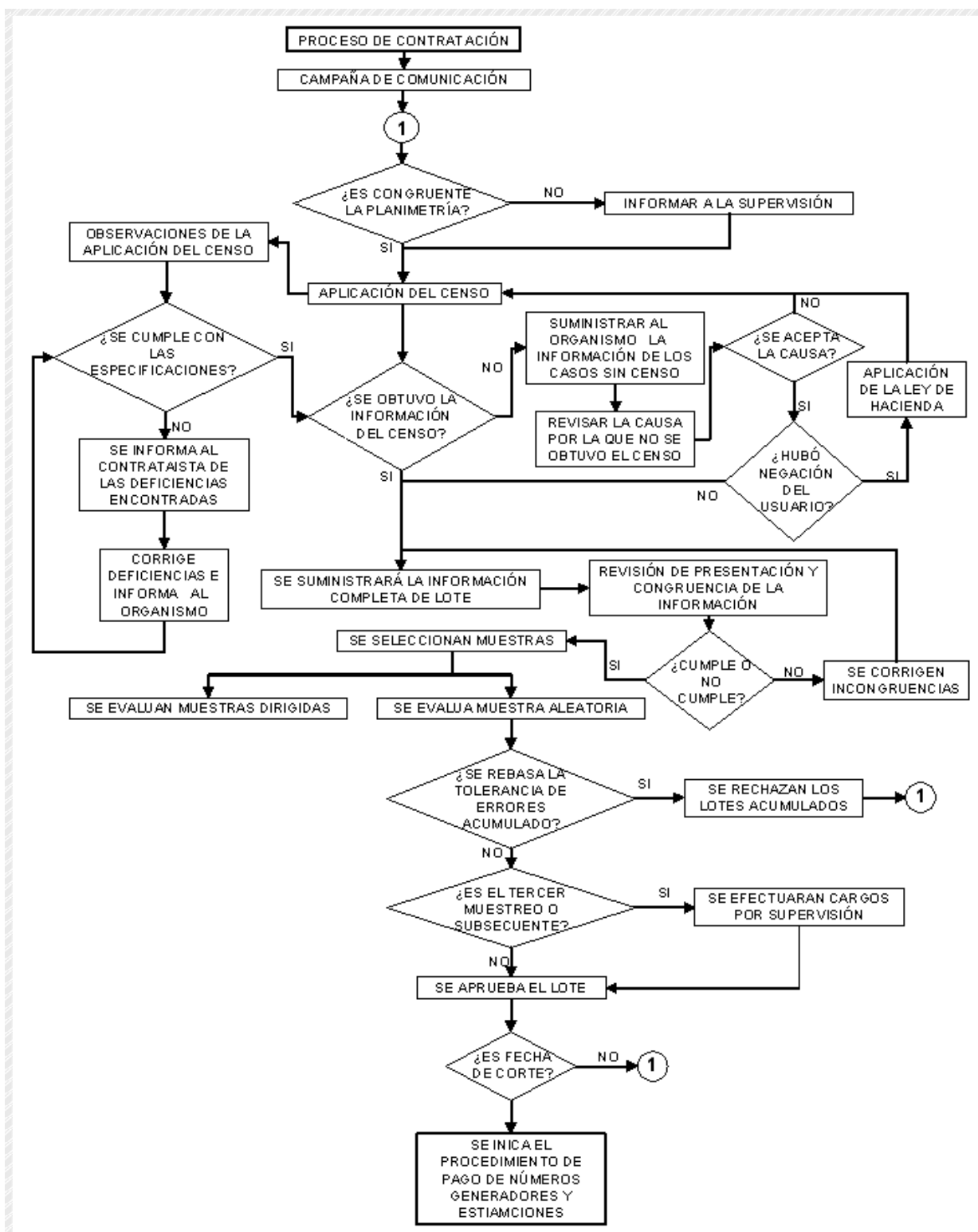


Figura 2.4. Diagrama de flujo de las actividades del levantamiento del padrón de usuarios

2.2.2.1 Implantación del Padrón de Usuarios

La información suministrada por el padrón de usuarios es utilizada en los procesos del sistema comercial del organismo operador, en la planificación global del desarrollo de la empresa y para apoyar la toma de decisiones sobre la actividad comercial.

El padrón alimenta con información sobre los usuarios, los procesos de medición de consumos (lectura de medidores, mantenimiento de los mismos), facturación (usuarios reales, usuarios inactivos, servicios cancelados), y cobranza (identificación de las cuentas de usuarios); de auxilio al subsistema de comercialización sobre los usuarios factibles y potenciales; suministra estadísticas e indicadores sobre los usuarios en relación con la cantidad, clasificación, características, etc., utilizados para la planificación y el control del sistema comercial y de la empresa en general.

La implantación del padrón implica utilizar la información que está a disposición para ser suministrada en todas las actividades que la requieran; en la aplicación de los datos actualizados obtenidos en el censo, a cada uno de los usuarios de nuevos servicios de la empresa y en el mantenimiento de los registros establecidos.

La implantación también consiste en organizar los archivos de planos catastrales para que puedan ser utilizados con facilidad, como complemento del registro catastral en el suministro de información en el control de los usuarios.

Como se aprecia, implantar el padrón de usuarios es establecerlo como fuente de información oficial sobre la existencia, identificación y caracterización de los usuarios.

Para llevar a cabo la implantación del padrón de usuarios, es necesario preparar cuidadosamente un plan de acción, puesto que puede resultar más complicada de lo que parece a simple vista.

2.2.2.2 Políticas del padrón de usuarios

Las políticas que se asientan en relación con el padrón de usuarios, están encaminadas a garantizar el logro cabal de los objetivos de éste, sirviendo como guías de pensamiento y normas a seguir por todos los involucrados en las tareas. A este respecto, las políticas se refieren al establecimiento del padrón, a la caracterización de los usuarios y a la producción de la información necesaria para todos los procesos de la actividad comercial, en forma veraz y oportuna.

Alcance del Padrón de Usuarios

El padrón de usuarios debe contener a todos los usuarios reales, factibles y potenciales que constituyen el mercado de servicios de la empresa. Cuando la empresa cuenta con oficinas locales, debido a que atiende más de una localidad o a que, por el tamaño de la misma, se han descentralizado los servicios, el Padrón de Usuarios estará formado por un registro catastral de todos los usuarios y por registros catastrales de los usuarios que atiende cada una de las oficinas locales establecidas.

Contenido del Registro Catastral

El registro de cada usuario debe contener información suficiente para identificar y caracterizar al usuario y a la unidad de consumo, para describir los servicios instalados y para aplicar las tarifas y controlar el estado de los servicios. En el padrón de usuarios se registra como suscriptor a la persona física o moral propietaria del predio.

2.3 Tarifas

El agua, como elemento indispensable para la vida, tiene un alto valor de uso, razón por la cual resulta difícil fijarle un precio. Esta dificultad se ve reforzada por la falsa creencia que tiene la población de que es un recurso que provee la naturaleza de manera ilimitada.

Abastecer a la población de este recurso limitado implica destinar grandes inversiones para cubrir los gastos de operación de las entidades prestadoras de servicios y a la construcción de la infraestructura hidráulica que permita llevar el agua de lugares cada vez más lejanos a los centros de consumo, por lo que es de vital importancia definir una tarifa para el cobro del servicio.

La mejor forma de garantizar la sustentabilidad del recurso es su correcta valoración económica, por lo que la estructura tarifaria debe reflejar el costo real de llevar el agua desde su fuente hasta el lugar en el que será utilizada.

La tarifa para el cobro del servicio no debe ser tan alta que impida a la población acceder a él, ni demasiado baja porque incentivaría el desperdicio del recurso. Debe reflejar los costos de extracción, conducción, tratamiento y distribución, así como los gastos de mantenimiento, administración y cobranza en que incurren las entidades prestadoras del servicio para llevar el recurso hasta el lugar de consumo del usuario.

Asimismo, los cambios en las estructuras tarifarias deberán estar acompañados de programas de concientización de la población, a fin de que considere el recurso como un bien limitado que requiere de un uso racional.

Los subsidios al agua pueden ser uno de los más fuertes enemigos para el uso eficiente de este insumo. Primero, cuando se cobra una tarifa menor al costo del agua, se manda a los consumidores una señal incorrecta en cuestión de precios; eso hace que los consumidores no aprecien el agua y la desperdicien. Segundo, los precios artificialmente bajos aumentan el tiempo de recuperación de muchos proyectos. Tercero, las tarifas bajas pueden causar que las empresas municipales de servicio de agua tengan recursos limitados para promulgar otras medidas de eficiencia.

Mediante el desarrollo de una estructura de precios que refleje el costo real del agua, se manda a los consumidores la señal correcta acerca del valor de la misma y tendrán más interés en aprovechar las oportunidades para su uso eficiente. La experiencia ha demostrado que el desarrollo e instrumentación de políticas adecuadas de precios exige una consideración cuidadosa, así como la preparación y educación del consumidor. El costo real del uso del agua puede incluir múltiples variables como son los agentes químicos, el bombeo eléctrico, los cargos por demanda en horas pico, el tratamiento previo *in situ* y la mano de obra requerida.

Los precios también deben incluir los costos ambientales y de capital, y estimular el uso eficiente del agua. Al asignar los costos en una estructura tarifaria, deberá considerarse su impacto en la cantidad de agua demandada y en los ingresos provenientes de diferentes tipos de usuarios. Para determinar un precio adecuado, la empresa puede tratar de cerciorarse cuál va a ser la reducción del porcentaje de la demanda por un cierto porcentaje de cambio en el precio. Idealmente, una apropiada estructura de precios ayudará a:

- ◆ Satisfacer las demandas de infraestructura y de sistemas naturales en forma más eficiente
- ◆ Mantener ingresos suficientes y recuperar los costos para la empresa
- ◆ Permitir que los clientes puedan pagar los servicios

- ◆ Proporcionar subsidios vitales enfocados a los más pobres, desarrollados en forma transparente y equitativa.

Por ejemplo, la compañía Ghana Water and Sewerage Corporation inició un programa, a principios de la década de los 90, para convertir los sistemas de agua en servicios administrados por la comunidad. Sin embargo, tuvieron problemas en el cobro de los pagos en las comunidades rurales más pobres. Debido a que la compañía no podía recuperar los costos, no podía sostenerse el enfoque de administración de parte de la comunidad. Una lección importante de este ejemplo es que es esencial la participación de la comunidad desde el principio. Las sugerencias de la comunidad deben considerarse en todas las decisiones que se realicen sobre los sistemas de agua, los sistemas que se pueden pagar, y dónde deberán instalarse. Esto es especialmente cierto en los lugares en donde los usuarios siguen prácticas tradicionales, como las zonas rurales o donde los clientes son pobres.

(Fuente: Revista Watergy)

2.3.1. Estructura tarifaria

(Fuente: Manual de tarifas, IMTA)

Una estructura tarifaria es la manera gráfica, tabular, o mediante alguna fórmula matemática, que permite establecer una correspondencia entre rangos de consumos, tipos de usuarios y precio volumétrico del agua. Un sistema tarifario es un conjunto de diferentes cobros y precios que un organismo debe fijar como retribución por los servicios que presta o compensaciones por daños que pudiera sufrir.

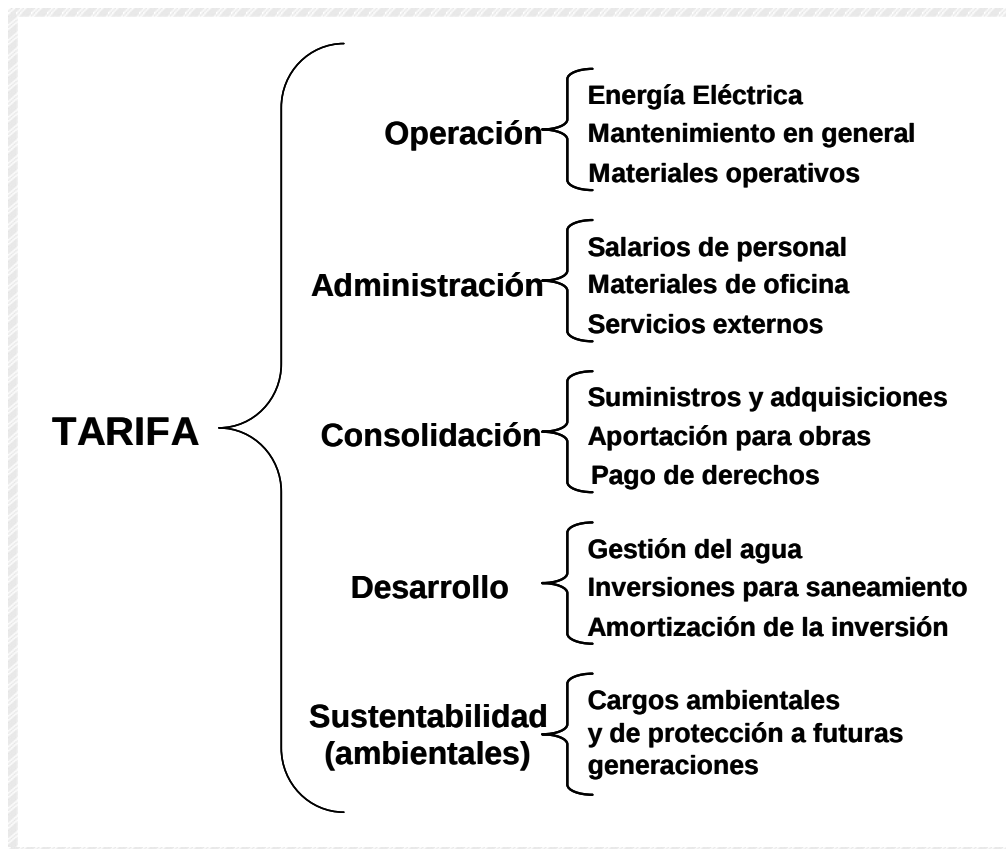
La venta de agua y servicios del organismo tiene varios objetivos; la siguiente es una lista de algunos de ellos:

- Conservación y uso eficiente del recurso agua.
- Evitar consumos innecesarios.
- Administrar la demanda para que el agua alcance para todos, y se distribuya eficientemente con la infraestructura disponible.
- Abatir picos en la demanda.
- Desalentar crecimientos irrestrictos de las industrias o de la población.
- Posponer o eliminar la necesidad de llevar a cabo obras o inversiones.
- Recuperar todos los costos y dar salud financiera al organismo.
- Alcanzar una estabilidad de ingresos.
- Crear fondos para renovaciones, ampliaciones y mejoras a redes y equipos.
- Crear fondos de reserva para enfrentar situaciones de emergencia.
- Captar ingresos suficientes para generar remanentes y dar subsidios a ciertos consumidores.
- Motivar el apoyo y soporte recíproco entre clases de usuarios.
- Ser de fácil comprensión para los usuarios.
- Ser de fácil administración.
- Que las tarifas sigan patrones de diseño relativamente bien aceptado y probado.
- Penalizar a quienes no pagan a tiempo o cometen ilícitos en el uso del agua.

- Dar un trato imparcial, no discriminatorio y justo a los clientes.

Tratándose de los costos y cargos que conviene incluir en la tarifa volumétrica, se deben considerar primordialmente los conceptos que se muestran en la *Figura 2.5*:

(Fuente: *estructuras tarifarias de servicios urbanos de agua y saneamiento. A partir de necesidades en México e internacionales*". Mario O. Buenfil R.1, Andrés A. Buenfil F.2)



Fuente: Diseño de estructuras de tarifas para empresas de agua, Material tecnológico, IMTA.

Figura 2.5. Costos y cargos

El cobro que periódicamente se hace a cada usuario puede estar conformado por dos partes: una “renta base” (a veces llamada cargo fijo o cuota mínima) y un cargo volumétrico. La renta base equivale al derecho de conexión al servicio de agua y al de alcantarillado, independientemente de los consumos y volúmenes que se descarguen, mientras que la parte volumétrica corresponde a cantidades de agua realmente consumidas o descargadas al drenaje.

La estructura tarifaria es la correspondencia que hay entre cada uno de los diferentes tipos de usuarios y rangos de consumo, y el precio que deben pagar al organismo operador por cada unidad de agua consumida en el periodo de referencia. Esto es, cuando el cargo que debe pagar un cliente por su consumo volumétrico se obtiene al multiplicar su consumo del periodo (normalmente uno o dos meses) por el precio unitario asignado al rango correspondiente.

$$\text{Adeudo por volumen} = \text{Vol.} \times \text{precio unitario para ese rango de consumo}$$

Si la tarifa es en dos partes, a lo anterior hay que sumarle la “renta base”.

El hecho de que existan viviendas o tomas de otro tipo, que carecen de medidor de volúmenes de agua que entran al predio, puede tener algunas ventajas y ahorros significativos en costos de operación (no hay gastos en lecturas ni en mantenimiento de medidores y la facturación es más

sencilla). Incluso en esos casos la facturación puede hacerse en periodos más largos (bimestral, trimestral o semestralmente), ya que no es tan importante, ni posible, enviar retroalimentación al usuario sobre sus consumos.

Este tipo de tomas puede convenir en sitios con relativa abundancia de agua; de la misma forma, puede ser apropiado en los casos opuestos, en los que el servicio es tan restringido y tandeado, que los usuarios prácticamente no tiene oportunidad de desperdiciar el recurso. El servicio no medido tiene fuertes desventajas e inconvenientes donde su escasez es creciente y la población goza de relativo buen servicio, la capacidad de pago es regular, hay viviendas con muebles tradicionales de alto consumo y fuertes tendencias de crecimiento.

Lo justo y correcto en cualquier ciudad donde hay zonas sin medidor, es que se apliquen tarifas fijas; esta cuota fija deberá ser diferente, dependiendo del número de personas en la vivienda, del número de instalaciones sanitarias, de las dimensiones de zonas de jardín, etc. Esta situación obliga a tener un padrón de usuarios mucho más detallado y actualizado. También es deseable que el servicio sin medir tenga tarifas relativamente más altas que el equivalente medido, con la intención de que los usuarios prefieran cambiar voluntariamente al servicio medido. Asimismo, se debe evitar que el organismo operador caiga en la situación cómoda o conformista de tener ingresos suficientes, o incluso mejores, mediante las tarifas fijas y que no necesite, y por lo tanto no fomente, el servicio medido. En los capítulos posteriores se explicará la importancia que tiene el conocer con la mayor exactitud posible los volúmenes que entrega el organismo operador a sus usuarios.

El organismo operador, más que de “venta de agua”, debe ser un “organismo prestador de servicio” que promueva la equidad y oriente al usuario a usar racionalmente el líquido y gastar menos dinero. Para alcanzar mayor equidad y justicia al facturar mediante “cuotas fijas”, es importante, tener alguna idea de la cantidad probable de agua que consumen mensualmente las viviendas, comercios o industrias, clasificadas según su tipo. Para ello se pueden realizar ocasionalmente muestreos aleatorios instalando medidores temporalmente, o efectuar correlaciones contra colonias o ciudades que sí posean medidores. Otra opción es aprovechar información de otros servicios con mejor información, como la del servicio eléctrico, y hacer una correlación entre consumo eléctrico mensual y consumo de agua en las viviendas.

2.3.2. Valoración económica

(Fuente: VALORACIÓN ECONÓMICA DEL AGUA, José A. Pérez Roas, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, CIDIAT. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.)

En sus condiciones naturales, el agua tiene un valor económico; dicho valor se compone de valores de uso directo e indirecto, valor de opción y valor intrínseco (valor de existencia y de legado).

El valor de uso directo puede ser consultivo o no. Los valores de uso consultivo corresponden al valor para los usuarios de riego, domésticos, industriales y cualquier otra actividad que consuma agua. Los valores de uso no consultivo corresponden al valor para los usuarios de generación hidroeléctrica, navegación, recreación y cualquier uso directo de las aguas, con la condición de que no se consuma.

El valor de uso indirecto corresponde al valor que la sociedad le da al recurso por la función que éste cumple. Son ejemplos de aquél, el valor que tiene el agua como hábitat de especies vivas, el valor del recurso por su capacidad de depuración o solvente de sustancias que entran en contacto con ella, el valor del agua por su papel en el ciclo de nutrientes necesarios para la vida, entre otros.

El valor de opción del agua corresponde al valor que le da la sociedad al recurso por la opción de poder hacer uso o no del mismo en el futuro. En esta categoría entran, entre otros, los sitios de agua con potencial hidroeléctrico, los sitios de agua con potencial turístico, los sitios de agua con posibilidad de almacenamiento con fines de riego, doméstica, industrial, de control de inundación, etc. Pertenecen a esta categoría también aquellos sitios con potencial cultural, histórico y de belleza escénica, entre otros.

El valor intrínseco del agua corresponde al valor que se le da al recurso por el solo hecho de existir en determinados sitios y por la oportunidad de dejarlo como herencia a las generaciones futuras. En esta categoría se ubica a las bellezas escénicas, y a los sitios culturales e históricos.

El cálculo del valor del agua en un sitio específico puede ser determinado por la suma de los valores arriba mencionados, o bien permitiendo que el cálculo del valor o valores más relevantes lo representen.

Para un uso sustentable del agua se deberá equiparar el costo total y el valor total del agua. Si esto es así, el costo total del agua puede representar una aproximación; ésta seguramente estará por debajo del valor total del agua.

La *Tabla 2.3* contiene una relación entre el valor del agua como bien intermedio, el agua de consumo privado y como proveedora de beneficios públicos.

Tabla 2.3. Relación del valor del agua

Valor	USO Y NO USO DEL AGUA		
	Agua como bien Intermedio.	Agua de consumo privado.	Agua como proveedor de beneficios públicos.
Uso directo	Riego Industrial Hidroelectricidad	Consumo urbano Consumo industrial	Recreación Turismo y amenidades.
Uso indirecto		Receptor de desechos urbanos e industriales.	Hábitat para peces Hábitat para especies salvajes, endémicas y en peligro de extinción.
Opción	Uso futuro para riego, industria, hidroelectricidad.	Uso futuro para consumo privado.	Hábitat para conservación de biodiversidad.
Intrínseco			Sitios culturales Sitios históricos

Fuente: Ponencia "Valoración económica del agua", José A. Pérez Roas

Cobrar por el suministro de agua en las ciudades, es un tópico que afecta y es afectado por muchos factores que van desde aspectos macro-económicos, hasta los de economía familiar; involucra cuestiones de salud, costumbres, justicia social, política, desarrollo organizacional, estándares de servicio, y muchas más. El planear los esquemas de cobranza implica una visión completa de todos ellos.

Es difícil dar explicaciones detalladas de todos esos elementos, especialmente porque son muy numerosos, están interrelacionados y cambian con el tiempo y el lugar. Algunos pueden ser modificados con políticas de la empresa de agua, mientras que otros están fuera de su control; pero de cualquier manera afectan las decisiones y sus resultados. La *Tabla 2.3* es un recordatorio de los grupos de elementos a evaluar al planear un proyecto de micromedición (consumos domésticos). Las evaluaciones deberán cubrir la información siguiente:

- ✓ Explicaciones, ideas, escenarios y necesidades de información.

- ✓ Pertinencia del elemento en las decisiones.
- ✓ Variaciones, casos, ejemplos y bibliografía recomendada.
- ✓ Relación o interacción con otros elementos.
- ✓ Rango de costos e importancia económica y financiera.

3. LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Y SU MANEJO

INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución de agua potable de las ciudades del país han aumentado su longitud y complejidad a través de los años, aunque en un ritmo menor al crecimiento poblacional y a sus necesidades de servicio de suministro. Por ello, se ha vuelto complejo cubrir las necesidades de los usuarios del servicio con una capacidad de respuesta adecuada y un manejo eficiente. Como en otras ciudades del mundo, el desarrollo de una gran red está acompañado de fuertes problemas relacionados con el deterioro de la infraestructura ya existente y con las pérdidas físicas (fugas), ocasionando inequidad en la distribución y, en ocasiones, déficit en el suministro, así como aumentos excesivos en el costo de producción.

De esta forma, es necesaria más agua y diámetros más grandes para su conducción y distribución, lo que dispara las necesidades de inversión y las posterga. No obstante, una revisión de las oportunidades de identificación de pérdidas y de su recuperación seguramente requeriría de una menor inversión, tanto en estos trabajos, como en las inversiones proyectadas para gastos mayores de suministro.

Los problemas antes descritos generan un marco futuro en el que será mucho más complicado encontrar la disponibilidad del recurso y la calidad del servicio necesarios.

En lo grandes sistemas de agua potable existentes en este marco problemático, las pérdidas pueden llegar en algunos casos a valores superiores al 37% del caudal suministrado, y podrían ascender a varias decenas de miles de litros por segundo, pudiendo ocurrir en el conjunto de las tomas domiciliarias y en la totalidad de la red.

Es frecuente encontrar que estos sistemas sean dependientes, en parte o en su totalidad, de la extracción de agua subterránea; esto provoca que los costos de la energía requerida para la extracción y distribución sean altos y lleguen a representar un porcentaje que oscila del 28 al 35% del costo total de la producción de agua. A esto debe agregarse que se está generando una sobreexplotación de los acuíferos que trae consigo daños bien conocidos: hundimiento de grandes zonas, cambio en la humedad de los suelos e incluso agotar los recursos del manto explotado, lo que resulta irracional dado que el destino final del agua en nuestro país es, por lo general, el drenaje sanitario.

Para poder conocer las condiciones en las que se encuentra la red de distribución de agua potable de una ciudad o una zona, es importante tener identificados todos los elementos que la conforman, así como las condiciones en las que se encuentran. Para ello se debe tener una relación actualizada de la infraestructura existente.

Para tener un mejor control de las redes de distribución se han formado, dentro de las mismas, *distritos hidrométricos*. Éstos pueden ser entendidos como *un área delimitada de la red de distribución de agua potable, por medio de válvulas de seccionamiento, en la cual se busca lograr que el total de usuarios contenidos en el área, tenga igual oportunidad de recibir el servicio de agua potable en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades. Para conseguir esto, el sector deberá estar instrumentado con un conjunto de dispositivos que permitan medir las entradas y salidas de agua y controlar la presión en la distribución. La operación del sector permite la administración de la demanda y la definición de programas para la disminución de pérdidas físicas y comerciales del servicio de Agua potable.*

3.1 Red de abastecimiento

El abastecimiento de agua a un poblado se logra mediante el transporte de este importante líquido desde la fuente de abastecimiento, que puede ser superficial o subterránea, hasta un sitio ubicado en el poblado, para su posterior distribución; ésta se realiza mediante una red de tuberías de distintos diámetros a las que se añaden otros elementos como tanques, válvulas reguladoras de presión, estaciones de bombeo, etc. Estos elementos dependen de las distintas características de la zona, principalmente la topografía del lugar, pues ésta genera la necesidad de controlar la presión en algunos puntos.

A continuación se presentan definiciones de los principales elementos que integran una red de distribución:

Línea de conducción: Dentro de un sistema de abastecimiento de agua potable se llama línea de conducción al conjunto integrado por tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una sola fuente de abastecimiento, hasta un sitio determinado, donde será distribuida en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión. Estas estructuras a menudo tienen estaciones de bombeo y rebombeo, y están equipadas con estructuras que permiten el control de transitorios, entre otros, válvulas amortiguadoras de golpe de ariete, pozos de oscilación, tanques unidireccionales y puntos de desfogue.

Red de conducciones: Es un sistema integrado por un conjunto de tuberías interconectadas, como resultado de la existencia de dos o más fuentes de abastecimiento o sitios de distribución.

Estación de bombeo: Es la obra electromecánica, hidráulica y civil, constituida por una subestación eléctrica, un cárcamo de bombeo, rejillas, bombas, equipo eléctrico, tuberías válvulas y accesorios requeridos para la operación; proporciona las condiciones energéticas de diseño para que la conducción transporte adecuadamente el agua de un nivel topográfico generalmente menor en la fuente, a uno mayor en el sitio de distribución. Cabe mencionar que las presiones en la tubería de distribución deben estar dentro de un rango, para que ésta no sea dañada por presiones excesivas y para que la entrega a los usuarios sea a una presión suficiente para satisfacer sus necesidades. Para ello, en algunas zonas se requiere de la implementación de dispositivos de control y en otros casos, como en el que se aborda la metodología descrita en este trabajo, es necesario crear “distritos hidrométricos” para controlar presiones excesivas.

Tren de piezas especiales: Es el conjunto formado por válvulas, carretes, tes y demás accesorios, ubicados según el diseño de la red. Este conjunto permite conectar adecuadamente los equipos de bombeo a la tubería, permitiendo su control y protección; también se emplea en los sitios de control que contengan válvulas reguladores, medidores, etc. Todos estos dispositivos poseen piezas de empaque para que su unión se realice en forma estanca. Las juntas mecánicas, gibaults, dressers, y la unión entre dos piezas de tubería, son vulnerables al envejecimiento, perdiendo capacidad de sellado. El número de estos elementos es muy alto.

Tuberías: Es el conjunto de tubos interconectados para formar una línea de distribución principal; cuenta con una gran variedad de diámetros y materiales.

Válvulas: Son dispositivos que permiten el control del flujo en la conducción, atendiendo a situaciones de: corte y control de flujo; acumulación de aire por llenado y vaciado de la conducción; depresiones y sobrepresiones generadas por fenómenos transitorios y retroceso del agua por paro de equipo de bombeo, entre otras. En una red de distribución existen diferentes tipos de válvulas y cada tipo tiene una función determinada; por ejemplo, las válvulas de compuerta se usan para dejar pasar o cerrar por completo el flujo, mas no para regular el gasto. En un distrito hidrométrico cumplen una función trascendental, ya que de ellas depende que el

distrito esté bien seccionado y no se tenga flujo más que por los lugares que se han determinado; se cuenta con válvulas especiales para dejar entrar o salir aire de las tuberías; etc.

Piezas especiales: Son elementos de unión entre los componentes de una conducción de agua; se utilizan para efectuar intersecciones de conductos, variación de diámetros, cambios de dirección, conexiones con válvulas y equipos de bombeo, etc. Este grupo está constituido por juntas, carretes, extremidades, tes, cruces, codos y reducciones, entre otros.

Tanque de regulación o distribución: Estructura ubicada generalmente al final de la conducción y diseñada para almacenar agua; debe ser acorde a las extracciones de la fuente de abastecimiento y a la demanda de los usuarios. En algunas ocasiones, la existencia de un tanque puede determinar los límites de un distrito hidrométrico, así como la instalación o no de válvulas reguladoras de presión, etc. En este tipo de estructuras habría que tener cuidado de la formación de grietas por una mala construcción, aunque una fuga severa podría acabar por destruir la estructura. Las malas operaciones del sistema podrían estar constantemente rebosando la capacidad del tanque.

El equipamiento de los pozos podría ser una gran oportunidad de recuperar agua desperdiciada, aplicando variadores de velocidad, a fin de que el gasto explotado sólo sea el que se necesite.

3.2 Inventario de la infraestructura hidráulica

Un aspecto importante a considerar es la confiabilidad de la información contenida en los planos existentes, por lo que se debe procurar que la misma se encuentre actualizada. Esta información es el eje fundamental para diferentes proyectos que se pueden implementar, como el desarrollo de distritos hidrométricos, pues cuando se presentan imprecisiones causan un retraso en la puesta en operación de los distritos ya proyectados.

El inventario de la infraestructura hidráulica está compuesto por la información del catastro de la infraestructura hidráulica conformado, particularmente, por la red de distribución de agua potable; constituye la principal fuente de información geométrica y de los materiales que la componen.

De tal forma que resulta imprescindible que los planos resultantes del inventario de la red de distribución primaria y secundaria, contengan información tal como:

- Tuberías con dimensiones, diámetros, tipos de material y textos.
- Cruceros y cajas de válvulas con descripción del arreglo, elevaciones y demás información asociada a ellos (válvulas de control, de no retorno, de admisión y expulsión de aire, reducciones, tes, cruces y demás piezas especiales).
- Información asociada a la infraestructura complementaria del sistema de agua potable (tanques de almacenamiento y regulación, plantas cloradoras, plantas de bombeo, pozos, cajas rompedoras de presión, y ubicación de estaciones de medición de gasto y presión permanente).
- Localización de la infraestructura complementaria del Sistema de Agua Potable.

Con el objetivo de lograr que los datos recolectados en el inventario sean accesibles, lo ideal es que se generen planos en archivos digitales de un software conocido.

Es necesario mencionar que dadas las características que tiene esta información, recientemente se ha optado por utilizar un Sistema de Información Geográfica, SIG, para su manejo, (Geographical Information System, GIS, por sus siglas en inglés). El SIG es un sistema que

integra información de diversas fuentes, tales como archivos de imágenes matriciales o archivos vectoriales con bases de datos de una zona específica; dicha integración es realizada de tal forma que pueda ser analizada, procesada y desplegada en un monitor o impresora. La ventaja de usar un SIG para toda la información que se recolecte, es que éste hace compatibles los sistemas de coordenadas y, por lo tanto, la correlación entre diferentes fuentes de información para procesos posteriores es más sencilla.

En caso de que no se cuente con planos; o bien, los que se tienen, no son un reflejo de las instalaciones físicas reales, debido a que han ocurrido modificaciones desde la última actualización del catastro de las redes hidráulicas en la zona que se esté estudiando, es necesario analizar la conveniencia de realizar un nuevo levantamiento del catastro, o su actualización.

Para llevar a cabo un levantamiento de la red hidráulica existente es necesario realizar dos tipos de actividades, tanto de campo como de gabinete:

Trabajos de campo

Se trata de la información que debe ser levantada directamente en la zona, en cada caso de instalación (Agua Potable y Drenaje); debe tener bien definida la precisión a la que deben ajustarse los trabajos de levantamiento, la representación de los resultados gráficos y el tipo de muestreo que se aplicará, a fin de aprobar los avances en los trabajos. Podrán describirse las herramientas y equipos por utilizar, a fin de que los trabajos se integren al SIG.

Cuando se construye un SIG a partir del catastro, no se requiere del levantamiento planimétrico de vialidades. El plano es el resultado de los trabajos de interpretación de vuelos aéreos o satelitales, pero debe tener la misma precisión que los trabajos de la estación total o del GPS, ya que la ubicación de cada pozo tiene que ser precisa.

Trabajos de gabinete

Son las actividades de oficina que tienen como finalidad revisar los trabajos de campo del sistema de agua potable, del sistema de drenaje y del sistema de agua residual tratada, con la finalidad de plasmarlos en un SIG.

Las actividades principales son:

- Recopilación y análisis de la información base.
- Planeación de las rutas y coordinación de los trabajos de campo.
- Revisión de las tolerancias en errores de nivelación.
- Incorporación de los datos recabados y revisados en un SIG.
- Revisión de la congruencia de la información incorporada al SIG.
- Cálculo de datos derivados, como pendientes para cada tramo de tubería.
- Vaciado de la información del SIG a planos y cuadros resumen.
- Revisión de la congruencia de la información de planos y cuadros.
- Coordinación técnico-administrativa para los trabajos especiales.
- Elaboración de informes de avances e informe final.

El organismo operador de los servicios de agua debe definir las características de los planos tipo que se obtendrán de las actividades antes mencionadas para cada una de las redes que conforman los sistemas hidráulicos, tales como dimensiones, escala, distribución, espesores de

líneas, tamaños de márgenes, letreros, nomenclatura y demás detalles que deben cumplir los planos tipo finales que contendrán la información del levantamiento físico de las redes hidráulicas.

Los elementos que deberán contener los planos son:

Plano base: Se emplea el término "plano base" para designar los planos escala 1:10,000 que contienen planimetría, cuadros y títulos de identificación, simbología y notas generales, a los que se sobrepondrá la información de las redes de agua potable, drenaje y agua residual tratada, recabada durante el levantamiento.

El plano base contendrá, en forma obligatoria, los elementos cuya distribución general se describe a continuación:

- Marcos
- Planimetría del cuerpo del plano
- Simbología de la planimetría
- Ubicación y datos de los Bancos de Nivel
- Simbología de la Red Hidráulica
- Notas generales
- Notas particulares
- Datos en pozos y cajas
- Escala gráfica y numérica
- Responsables
- Identificación principal
- Índice de planos

Condiciones de operación hidráulica actual

Para poder conocer las condiciones de operación de un distrito hidrométrico de la red de distribución de agua potable, es preciso recabar la mayor cantidad de datos, tales como:

- ❖ Documentos que integran el reporte general del estudio de presiones; se deben identificar los sectores pertenecientes a la zona en estudio.
- ❖ Identificación de las diferentes fuentes de abastecimiento de los distritos hidrométricos, trátase de tanques, derivaciones de otras líneas o pozos, su localización detallada y el estado en que se encuentren, esto es si están en operación y cuáles son las políticas de ésta.
- ❖ En la descripción de las fuentes de abastecimiento debe concedérsele mucha importancia a los bombeos y rebombeos que existan en el sistema, pues esto tiene gran impacto en el comportamiento del distrito hidrométrico.
- ❖ Revisión de la infraestructura existente en la zona, tomando en cuenta las observaciones del personal de operación, ya que pueden existir válvulas que no se estén contemplando y que afecten el funcionamiento del sector, reduciendo o aumentando la presión en algunas zonas.
- ❖ Las diferentes salidas de agua en el sector también deben ser consideradas durante el proceso de simulación; éstas pueden ingresarse al modelo como demanda en los nodos cercanos al lugar en que se encuentran dichas salidas.
- ❖ A partir de la información obtenida durante el estudio de control de presiones en las regiones que se van a sectorizar, se puede estimar un consumo medio para cada sector propuesto;

este consumo medio, multiplicado por la población reportada en la zona, resulta en un estimado del consumo total por sector.

- ❖ La importancia en costos reales del agua que se está perdiendo en la distribución, podría representar una condición del tipo de inversión tope a realizar en la sectorización.
- ❖ En forma preliminar, puede estimarse el tamaño de un distrito hidrométrico en función del número de usuarios, o bien la longitud de red que deba estar contenida en el sector.
- ❖ Para ésta, es necesario contar con estimaciones actualizadas de la magnitud de las pérdidas totales de agua en el sistema de distribución, considerando que se han identificado las pérdidas en tanques, almacenamientos, bombeo, potabilización etc.

El impacto de todas estas variables en el comportamiento hidráulico de una red de distribución es muy fuerte; por ello, el análisis del funcionamiento hidráulico para la construcción de un distrito hidrométrico no se limita a la instalación de válvulas reguladoras de presión, sino que debe incluir una modificación de la forma en que se opera la red en general. La ubicación de los lugares de medición y de regulación de presión se decidirá a partir de estos parámetros.

3.3 MEDICIÓN

En un sistema de abastecimiento de agua la medición utiliza un conjunto de equipos medidores, graficadores y accesorios, cuyo objetivo es identificar los caudales captados, conducidos y distribuidos; consumidos y perdidos; fundamenta la planificación, el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y la administración del abastecimiento de agua, así como la planeación y ejecución de programas de inversión, con base en un eficiente sistema comercial que, sustentado en la medición, diseñe tarifas justas y efectúe la facturación y la cobranza. Por todo ello, la medición es un instrumento indispensable en la ejecución de las siguientes actividades:

- i. Evaluar las condiciones hidráulicas reales de funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua.
- ii. Planear y ejecutar los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de conductos, redes, instalaciones electromecánicas y plantas de tratamiento.
- iii. Planear e implantar programas de medición.
- iv. Determinar los volúmenes de agua no facturados.
- v. Desarrollar una estadística de las mediciones que permita evaluar los programas de operación, mantenimiento y uso eficiente del agua, desarrollando mecanismos que faciliten el control de la demanda, así como corregir y / o aumentar el programa de macro y micro medición.
- vi. Formular, implantar y controlar las políticas tarifarias de las empresas de agua y saneamiento.
- vii. Evaluar el sistema de micromedición existente, incluyendo el grado de adecuación de los medidores domiciliarios al régimen de demanda de los usuarios, grado de exactitud, precisión y sensibilidad de los equipos, eficiencia de mantenimiento, plan de sustitución, grado de eficiencia de lecturas y procesamiento de datos.
- viii. Determinar los componentes de pérdidas en el sistema de distribución.

- ix. Obtener la dotación real *per cápita* de los distintos sistemas y sectores de abastecimiento de agua.
- x. Determinar los volúmenes y caudales de agua entregados a los sectores de producción y comparar la disponibilidad de agua con la demanda.
- xi. Desarrollar programas para reducir costos.
- xii. Obtener las presiones y niveles de agua en puntos significativos de los sistemas de abastecimiento.
- xiii. Obtener el equilibrio del suministro de agua en las diferentes zonas de presión, así como la homogeneidad de presiones en la red de distribución.
- xiv. Evaluar el tiempo de saturación de los sistemas en función de la evolución demográfica, socioeconómica y cultural de las comunidades.

A partir de la experiencia actual se puede concluir que una empresa de servicios de agua y saneamiento tendrá posibilidades de ofrecer un servicio rentable sólo en la medida en que se desarrollen los dos sistemas de medición: macro y micro medición.

En cuanto a los organismos de servicios de agua que no poseen medición, se recomienda iniciar con la instalación e instrumentación de la micromedición, e ir desarrollando de forma paralela la macromedición.

Micromedición

Con base en lo anterior, se puede afirmar que las razones y las prioridades para mejorar o adoptar la medición del consumo por usuario, pueden variar conforme al lugar y al tiempo. Por ejemplo, en países áridos pobres, con poblaciones urbanas con un crecimiento acelerado, las prioridades pueden ser las siguientes:

- a) Conservación del agua. Obligar a los usuarios a consumir menos agua por medio de cargas volumétricas. El agua ahorrada puede permitir: extender el sistema, mejorar los estándares del servicio y la protección del ambiente.
- b) Recuperación del costo y solidez financiera de la compañía del agua; rédito apropiado para todos los costos (abastecimiento de agua, alcantarillado, drenaje pluvial u otros servicios) y disposición para las inversiones futuras.
- c) Equidad individual en la casa. Evitar las prácticas discriminatorias asociadas a tarifas fijas de carga según el volumen utilizado.
- d) Reducción de consumos clandestinos de agua (conexiones y salidas clandestinas) con una mejor información sobre consumos medidos.
- e) Disminución de la demanda máxima reduciendo las aplicaciones no-imprescindibles, aun cuando proporcione la posibilidad de tarifas estacionales u horarias.
- f) Equidad social en favor de los consumidores pobres, usando menos agua, aplicando tarifas más bajas o por medio de subsidios.
- g) Datos mejores sobre las demandas y las variaciones, para optimizar la operación y el planeamiento del sistema del agua.

La *Tabla 3.1*, muestra valores de la cobertura de micromedición en algunos municipios de la República Mexicana; se aprecian claramente las radicales diferencias que existen entre las entidades.

Tabla 3.1. Micromedición en México

Localidad	Tomas registradas	Medidores funcionando					
		DOM	COM	IND	Otros	Total	%
VER, Veracruz	165,603	10,934	2,382	160	48	13,524	8.2
CHIH, Cd. Juárez	336,095	252,933	11,862	763	1,039	266,597	79
JAL, Guadalajara	908,015	586,265	50,136	2,488	2,260	641,149	71
BC, Tijuana	404,080	332,727	21,822	2,566	1,166	358,281	89
AGS, Aguascalientes	197,725	160,474	4,694	193	-	165,361	84
GRO, Acapulco de Juárez	133,014	47,319	2,929	-	253	50,501	38
DF, Sector de estudio	3,687	2,542	202	-	243	2,987	80

DOM, Domiciliarias; COM, Comerciales; IND, Industriales

Fuente: CONAGUA, 2005

Decidir sobre la conveniencia de un sistema de medición para un lugar sin medición previa, o su aumento si existe parcialmente, exige la evaluación cuidadosa de un amplio espectro de elementos, incluyendo factores relativos a la capacidad financiera del organismo, al nivel socio económico de los usuarios, así como a los aspectos políticos locales, a fin de evitar un impacto negativo en el presupuesto familiar. También implica hábitos de la familia, salud, organización institucional, estándares y muchos otros elementos más del servicio del agua. La *Figura 3.3* representa los diversos ángulos y elementos que se deben tener en cuenta. La planeación para la selección del tipo, adquisición e instalación de los medidores de agua requiere de un enlace claro y cuidadoso de carácter técnico, administrativo, y ciertos aspectos legales y sociales implicados.

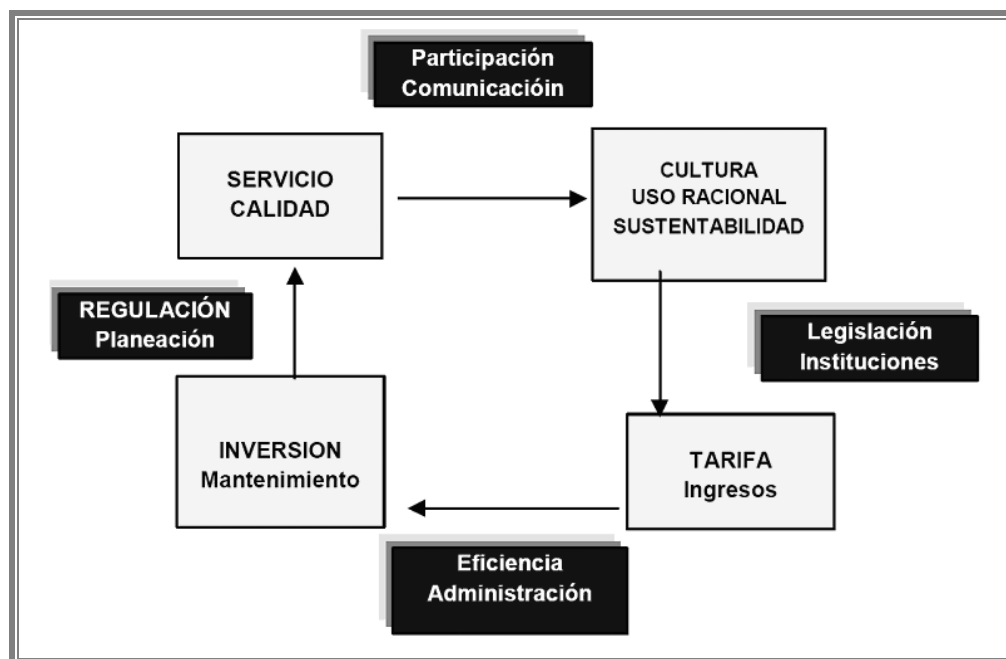


Figura 3.3 Aspectos que se involucran en la planeación de la medición

El impulso a la medición en un organismo operador puede tener muchos caminos, incluso variantes, en cuanto a sus propósitos y prioridades, así como a los plazos para implementarla y a la cantidad de recursos humanos y financieros que se le destinen.

En México, la mayoría de los organismos de servicios de agua están escasamente desarrollados y la medición es un aspecto en el que se observan deficiencias evidentes. Por otra parte, no es difícil tener una clara imagen de las metas a las que se debe aspirar en el ámbito de la medición. Si se compara el nivel de desarrollo, control operativo y servicios de los organismos operadores de agua de los países desarrollados, se pueden inferir las ventajas de poseer sistemas ágiles de

flujos de información y métodos para conocer en tiempo real, en las oficinas centrales, lo que sucede en diferentes sitios del sistema; e incluso la posibilidad de operarlos automáticamente o a control remoto.

Todo ello representa grandes ventajas en cuanto a seguridad y eficiencia, repercutiendo favorablemente en la calidad del servicio y en la posibilidad de mantener tarifas bajas u obtener mayores recursos para el organismo. Teniendo como objetivo final contar con un sistema de medición y control similar al de los países desarrollados, se pueden plantear varias alternativas al respecto:

a) “Cobertura limitada extensa, con evolución gradual”.- La idea aquí es que haya medidores en los puntos de producción, que cubran el mayor porcentaje de la producción al menor costo, es decir, medir en sitios importantes como acueductos, plantas de tratamiento y suministros a la red primaria de distribución. Aunque en un principio la micromedición, la densidad en la cobertura y la frecuencia de lectura, constituyan una muestra representativa del consumo, una mayor precisión en la medición permitiría conocer mejor el sistema y detectar posibles puntos críticos como derrames, pérdidas de agua, o fallas de operación. Con esa visión general se podrá ir evolucionando e instalando más medidores, mejorando la precisión y la cobertura, hasta alcanzar mayores niveles de control. De esta manera, los organismos bien administrados, podrán desarrollar, en algunos años, sistemas de información geográfica GIS (Sistema de Información Geográfica en Tiempo Real), que conjuntamente con un SCADA (Sistema de Supervisión y Actuación a Distancia) permita una gestión moderna y confiable del organismo.

b) “Actualización completa por subsistemas”.- Esta alternativa propone modernizar por completo algún acueducto o tramo de la red de distribución. Una vez realizado este trabajo, con todas las modificaciones necesarias, se debe seguir el mismo procedimiento con el siguiente tramo de la red o con otro acueducto, utilizando la tecnología aplicada en la primera parte, hasta lograr un control automatizado en toda la red.

c) “Cobertura extensa y evolución gradual, con automatización estratégica”.- Esta alternativa, en cierto modo, equivale a una combinación de las dos anteriores. Aquí, la prioridad sería un desarrollo homogéneo y gradual, cubriendo geográficamente todo el sistema de agua, igual que en el inciso “a”. Adicionalmente se puede adelantar y relizar pruebas con equipo de tecnología sofisticada en algunos sitios selectos, o fracciones pequeñas del sistema, que no impliquen graves riesgos en caso de fallas. La ventaja sería poder capacitar, de manera simultánea a la modernización de la infraestructura, a una parte del personal en el manejo de equipos más delicados y desarrollar software apropiado para la etapa final.

En realidad, cualquiera de esas alternativas podría ser apropiada; depende, fundamentalmente, de los aspectos logísticos y de la madurez en el manejo y uso de la información, y en menor medida del ritmo de adquisición e instalación de equipos en campo.

Para la opción del inciso “c”, cabe aclarar que resulta conveniente que los primeros intentos de telemetría y telecontrol sean posteriores al afianzamiento de la parte logística, y debe estar instalado y en operación manual el equipamiento mínimo indispensable (es importante que se pueda y sepa cómo efectuar manualmente cualquier procedimiento, para que no haya riesgos de “caídas del sistema” al emplear tecnología sofisticada, es decir, que haya posibilidad de entenderlo y “levantarlo”, sin depender de especialistas extranjeros).

La opción marcada en el inciso “b”, depende de una selección precisa de los equipos, ya que los resultados esperados no son de orden cualitativo, sino cuantitativo. Un error en la selección de los equipos representaría una significativa pérdida de recursos.

En algunas ocasiones se tiene un concepto erróneo de medición; no debe pensarse exclusivamente en medidores de manera independiente, es decir, por un lado la micromedición y por otro la macromedición, como soluciones aisladas. La medición se debe definir como un subsistema integral que incluya la micro y macro medición en infraestructura hidráulica; por lo tanto, debe ser considerada como un subsistema del sistema de información (planificación y control).

Actualmente, el campo de aplicación prioritario de la *medición* es el conocimiento del agua no contabilizada y la evaluación de posibles acciones de rescate de esos volúmenes. Además, la *micromedición* tiene aplicación en el cobro por el uso del servicio.

En consecuencia, con esa misma información, bien organizada y analizada, se podrán llevar a cabo nuevas tareas como: *conocer demandas, predecir demandas, detectar y evaluar fallas de operación, desarrollar, calibrar y alimentar modelos hidráulicos, acrecentar y hacer más confiable el acervo estadístico (enriquecer bases de datos y conocimientos), prevenir situaciones de riesgo o peligro (inseguridad) para la infraestructura o incluso para la población, realizar mejores análisis de optimización y evaluaciones de costos / beneficios, establecer reglas expertas para la toma de decisiones, elaborar propuestas para mejorar la calidad del servicio a los clientes y la situación tarifaria de la empresa, así como dar apoyo técnico a otros proyectos (expansión de la red, abatimientos y evolución de niveles fráticos en pozos de extracción), llevar a cabo el tratamiento de aguas negras y hacer eficientes los equipos electromecánicos.*

Definitivamente todo lo anterior, y quizá varias cosas más serán posibles, gracias a un mejor "sistema de gestión de la medición" (*que no se limita a instalar medidores, sino que abarca toda la logística necesaria, incluyendo esfuerzos de implantación y consolidación*). Por ello mismo, es importante definir *objetivos, prioridades, secuencias, responsables y normas*. Debe tenerse claro que no todas las acciones tienen los mismos tiempos de maduración; podría ser incluso que la aplicación de detección y corrección de fugas sea posterior a la consolidación de las bases de datos o de los modelos hidráulicos.

3.3.1 Macromedición

La macromedición, acompañada de la medición de variables tales como la presión, es fundamental en el desempeño de un organismo operador, pues permite desarrollar las siguientes actividades:

- a) Obtener la explotación o producción real del sistema de abastecimiento de agua.
- b) Determinar los volúmenes y caudales de agua entregados a los sectores de producción y comparar la disponibilidad con la demanda de agua.
- c) Obtener caudales, presiones y niveles en puntos significativos de los sistemas de agua potable.
- d) 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.
- e) Evaluar las condiciones hidráulicas reales de funcionamiento del sistema.
- f) 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.
- g) Evaluar el tiempo de saturación de los sistemas en función del desarrollo demográfico, socioeconómico y cultural de las comunidades.
- h) Determinar los volúmenes de agua no facturados.
- i) Determinar los componentes de las pérdidas en el sistema público de producción y distribución de agua.

j) 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 en el mantenimiento, plan de sustitución, grado de eficiencia de lecturas y procesamiento de datos.

k) Generar información para la formulación, implantación y control de las políticas tarifarias de los organismos operadores.

l) Generar datos estadísticos de las mediciones que permitan evaluar los programas de operación, mantenimiento y uso eficiente del agua.

m) Implantar el sistema de información operacional y el proyecto de control de la operación.

Un problema muy común relacionado con la macromedición, es la dificultad para utilizar los datos obtenidos, es decir que existe una relación deficiente entre la medición y la operación de los sistemas. Para superar este problema, se recomienda ligar la macromedición a un sistema adecuado de información de la gestión del servicio. En la etapa de procesamiento de datos, éstos se deben validar, almacenar, procesar y recuperar en la forma pertinente para satisfacer las necesidades del área de operación, de otras áreas del mismo organismo o aun 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 y reportes gerenciales, entre otros.

Otro aspecto importante para hacer un uso eficiente de la macromedición es el programa de mantenimiento; éste puede ser de dos tipos: preventivo y correctivo.

El Mantenimiento Preventivo 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 Organismo 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).

En la *Figura 3.4*, se muestra un esquema de un sistema automatizado de macromedición.

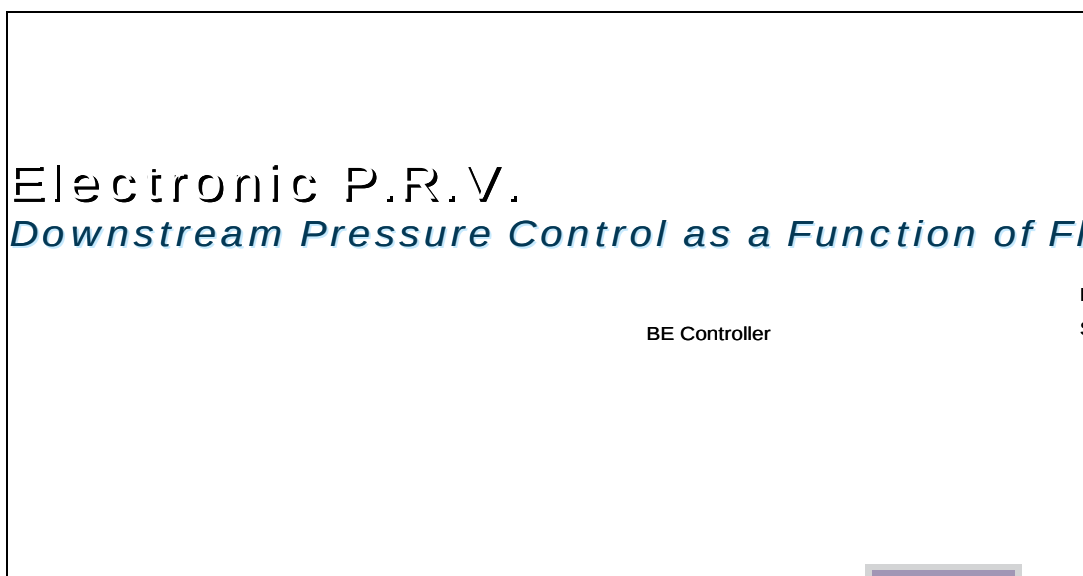


Figura 3.4. Automatización de la macromedición.

El proyecto de macromedición debe estructurarse de tal forma que contemple la cantidad, tipo y características de los equipos, adquisición de los mismos, mantenimiento, uso de la información, contratación, preparación del personal administrativo que opere y mantenga el sistema de macromedición; esto lleva a la necesidad de diferenciar la macromedición de cada sistema de abastecimiento de agua, de acuerdo con las necesidades y limitaciones de las empresas.

La clasificación de los sistemas de abastecimiento de agua debe admitir el agrupamiento de sistemas semejantes en términos de macromedición en una misma clase, de manera tal que un mismo tratamiento pueda ser aplicado a los sistemas de la misma clase.

Teóricamente es posible establecer tantas clases como grupos de arreglos de factores intervienen en el proceso de selección de la macromedición.

El agrupamiento de los sistemas de abastecimiento de agua en clases debe efectuarse con base en los siguientes lineamientos:

- Todos los sistemas de abastecimiento de agua pertenecientes a una misma clase deben tener los mismos sistemas de macromedición, proyectados y operados siguiendo las mismas reglas básicas.
- Los niveles técnico, gerencial y administrativo del personal de la empresa, particularmente el personal involucrando en la operación y mantenimiento de los sistemas de macromedición pertenecientes a una misma clase, deben ser aproximadamente equivalentes.
- La complejidad de la operación y el mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua y los sistemas de macromedición pertenecientes a una misma clase, debe ser aproximadamente la misma.
- Los datos generados por los sistemas de macromedición de una misma clase, tendrán el mismo tipo de procesamiento y análisis.

El significado de estos principios básicos, así como el tratamiento de las variables a medir, la forma de transmisión de los datos, así como el análisis de la disponibilidad de elementos primarios y secundarios, permiten definir las cuatro clases de sistemas de abastecimiento de agua que se indican más adelante, las cuales dependen de la población abastecida.

Cada clase se caracteriza por los principios establecidos, lo que permite la estandarización de los elementos básicos de proyecto y operación de los sistemas de macromedición, de forma compatible con cada clase.

Criterios de Ubicación para la Instalación de Macromedidores

Definiciones de las variables a medir

Para satisfacer las finalidades de un sistema de macromedición, es necesario efectuar mediciones de caudal, presión y nivel de agua obtenidas de los equipos instalados en puntos estratégicos del sistema de abastecimiento de agua. La medición de los niveles de agua es importante para efectuar operaciones de rutina, para evitar derrames o falta de agua en tanques, para controlar manantiales, etc.

La combinación de los tres parámetros suministra información muy valiosa para el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua. La medición del caudal permite evaluar, desde el punto de vista de la distribución de agua por las tuberías y demás unidades operacionales, el comportamiento del sistema en función de su configuración física y en función de las demandas de agua.

Las medidas de la presión identifican la falta o disponibilidad de agua en un punto del sistema de abastecimiento. Para identificar estos puntos y las principales partes de un sistema de macromedición, se utiliza la simbología mostrada en la *Figura 3.5*.

SIMBOLOGÍA

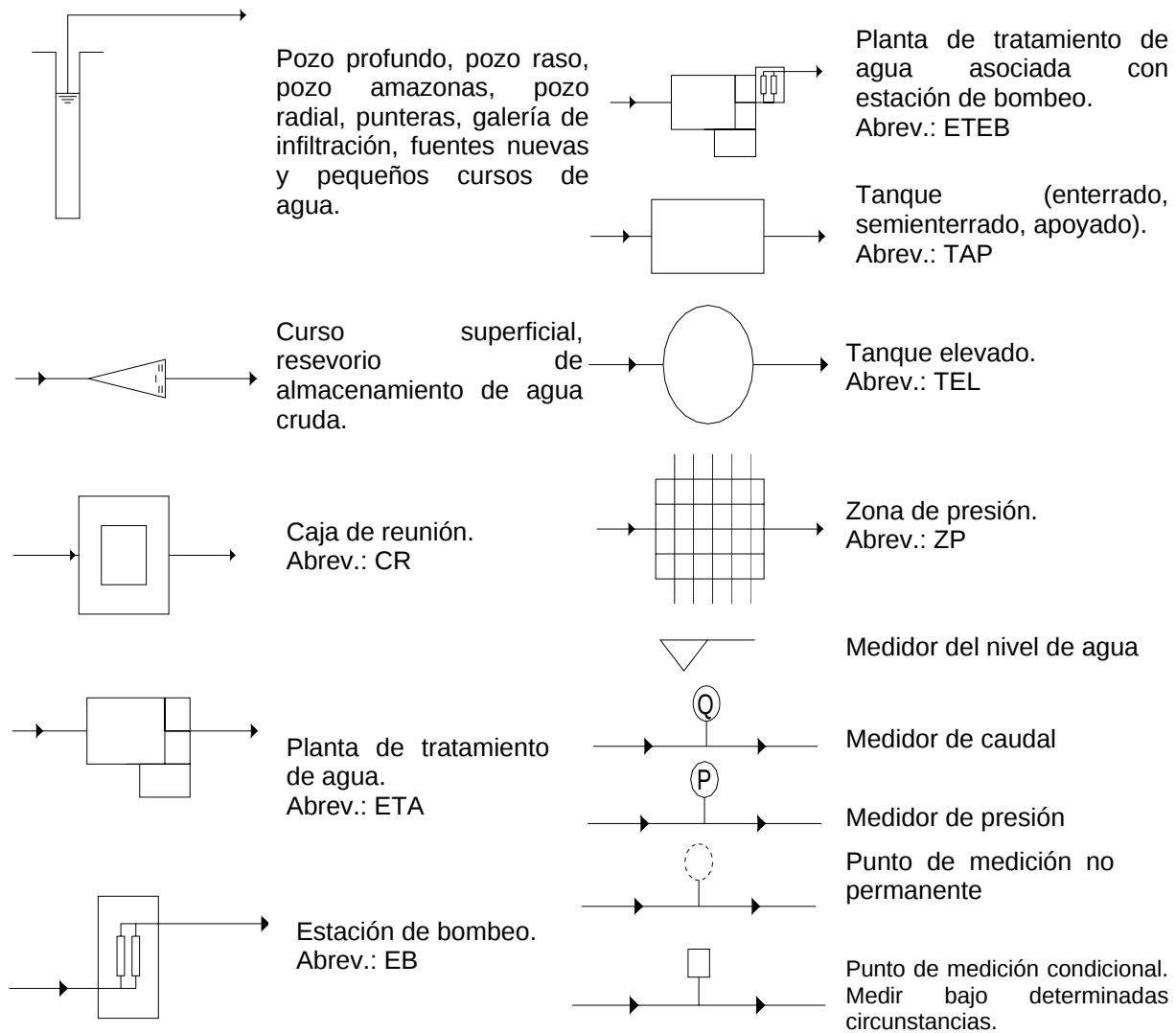


Figura 3.5 Simbología en la macromedición

Criterios generales para la localización de medidores de caudal

En la aplicación de criterios específicos al quedar definidos dos puntos de medición en serie en una misma tubería, se mide solamente en uno de ellos cuando no hay derivaciones o distribución entre los mismos, ya que si se tuvieran los dos medidores en serie se obtendrían los mismos caudales en cada instante. Se podría argumentar que la adopción de los dos puntos sirve para controlar las pérdidas de agua en el conducto, principalmente cuando el mismo es de gran longitud o tiene cajas de paso. Sin embargo, el control permanente, a pesar de ser deseable en estos casos, puede incrementar exageradamente el costo del proyecto de macromedición.

- a) Cuando la aplicación de criterios específicos fija puntos de medición en conductos que salen de nudos, se deben suprimir los puntos que no sean necesarios para determinar los caudales de todos los conductos.
- b) En todas las entradas de las zonas de presión, en el inicio y fin de las conducciones y en las salidas de estaciones de bombeo, no contempladas con medidores permanentes después de

aplicar los criterios específicos de localización de los puntos de medición, deberán ser previstos los puntos de medición de caudal no permanente.

- c) Cuando el sistema de abastecimiento de agua de una localidad se abastece de agua de otra localidad, se ubicarán los medidores de caudal, de ser posible, cerca de la línea limítrofe de los municipios, para medir el caudal transferido de una localidad a otra.
- d) Cuando la aplicación de los criterios específicos indique un punto de medición sujeto a presiones elevadas, en comparación con los límites admisibles para los medidores usuales, habrá que escoger otro punto, de preferencia en la misma tubería, midiendo el mismo caudal.

Criterios generales para la localización de medidores de presión

- a) Localizar puntos de medición en las tuberías de succión de las bombas con eje horizontal, midiendo cada bomba de las estaciones de bombeo. La instalación del medidor puede ser efectuada en la propia brida de succión de las bombas. Esta medición suministra información de las pérdidas de carga en todo el conducto de succión, las cuales, no siendo normales, llevan a investigaciones detalladas de la criba, válvula de pie, etc.; también auxilia en la operación de la estación de bombeo, alertando a los operadores que las bombas funcionen en puntos de trabajo expuestos a cavitación.
- b) Localizar puntos de medición en las tuberías de presión inmediatamente aguas abajo de cada bomba de una estación de bombeo. La instalación del medidor puede ser efectuada en la propia brida de descarga de las bombas. La medida de presión en la descarga, analizada con el caudal descargado y la presión de succión, suministra el punto de trabajo de la bomba (gasto x altura manométrica total). Es importante que esta información se obtenga en forma permanente, para que se puedan detectar eventuales problemas de desempeño inadecuado de las bombas.

La *Figura 3.6* muestra el esquema del sistema de abastecimiento; en ella se muestran las partes en las que tiene injerencia la macromedición.

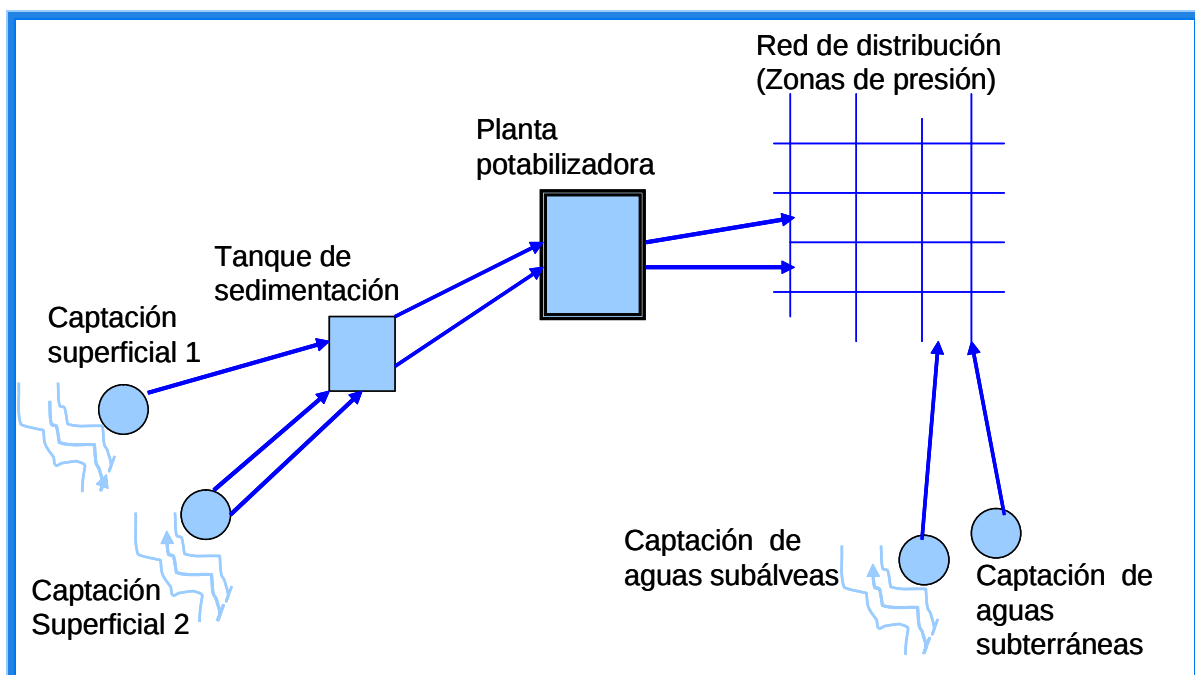


Figura 3.6. Esquema del sistema de abastecimiento

3.3.2 Micromedición

Para eliminar las desigualdades de suministro entre la población y permitir un adecuado funcionamiento en el servicio de agua, se requiere un consumo más eficiente. En otras palabras, la solución no está únicamente por el lado de la oferta - aumentar la cantidad de agua disponible -; el problema se debe afrontar también desde el lado del consumo. Una alternativa para ello es adoptar el sistema de “cargo por consumo”.

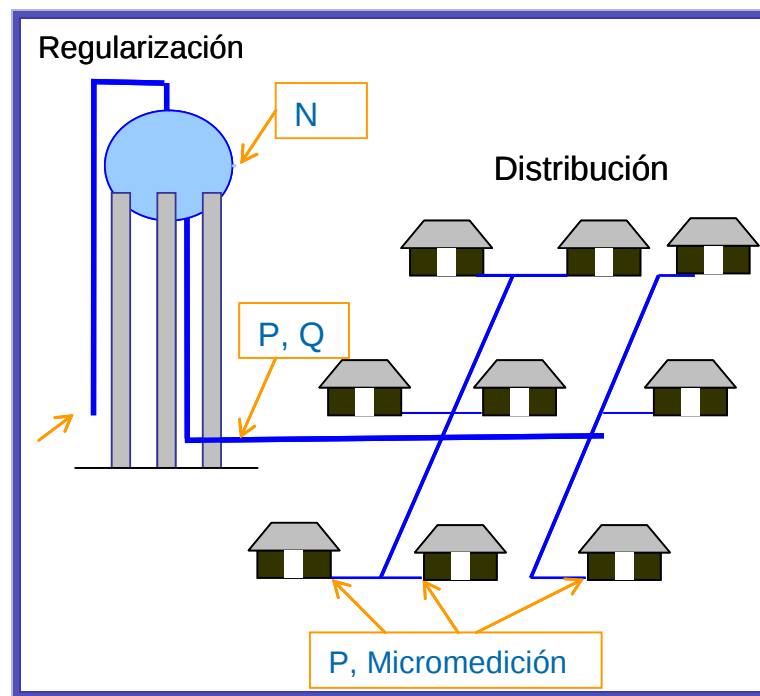
El cargo por consumo convierte el agua en un bien económico que puede ser adquirido a un precio determinado, creando así una relación directa entre el consumo de agua y un valor monetario a pagar. Esta solución supone varios aspectos:

- Adopción de medidores domiciliarios.
- Una organización capaz de llevar a cabo los procesos de registro, control, lectura de consumos, facturación, cobro, contabilidad, administración financiera, etc.
- Implantación de una tarifa diseñada cuidadosamente para cada comunidad.
- Tenencia de un marco legal e institucional que incluye la personalidad jurídica de la administración local (asociación de agua), sus estatutos y un reglamento de servicio.(referencia 10).

Al respecto, en este capítulo se propone lo siguiente:

- Aportar elementos de juicio para evaluar cuándo la medición puede ser útil y financieramente atractiva, y cuándo sería mejor otra opción.
- Proveer guías para realizar análisis de factibilidad de opciones de cobranza del agua en áreas urbanas, incluidos los barrios bajos (zonas pobres, marginadas).
- Listar las tareas, cuidados y precauciones en un sistema de cobro volumétrico.
- Hacer una liga comprensible entre los aspectos técnicos, administrativos y sociales, involucrados en la medición domiciliaria (micromedición).
- Presentar el desarrollo numérico del dimensionamiento de muestras que permita la inspección de calidad en el funcionamiento de los micromedidores.

En la *Figura 3.7*, se muestran los puntos dentro de la red de agua donde tiene injerencia la micromedición.



Donde: N: nivel, P: presión, Q: caudal
Fuente: IMTA

Figura 3.7. Esquema de un sistema de distribución con micromedición

Las razones y prioridades para mejorar la micromedición variarían en relación con el lugar y el tiempo; sin embargo, en muchas ciudades de México las prioridades suelen ser:

- Ahorro de agua. Inducir a los usuarios y demás personas a consumir menos agua mediante cargos volumétricos. El agua preservada permitiría extender el sistema, mejorar la calidad del servicio, y proteger el medio ambiente.
- Recuperación de costos, buscando la salud financiera de la empresa del agua; ingresos apropiados para todos los gastos (abastecimiento, drenaje sanitario y pluvial, u otro servicios) y provisión para futuras inversiones.
- Equidad y justicia individual para cada usuario. Evitar prácticas discriminatorias asociadas a sistemas de tarifas fijas, mediante un cobro conforme a volúmenes realmente usados.
- Reducción de pérdidas de agua (físicas y financieras), al disminuir el número de conexiones clandestinas y fugas físicas, mediante una mejor información sobre consumos.
- Abatimiento de demandas pico (crestas). Reducir algunos usos no indispensables mediante tarifas estacionales o según la hora del día.
- Equidad social. Favorecer a los consumidores pobres, desempleados o ancianos, o a los que usen menos agua, con tarifas económicas mediante subsidios transparentes.
- Mejor operación y planeación de nuevas áreas de servicio del sistema, a través de mejores datos sobre demandas y variaciones.

Antes de cualquier comparación de opciones, deben asentarse claramente las respectivas prioridades y necesidades de un proyecto (renovación de la cobranza en el sistema, extensión de la red, mejora del servicio, identificación y evaluación del agua no contabilizada etc.)

A través de diferentes estrategias se pueden lograr algunos de los objetivos; en contadas ocasiones se alcanzará todo mediante una sola opción. La medición puede cubrir varios objetivos,

pero también es costosa. Cuando existe un claro y urgente objetivo, posiblemente las opciones “sin-medición” resultarán mejores y más baratas.

Tomando en cuenta su origen, las medidas pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) Del consumidor: fiabilidad del pago, reducción de la demanda o de picos, uso de dispositivos ahorradores, mejora de la calidad de plomería.
- b) De la empresa de agua: políticas tarifarias; eficiencia del desempeño; reducción de pérdidas comerciales; reducción de estándares de calidad (tandeos del servicio, bajas presiones, tuberías sub-dimensionadas); renovación de la red hidráulica; educación del consumidor; penalidades, incentivos, prohibiciones y reglamentación legal; programas de sustitución de aparatos domésticos.
- c) De otras fuentes: legislación, educación, planificación familiar, descentralización, subsidios, cooperación institucional, mejora de los materiales en el mercado.

Según su objetivo, algunas opciones son:

-Mejoramiento del sistema de cobros mediante tarifas por colonia (vecindario), nivel socioeconómico, número de residentes, etc. (mientras más justo sea el sistema, será más costoso y difícil de mantener actualizado).

-Recuperación de costos, a través del incremento de tarifas, incremento en la eficiencia, reducción de las erogaciones, detrimento de normas (calidad) del servicio, reducción del agua no contabilizada, ahorro de agua, actuación legal contra derroches de agua,

-Abatimiento de picos de demanda como tandeos (cortes rotativos de suministro), incentivos, sobrecargos, restrictores de flujo, prohibiciones, racionamiento, cisternas domésticas obligatorias.

-Conservación del agua, con medidas agrupadas en: estructurales (aparatos de bajo consumo); operativas (fugas, presiones, cortes, calidad de productos); financieras (tarifas motivacionales, medición aleatoria o comunitaria); y sociológicas (educación, motivación, legislación, inspección).

-Emergencias para reducir demandas (en casos de sequías, contaminación de acuíferos, etc.).

La mayoría de las medidas mencionadas puede ser útil con una implementación más estricta y para un corto periodo.

Cuando se requiere un programa intensivo de reemplazo o instalación de micromedidores, es necesario tener una planeación y diseño cuidadoso de los aspectos logísticos y financieros, en lugar de una rutina para ser instalados sólo en el caso de los contratos nuevos. Las etapas de este programa son: definición del objetivo, planificación, investigación y preparación, diseño ejecutivo, instalación de aparatos, operación de medidores y su mantenimiento, mejora y renovación (reemplazo al concluir su vida útil) de los mismos.

Las características del aparato aforador de consumos, el "contador", requiere atención particular. Actualmente, los nuevos materiales y la electrónica tienden a mejorar y hacer más económicos los equipos, por lo que la selección del nivel tecnológico y sus mejoras subsecuentes es importante. Por ejemplo, pueden ser benéficas las conexiones prefabricadas y pre-ensambladas (tubos, válvulas, medidor, caja y acoplamientos como una unidad), al igual que la “medición remota”.

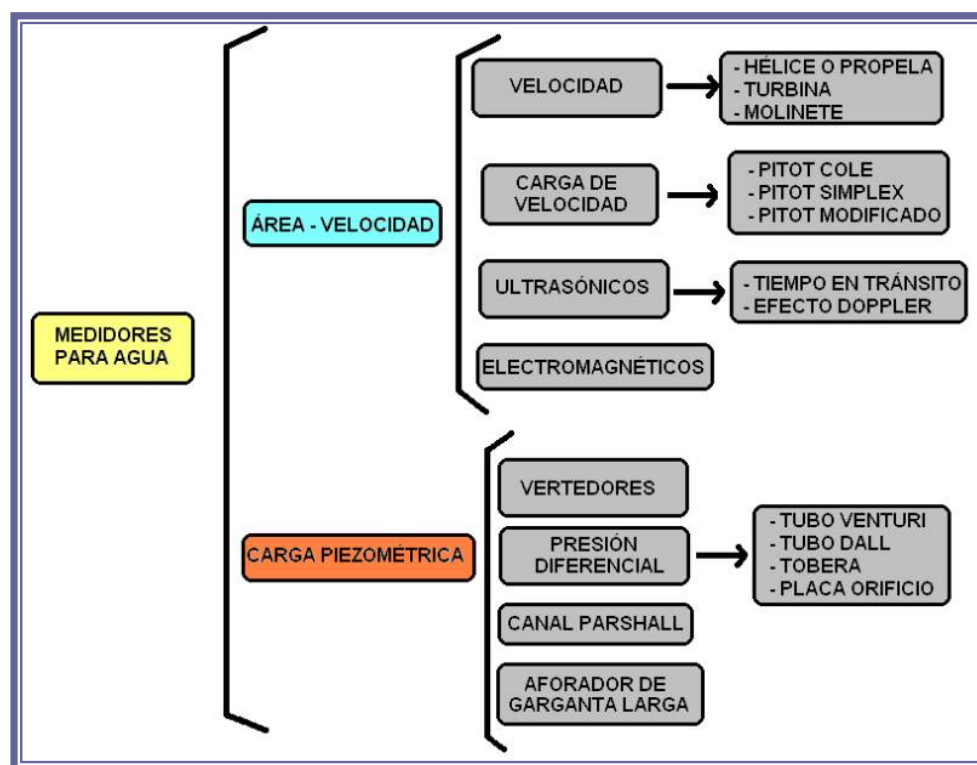
Al planificar la adopción o mejora de medidores domiciliarios, los puntos principales son:

- ✓ Cambios deseados y sus prioridades.
- ✓ Urgencia de los cambios requeridos.
- ✓ Virtudes y desventajas de la medición respecto de otros sistemas.
- ✓ Papel (obligación o misión) de la empresa de agua en relación con objetivos sociales o políticos (lo mejor es que no tuviera nada que ver con ellos).

- ✓ Fuerza real (legal u otro tipo) de la empresa de agua para imponer esas medidas.
- ✓ Estándares de servicios actuales y deseados, así como niveles de cobertura.
- ✓ Tipo de tarifas necesarias (estructura) y gastos a incluir en ella.
- ✓ Aptitud y características de las casas en las que serán instalados los medidores (aparatos contadores).
- ✓ Precisión requerida en los contadores.
- ✓ Logística, procedimientos y cuidados para la instalación, la lectura (operación) y el mantenimiento de los aparatos.

Tipos y características de los micromedidores

Los medidores de flujo funcionan con principios físicos e hidráulicos básicos, como el principio total de la conservación o de la masa (Ecuación de Continuidad) y el principio de la conservación de energía (pérdidas principales) debidas al fluir. Una primera clasificación de los medidores se puede apreciar en la *Figura 3.8*.



Fuente: CONAGUA.

Figura 3.8. Clasificación de medidores.

En la *Tabla 3.2* se muestran vistas generales de un medidor domiciliario (micromedidor).

Tabla 3.2. Medidor domiciliario

	Vista general de un micromedidor domiciliario, de izquierda a derecha tenemos: una válvula de compuerta; seguida de ésta se encuentra el micromedidor. En la parte posterior al mismo observamos una llave de nariz; al lado de esta podemos observar una válvula de compuerta y, finalmente, se encuentra la alimentación al domicilio.
	La fotografía muestra a detalle el micro-medidor y su totalizador; este tipo de micromedidores ya no requiere de la lectura visual, ya que es posible realizar ésta en forma remota.

Los medidores pueden ser de varias clases, como por ejemplo volumétrico o propela, entre otros; todos estos tienen diversos estándares de precisión y de fabricación, así como costos diferentes.

Su operación, por supuesto, rendirá réditos distintos y beneficios a la empresa de servicios del agua.

Parámetros hidráulicos y unidades de medida

Un aparato para contabilizar el volumen de agua potable que entra por una toma domiciliaria a una vivienda, industria o comercio, normalmente tiene principios de funcionamiento apoyados en las siguientes premisas:

- a) El tubo está totalmente lleno de agua (es decir, el tubo va a sección transversal llena).
- b) El agua ejerce una presión positiva sobre las paredes internas del conducto.
- c) La velocidad del agua es suficiente para mover los instrumentos mecánicos empleados para contar el agua que por ahí pasa.

Diámetro.- En tuberías circulares éste se mide viendo la “sección transversal del tubo” como la distancia de un extremo a otro, pasando por el centro. Existe un diámetro interno, y otro externo. El primero siempre es más pequeño, y más importante para fines de selección de medidores, diseño de acoplamientos, etc. El diámetro externo es igual al interno, sumándole dos veces el espesor del tubo. *Unidades apropiadas: mm o cm.*

Sección transversal.- Es la forma geométrica del tubo viendo hacia el “hueco” por donde circula el agua. Normalmente en agua potable la sección tiene forma circular.

Área de la sección.- Equivale a la superficie que mide la sección transversal. Si es circular es igual a $3.1416 \times (Di)^2 / 4$, donde *Di* es el diámetro interno del tubo. Si *Di* se expresa en cm, el resultado estará en centímetros cuadrados. Unidades apropiadas: mm² o cm².

Espesor.- O grosor del tubo, es lo que mide la pared del tubo. Unidad apropiada: mm.

Volumen de agua.- Espacio tridimensional que ocuparía toda la cantidad de agua que ha pasado por el medidor durante un periodo de tiempo. Es decir, es agua que pasó por ahí entre dos fechas de lectura, o desde que se instaló el contador. El volumen de agua puede medirse en un recipiente apropiado a su magnitud (*probeta, cubeta, tinaco, cisterna, presa, etc.*). Unidades apropiadas: dm³ (igual que litro) o m³.

Volumen de un recipiente.- Capacidad para contener determinada cantidad de aire o líquido, en el interior del recipiente. O volumen de líquido actualmente almacenado en un vaso, cubeta, tubería, tinaco, cisterna, represa, etc. Unidades apropiadas: l (litros), m³ (metros cúbicos) o hm³ (hectómetros cúbicos).

Nivel del agua.- También llamado **tirante** o **altura**. Dimensión vertical del volumen de agua encerrado en algún recipiente o tubería (*siempre hay que aclarar sobre qué referencia se trabaja "metros sobre el nivel del mar"*). Unidad apropiada: cm (centímetros respecto al nivel de piso).

Velocidad.- Distancia que en promedio recorre una partícula de agua que atraviesa la "sección transversal" del tubo, durante un tiempo determinado. Unidad apropiada: m/s (metros entre segundo).

Periodo, plazo o tiempo.- Lapso de tiempo que se está considerando para el monitoreo o aforo del agua, o entre periodos de facturación de consumos. Unidad apropiada: minutos, horas, o días (*pero siempre especificando entre qué horarios, o entre cuáles dos fechas*).

Flujo.- Cantidad de agua que en promedio circula por un tubo durante un determinado lapso de tiempo. Unidades apropiadas: l /min (litros / minuto); o m³/s (metros cúbicos /segundo), o similares.

Presión.- Cantidad de fuerza que, por unidad de superficie (*contra las paredes internas del tubo*), ejerce la misma cantidad de agua. Puede entenderse como su "tendencia a escaparse" del recipiente que la contiene. También es la fuerza que permite que el agua suba a los tinacos u otras partes de la casa; o que salga con fuerza para hacer su trabajo (*mover un aspersor de riego, etc.*). Unidades apropiadas: bares o kg/cm² o metros de columna de agua.

Pérdida de presión o "pérdida de carga".- Cantidad de energía potencial o "fuerza" (*presión*), que emplea el agua para poder transitar por una tubería, la cual se pierde como calor. Las mermas usualmente ocurren por la fricción o rozamiento entre las mismas partículas de agua, o contra las paredes del tubo, cuando circulan dentro del mismo. Unidades apropiadas: similar a las de presión, o expresadas por unidad de longitud (o como un coeficiente, función del diámetro, la longitud, el material de la tubería, y la velocidad del agua; consultar por ejemplo fórmula de Hazen-Williams).

Precisión o rango de **errores** de un equipo.- Medida de la desviación de un aparato respecto a lo que debería marcar si fuese totalmente certero. Los medidores no miden los volúmenes con total exactitud, especialmente cuando el flujo está muy por arriba o por debajo de su gasto de diseño nominal. Unidades apropiadas: porcentaje (%) de diferencia respecto a la probable realidad.

Sin embargo, todos estos parámetros dependen de que los medidores estén en buenas condiciones; para ello deben recibir un mantenimiento adecuado.

Impacto de la micromedición en el consumo

Los organismos prestadores del servicio de agua, se enfrentan a graves problemas para proporcionar un servicio adecuado. Entre ellos destacan la falta de recursos económicos que impacta directamente en la disponibilidad suficiente de personal calificado para labores de lectura y mantenimiento mínimo del parque actual de medidores instalados; por lo tanto, la falta de información para evaluar con certidumbre la eficiencia de los sistemas de medición. Lo anterior restringe la ampliación de la cobertura de los servicios medidos. Ello provoca, a su vez, fallas en el suministro y desperdicios de agua.

Al desperdicio de agua en las ciudades también contribuyen los usuarios. Es innegable que la gran mayoría de los que disponen de agua en sus domicilios, en forma regular y permanente, no muestran conciencia y solidaridad con los que carecen de este privilegio.

El mal uso del agua no es sólo producto del desperdicio; también tiene que ver la tecnología empleada. Desde los diseños de los muebles y accesorios domésticos, hasta los procesos industriales que se requieren. En consecuencia, es imprescindible ejercer acciones que permitan regular el consumo por parte de los usuarios.

Una de estas medidas es el incremento en la cobertura de la micromedición. Éste se lleva a cabo con la instalación de equipos en las tomas domiciliarias. El objetivo es conocer el consumo real de los usuarios, para, de esta forma, evaluar la cantidad de agua no contabilizada que existe en el sistema.

Si se cuenta con medición de consumos, el sistema de cobro a los usuarios tiende a ser más equitativo: se paga lo que se consume y se reduce el volumen de pérdidas comerciales.

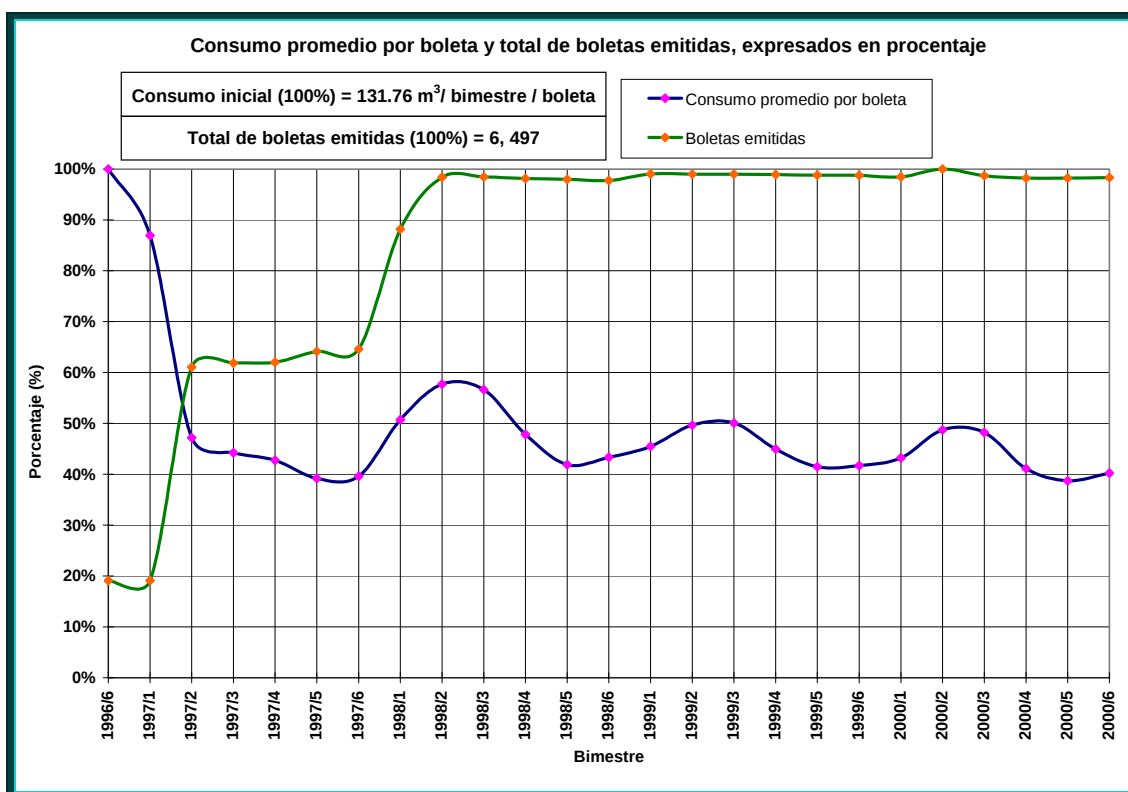
La instalación de la medición y el cobro correspondiente al consumo provoca, en la mayoría de los usuarios, una reducción en su consumo, de la cual una parte es estacionaria; es decir, depende de las condiciones de producción y del clima; el resto ya no regresa cíclicamente y representa el dispendio del usuario en el uso que hace del agua.

Esta hipótesis se puede constatar en los resultados obtenidos en una localidad en la que se llevaron a cabo trabajos de incremento en la cobertura de la micromedición. La figura 3.9 muestra el comportamiento que tuvo el consumo por boleta (usuario) a raíz del incremento en la cobertura de la micromedición, así como el avance de la cobertura.

En dicha localidad se tenía una cobertura de micromedidores, al inicio de los trabajos, de aproximadamente un 19 %; el objetivo era llegar a tener una cobertura de micromedición y de emisión de boletas del 100% de los usuarios.

El impacto de la posibilidad de medir los volúmenes consumidos y, por lo tanto, cobrar en función del consumo, generó una fuerte reducción en el consumo promedio por boleta (usuario) hasta de menos del 50%.

Figura 3.9. Impacto de la micromedición en el consumo



4. EFICIENCIA EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

El total de agua extraída de las fuentes de abastecimiento durante cierto periodo, para abastecer una ciudad, prácticamente nunca coincide con el total de volúmenes de consumo registrados por la micromedición entre los usuarios y, con bastante frecuencia, a los volúmenes facturados. Las causas son muchas, pero las principales son:

- ⇒ Usuarios que reciben agua pero no la pagan (parques, camellones, servicios exentos, tomas clandestinas, tomas extraviadas, lotes baldíos con llaves abiertas).
- ⇒ Clientes que pagan menos de lo debido (clientes morosos, conexiones con medidores trucados o con “by-pass”, mal instalados, descompuestos o que submiden).
- ⇒ Fugas en la red (roturas, dislocamientos, malas conexiones, válvulas con goteos, tanques fisurados).
- ⇒ Fugas en las tomas domiciliarias (agrietamientos, malas conexiones).
- ⇒ Usuarios sin medidores y estimaciones fallidas de sus consumos por cuota fija.

Es necesario poseer un sistema uniforme de información para evaluar y comparar situaciones en las que es menester revisar los costos del servicio y la eficiencia física en los sistemas de almacenamiento, conducción y distribución, para decidir estrategias que permitan evaluar el desempeño del prestador del servicio, para manejar como un solo concepto los volúmenes de agua perdidos por falta de medición, por morosidad, por clandestinaje o por desperdicios físicos.

A final de cuentas cualquiera de esas pérdidas está impactando, de igual forma, la capacidad financiera del prestador del servicio y posiblemente limite sus opciones para mejorar el servicio a los clientes.

Entonces, sin importar mucho la modalidad de las pérdidas, convendrá resolver y evitar las causas de mermas, fugas y desperdicios, es decir, de todo aquello que equivale a una ineficiencia en el desempeño del facilitador de los servicios de agua y saneamiento.

Hay que evitar la confusión de creer que las pérdidas son sólo fugas físicas de agua en la red. Se ha optado en varios países por llamarla mejor “agua no contabilizada” (ANC), entendiendo por ello el volumen de agua que no se logra medir y por tanto, en la mayoría de los casos, no se logra cobrar.

Bajo el esquema anterior, los costos invertidos en la extracción, conducción y distribución del agua no contabilizada, y posiblemente alcantarillado y saneamiento (abarcando en cada caso la infraestructura, la operación, el mantenimiento y la administración), podrían ser recuperados en la medida en que sean identificados y eliminados.

Es importante señalar que en los casos en los que el facilitador del servicio llevó a cabo la instalación de la micromedición y ésta ha dejado de ser precisa por razones de antigüedad, generalmente la facturación y pago del servicio están basados en estadísticas de la medición de años atrás, cuando el parque de medición era nuevo y preciso. La eficiencia física así determinada, no tiene sustento y está sujeta a importantes errores, además de la posible fragilidad del prestador de los servicios del agua ante reclamos de los usuarios en la emisión de las facturas.

La falta de renovación del parque de micromedición, debería estar soportada, por lo menos, con un trabajo de muestreo de consumos, así como por la determinación, también en muestreo, de la

precisión. No obstante, el prestador de los servicios debería soportar la “lectura muestreo” que permita justificar el estudio muestral de los consumos, en el caso que el ente regulador de los servicios autorice, al prestador de servicios del agua, a cambio de no invertir en la adquisición de medidores domiciliarios nuevos, la lectura selectiva de micromedición que represente al total de usuarios del servicio.

En la actualidad, sólo en ciudades con limitaciones importantes en el suministro y/o disponibilidad del agua, la instalación, mantenimiento y lectura de la micromedición son partes esenciales del aparato comercial del prestador de servicios del agua; por lo tanto, las eficiencias obtenidas en estas condiciones son confiables, y pueden apuntalar con precisión cualquier programa de desarrollo del prestador del servicio.

Por el contrario, los planteamientos de planeación de los servicios del agua en ciudades sin problemas de disponibilidad de agua, cuyos sistemas comerciales basados en tarifas fijas, sin medición domiciliaria, la sustentación de planes de desarrollo e inversiones en el sistema hidráulico se basan en eficiencias poco confiables. Así, las negociaciones en torno a recursos adicionales, dependen de las habilidades políticas de los directivos del organismo prestador de los servicios del agua, virtudes que en el mejor de los casos, poco o nada tienen que ver con las realidades del servicio del agua.

Tomando en cuenta lo mencionado, es importante inducir a los prestadores de servicios del agua, a la implementación de planes de expansión de los servicios basados en la medición, los cuales tienen la virtud de prever las condiciones limitantes de la explotación del recurso agua y de la demanda, todo esto contrastado con la capacidad financiera real del organismo ante un proyecto de inversiones.

4.1 Consumos autorizados y no autorizados

Las cantidades de agua que intervienen en el sistema de abastecimiento de una localidad, pueden ser clasificadas en tres grandes grupos:

- ✧ Agua captada, es decir, aquella que deriva de las fuentes de suministro y es aprovechada para el abastecimiento;
- ✧ Agua proporcionada al sistema de distribución o consumo del sistema de distribución: es el agua admitida por el sistema de distribución,
- ✧ Agua utilizada en el sistema de distribución, o sea, la que cumple su función útil sin retornar al sistema de abastecimiento.

En un sistema de abastecimiento ideal, las tres cantidades de agua serían iguales. Sin embargo, el consumo del sistema de distribución es inferior a la cantidad de agua captada. La cantidad de agua utilizada en el sistema de distribución es inferior al consumo de distribución.

La expresión matemática que establece la igualdad entre la cantidad de agua captada y la suma de las partes correspondientes a la cantidad de agua utilizada, más el agua no contabilizada, constituye la ecuación de balance del conjunto de unidades operacionales.

Naturalmente, cada una de esas partes puede ser expresada como una función de su medida, lo que acarrea factores a considerar en el balance como, por ejemplo, el intervalo para la obtención de datos por medio de las lecturas.

Debido a las diferentes características de los intervalos de lectura de los sistemas de producción y distribución, es usual establecer primero, por separado, el equilibrio del sistema de producción y el equilibrio del sistema de distribución, para después juntarlos, unificando las unidades.

En la figura 4.1 se representan los distintos consumos de una red de abastecimiento, separándolos en dos grupos principales: los consumos autorizados (con medición o sin ella) y los no autorizados (consumos clandestinos y fugas).

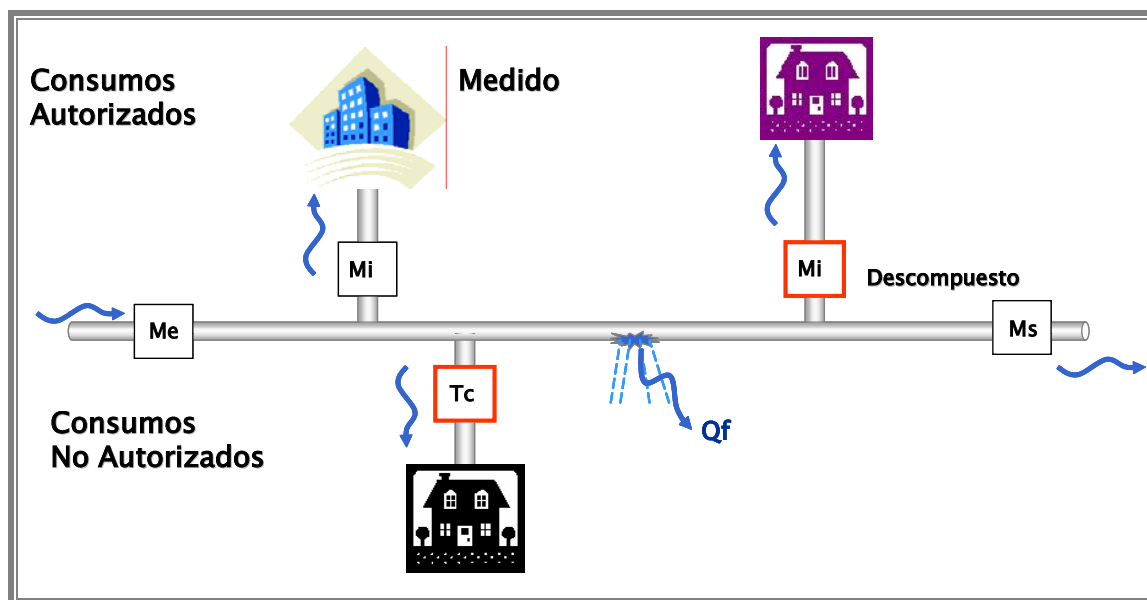


Figura 4.1. Red de abastecimiento

En la *Figura 4.1* se puede apreciar que los consumos autorizados están conformados por las tomas domiciliarias que se encuentran registradas; éstas pueden contar o no con un medidor e incluso el medidor puede o no estar funcionando. Los consumos no autorizados están formados por las tomas clandestinas, que son aquellas que no están registradas en un padrón de usuarios; a este rubro habrá que agregar las pérdidas físicas, conocidas como fugas, en la red del sistema de abastecimiento de agua potable.

Otra manera de entender los consumos autorizados y no autorizados, es igualarlos a los consumos que se pueden o no facturar por el organismo operador. En la siguiente tabla se muestra, de manera clara, qué volúmenes conforman cada uno de los tipos de consumo:

Volumen suministrado	Volumen de fugas	Volumen no facturado	Fugas en tomas domiciliarias	Volumen no cobrado
			Fugas en tuberías	
			Fugas en cajas	
			Usos clandestinos	
			Errores de medición	
			Errores de estimación de cuotas fijas	
	Volumen consumido		Errores de facturación	
		Volumen facturado	Volumen facturado no cobrado	
			Volumen facturado cobrado	Volumen cobrado

Fuente: Planeación de acciones de incremento y control de eficiencia en sistemas de agua potable, CONAGUA.

Aquí se observa claramente que la parte correspondiente a los consumos autorizados, o bien facturados, no está conformada únicamente por los consumos que pueden ser medidos por el organismo operador, sino también por los consumos estimados; el objetivo de un organismo operador deberá ser que todos los consumos autorizados sean medidos, para así evitar los errores de estimación de volúmenes, que como se ve en la tabla, forman parte de los consumos no autorizados.

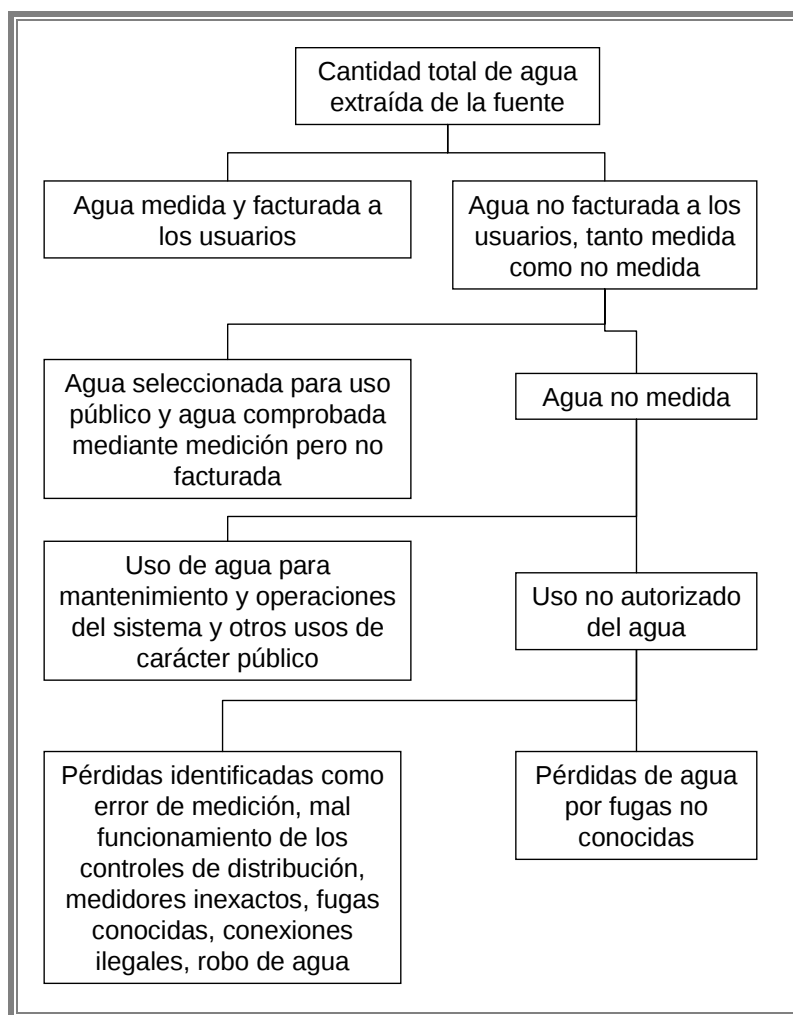
Por otra parte, los consumos no autorizados o no facturados están constituidos por elementos muy diferentes que deben ser abordados por distintos departamentos del organismo operador para poder abatirlos. Se pueden dividir en tres grupos, con base en su naturaleza: pérdidas físicas o fugas, errores en la medición y consumos clandestinos.

Es importante destacar que el agua facturada es aquella parte del agua suministrada, que es contabilizada y que, por lo tanto, representa una potencial fuente de ingresos para el organismo operador. Los niveles de facturación y recaudación alcanzados, son de fundamental importancia para medir el grado de eficiencia comercial de los Organismos Operadores. Por lo tanto, la calidad y cobertura del servicio que logre el organismo operador estarán, en gran medida, determinadas por sus niveles de recaudación, lo que le permitirá hacer frente a los gastos que ello implica.

4.2 Balance de agua.

En una red de abastecimiento de agua potable existen dos tipos de consumos: los consumos autorizados, que son los registrados por el organismo operador, y los consumos no autorizados, que están compuestos por los consumos clandestinos y las pérdidas de agua debidas a fugas en la tubería, así como a errores en la medición.

La *Figura 4.2* presenta un diagrama del flujo de agua que entra a través de un sistema y puede tomarse como marco de referencia para medir el agua desperdiciada por los organismos de servicio de agua.



Fuente: WATERGY, Adaptado de Xie, Kuffner y Le Moigne 1993, p. 25.

Figura 4.2. Sistema de medición de agua

En las grandes ciudades es usual tener distritos hidrométricos ya establecidos e instrumentados, como se mencionó en el capítulo anterior. Esto es conveniente dado que hace posible registrar en forma sistemática los volúmenes de entradas y salidas a la zona, teniendo en cuenta los componentes mencionados de la red, así como una cobertura de 100% de los volúmenes manejados y consumidos, respectivamente, en la macromedición y micromedición. La ecuación general de balance para un intervalo de tiempo, se escribe como sigue:

$$Q_e = Q_{com} + Q_{cc} + Q_f + Q_s \dots \dots \dots (1)$$

donde:

- Q_e , gasto macromedido de entrada al distrito hidrométrico
- Q_s , gasto macromedido de salida del distrito hidrométrico
- Q_{com} , gasto micromedido de consumo en el distrito hidrométrico
- Q_{cc} , gasto de consumos clandestinos del distrito hidrométrico
- Q_f , gasto de fugas en el distrito hidrométrico

Teniendo en cuenta las consideraciones arriba señaladas, la exactitud en la medición de los volúmenes contemplados está sujeta a errores de los equipos empleados; una auditoría a la macro y micro medición permite obtener los coeficientes de corrección, llegando así a la siguiente ecuación de balance:

$$K_0E - K_1S = a_0Q_{com} + a_1Q_{cc} + a_2Q_f \dots \dots \dots (2)$$

donde:

- E, volumen macromedido de entrada al distrito hidrométrico
- S, volumen macromedido de salida del distrito hidrométrico
- Q_{com} , volumen micromedido de consumo del distrito hidrométrico
- Q_{cc} , volumen de consumos clandestinos del distrito hidrométrico
- Q_f , volumen de fugas en el distrito hidrométrico en análisis
- K_0 y K_1 , correcciones a la macromedición.
- a_0 , correcciones a la micromedición.
- a_1 y a_2 , coeficientes de ajuste a determinar.

El volumen entregado, es la parte del volumen producido, proporcionado al sistema de distribución de la localidad considerada. En un caso más general, el volumen entregado al sistema de distribución de una localidad, coincide con la suma de los volúmenes producidos por las unidades de potabilización locales, considerando despreciables las pérdidas en la conducción y potabilización.

Los volúmenes entregados a la entrada de un distrito hidrométrico resultan de la suma de los volúmenes producidos por las diversas unidades de potabilización de agua, en el mismo intervalo de tiempo ($E = E_1 + E_2 + \dots + E_n$).

En las Figuras 4.3 a 4.5, se muestran tres formas usuales de abastecimiento a la red de distribución.

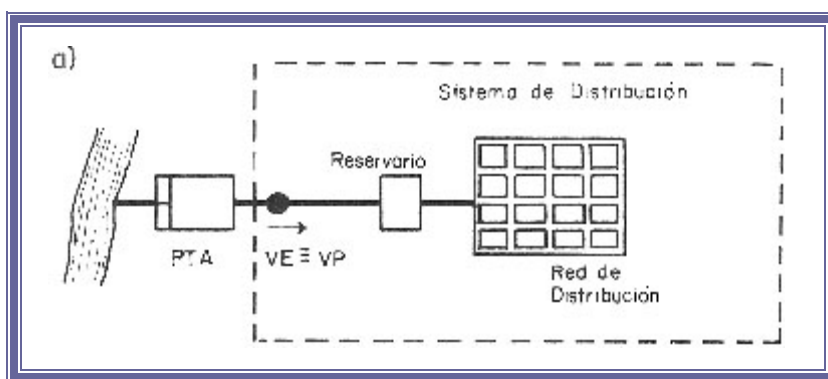


Figura 4.3. Volumen Entregado

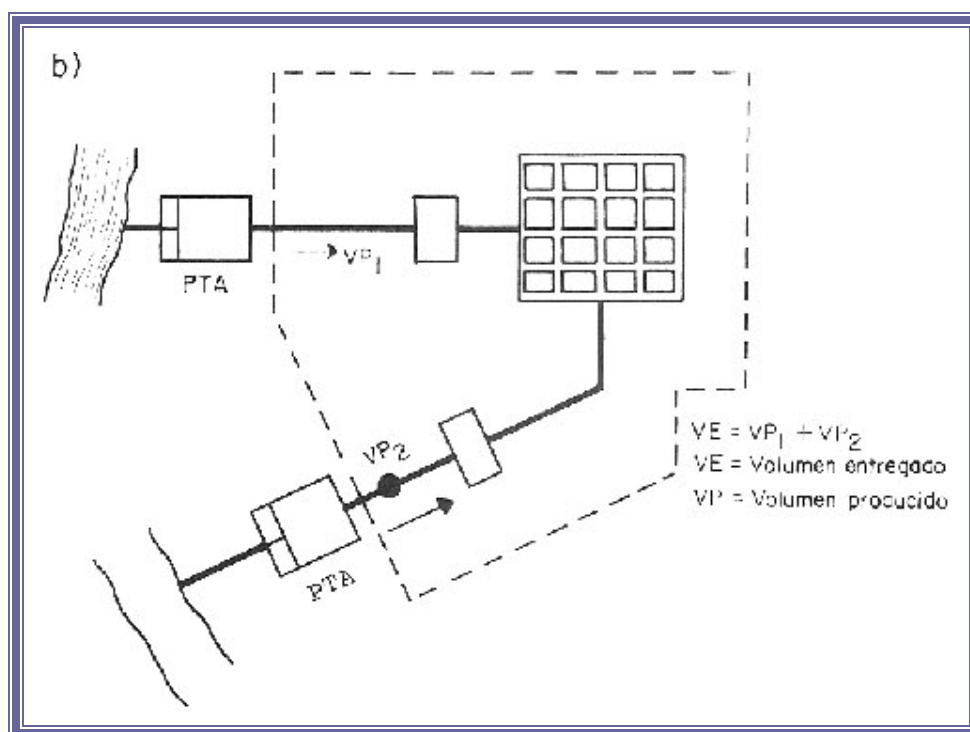


Figura 4.4. Volumen Potabilizado Entregado

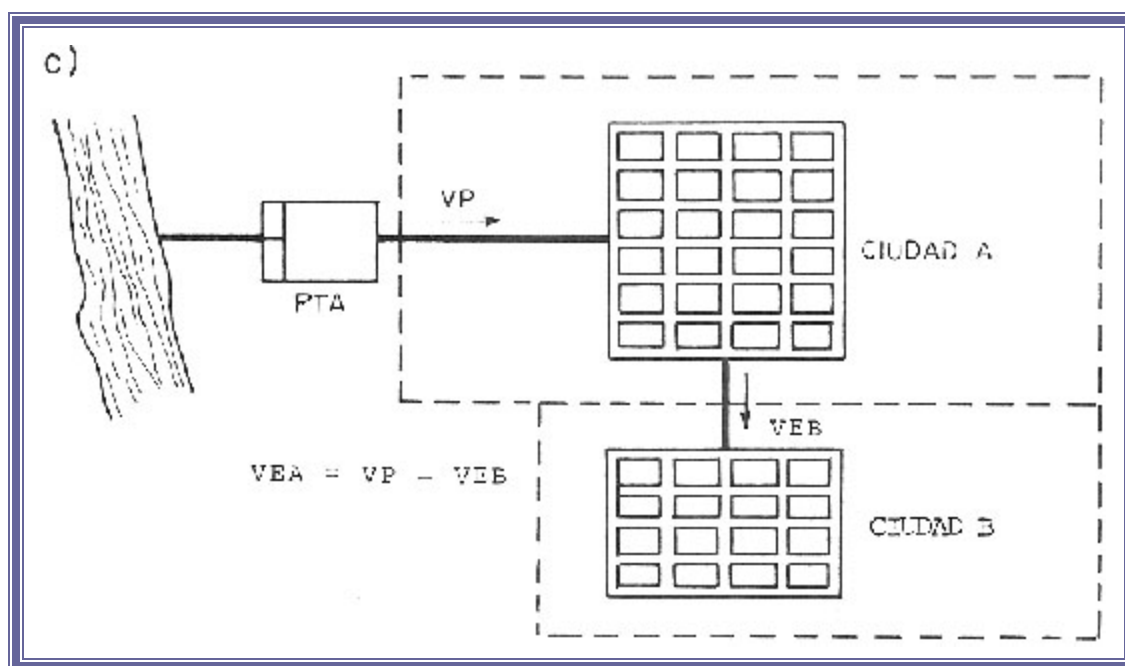


Figura 4.5. Volumen Entregado a la Distribución

Los volúmenes entregados a los sistemas de distribución constituyen un parámetro importante a ser considerado en la realización del balance. Su determinación debe ser circundada por importantes cuidados, entre los cuales se pueden destacar:

1. Los puntos de medición del volumen entregado deben estar situados aguas abajo de las plantas potabilizadoras de agua y aguas arriba de cualquier salida de agua a los usuarios. De preferencia, los medidores deberán estar situados aguas arriba de los tanques de

distribución, teniendo en cuenta la necesidad de contabilizar el rebosamiento de los mismos.

2. Los volúmenes entregados deben ser medidos permanentemente. Los procesos de estimación conllevan frecuentemente errores, mismos que deben ser evitados teniendo en cuenta que las medidas de los volúmenes entregados son la base de todo el balance.
3. Los medidores deben ser revisados periódicamente, en cuanto a su precisión, a fin de que sean minimizadas las posibilidades de fallas o errores en el sistema de medición.
4. Estas verificaciones de precisión deben ser hechas en el campo, utilizando equipo auditor, procedimientos y personal debidamente certificados, por ejemplo, tubos Pitot, o procesos de cubicación en tanques de distribución.
5. Los volúmenes de agua entregada deben ser leídos de preferencia diariamente, lo que permite corregir de manera oportuna las fallas que se presenten.
6. Un proceso adecuado para hacer el seguimiento de los volúmenes promedios diarios extraídos de un medidor, consiste en comparar diariamente esos caudales con los del mes anterior. Para abundar más en el proceso, éste consiste en lo siguiente:

El consumo micromedido corresponde al agua consumida por la totalidad de las instalaciones prediales: residenciales, industriales, comerciales e institucionales. El consumo de las instalaciones prediales con micromedición, puede ser estimado simplemente leyéndose los volúmenes totalizados en los micromedidores, a intervalos de tiempo bien definidos. Estas mediciones deben estar vinculadas a un listado o base de datos de usuarios, el cual asocie el consumo, a un usuario y su historial; esta información, denominada también “padrón de usuarios”, antes descrito, debe estar actualizada y disponible.

En el caso de las instalaciones prediales registradas en el padrón, pero no contempladas con micromedición o con medidores inoperantes, se debe estimar el consumo teniendo en cuenta, para esto el tipo de usuario, el diámetro de toma, entre otros. El consumo estimado es obtenido de una muestra representativa de usuarios, semejante al caso en estudio, pero con medidores en operación y lecturas disponibles. Para ello, se considera un consumo fijo por cada conexión predial, de conformidad con lo establecido en el sistema comercial del organismo operador. Los volúmenes obtenidos con la micromedición, están generalmente sujetos a error por medir menos o más volumen del consumido, o bien por el comportamiento de los medidores; por ello es necesario realizar un estudio que determine el error promedio por rango de consumo.

Para efectos de la metodología que se aborda en los siguientes capítulos de esta tesis, en la variable Q_{com} (volumen micromedido de consumo del distrito hidrométrico) deberán estar incluidos los usos públicos del agua, en el caso de que se tenga una buena estimación de ellos; de lo contrario, deberán incluirse en los consumos no autorizados como pérdidas físicas. También se incluirán las estimaciones que se hagan de los usuarios que no tienen medidor instalado, como se describe antes; es evidente que en una situación ideal, no deberían de existir usuarios sin medidor.

El consumo del sistema público de distribución consiste en la suma de los consumos especiales, operacionales y de la pérdida de agua ocurrida en esa parte del sistema de distribución. Los consumos operacionales del sistema de distribución consisten en las cantidades de agua utilizadas para la descarga de las líneas de conducción, limpieza y desinfección de tanques de almacenamiento y tuberías, entre otros.

Todas las magnitudes enumeradas, que forman parte del balance, se deben referir a un mismo período. Cuanto más largo sea este período, permitirá una obtención más confiable de datos. Sin embargo, cuando los períodos son más cortos, es mejor el seguimiento que se puede hacer de los consumos y, por consiguiente, son más rápidas las acciones que se pueden desencadenar, con miras a una optimización del servicio de agua.

Normalmente, el período mínimo adoptado por el sistema de micromedición es de un mes, debido a las dificultades en la obtención de datos en períodos menores; sin embargo, en el caso de sectores de red con dimensiones y número de usuarios con medidor que lo permitan, las lecturas deben ser realizadas con intervalos de tiempo menores a un mes.

Si las dimensiones de un sector en análisis, facilitasen la lectura de todos los usuarios en una jornada diaria, la lectura de los micromedidores se haría generalmente en un periodo igual o superior a un día y el intervalo de tiempo entre dos lecturas sucesivas sería, en general, de dos meses. Por otra parte, la lectura en los macromedidores es continua, por lo que se dispone de datos en intervalos hasta de 15 minutos; esto señala un desfase importante que es necesario ajustar. Para poder realizar un balance del agua, es necesario minimizar el efecto producido por este desfase, manejando, en cada balance, los datos acumulados hasta la fecha de la macro y micromedición; de esta forma, el efecto del desfase se amortigua con el paso del tiempo, ya que la falta de este volumen en la micromedición en porcentaje, deja de ser importante respecto al volumen acumulado.

Se puede demostrar que el intervalo de tiempo de análisis del balance necesario, tiende a crecer si el volumen de desfase crece; por lo tanto, si se desea que el porcentaje que representa el volumen de desfase sea pequeño (tender a cero) respecto del volumen total acumulado en el intervalo de balance, la tendencia deberá concluir en que el intervalo de tiempo entre cada balance, crezca. Es importante señalar que, considerando los volúmenes de posibles errores en la macro y la micro medición, el volumen de desfase no debe constituir un error más en el balance y su precisión.

Una forma alternativa es considerar la suma del consumo promedio por usuario, durante el periodo de desfase; esto también representa un error que depende de la dispersión del consumo medio por usuario. Por ello, la extensión y el número de usuarios de un distrito hidrométrico, debe tener en cuenta el tiempo que se emplee en la lectura del total de medidores del distrito hidrométrico. Ésta debería convertirse en una máxima en la determinación del tamaño del distrito hidrométrico.

La determinación de Q_{cc} , Q_f , K_0 , K_1 , a_0 , a_1 y a_2 forma parte del desarrollo de la metodología y es abordada en el capítulo 5 de este documento.

4.3 Agua no contabilizada.

El agua no contabilizada (*unaccounted for water, UFW*) sirve para representar la *eficiencia general* de la empresa; o al menos es reconocido por muchas instituciones como uno de los principales indicadores de eficiencia de un servicio de agua y saneamiento. Debe ser una preocupación fundamental de cualquier directivo y departamento de la institución, el trabajar para mantenerlo en los niveles más bajos posibles.

Entre menor sea la diferencia entre el volumen de agua suministrada y el volumen de agua registrada y facturada, se considera que la empresa tiene un grado de eficiencia física alto.

Ciudades como París (Francia) y Los Ángeles (E.U) tienen un porcentaje de agua no contabilizada (ANC) de alrededor del 10%. Varias ciudades de Inglaterra tienen un índice de ANC entre 10 y 20%, y se siguen considerando eficientes. En Estados Unidos el índice se encuentra entre un 10 y un 30%, lo cual empieza a mostrar algunos grados de ineficiencia, y en Latinoamérica tenemos porcentajes que fluctúan entre el 30 y el 80%, considerados como demasiado altos, lo que muestra la ineficiencia con la que trabajan la mayoría de los organismos operadores.

En México, las causas que conllevan a que este índice sea menor o mayor se agrupan en tres categorías generales. La primera está conformada por las pérdidas debidas a errores de medición; la segunda, por las fugas en la red de distribución y en las tomas domiciliarias; éstas representan el 60%. La tercera causa se relaciona con la falta de pagos, subsidios, errores en el padrón y tomas clandestinas, que representan el 40%. El porcentaje de agua no contabilizada para 2005 a nivel nacional fue de 42%; esta información fue obtenida de 190 organismos operadores.

Para CONAGUA, el agua no contabilizada se calcula como el cociente, expresado en porcentaje, del volumen de agua no facturado (volumen producido - volumen facturado), entre el volumen producido en el año.

El agua no contabilizada equivale a la: *diferencia* entre el *volumen de agua aportado* y el *volumen vendido* (unidades de medida $m^3/día$, hm^3/mes , o similar). Pero para facilitar su comparación suele manejarse como un indicador en términos dimensionales, en *porcentaje*, que se calcula como sigue:

$$ANC = 100 (V_s - V_v) / V_s$$

Donde:

V_s .- volumen suministrado en el periodo de tiempo

V_v .- volumen vendido durante ese mismo periodo

En ocasiones también es útil representar al UFW como el promedio diario de agua no cobrada por kilómetro de tubería (longitud de la red de distribución únicamente), es decir, en unidades: $m^3 / Km. / día$

$$UFW_0 = (V_s - V_v) / L$$

Donde:

V_s .- volumen suministrado en un día, en $m^3/día$.

V_v .- volumen vendido durante un día, en $m^3/día$.

L .- longitud de tubería del sistema de distribución, en km.

UFW_0 .- Agua no contabilizada, en $m^3 / Km. / día$

Deber quedar muy claro que el UFW incluye tanto pérdidas físicas (*roturas de tuberías, derrames*), como pérdidas comerciales (*submedición de consumos, conexiones clandestinas, fraudes, errores, omisiones en facturación y consumos públicos no cobrados*).

Ante esto, resulta claro que el departamento de lecturas de medidores juega un papel primordial en la empresa y tiene una responsabilidad muy importante.

Existen estadísticas y evidencias claras que para países con menor desarrollo, como México, son bastante más exitosos, sencillos, rápidos y de mucho mayor impacto los programas que, sin descuidar la solución de fugas y roturas importantes y evidentes, atacan de forma decidida las cuestiones relativas a las *pérdidas comerciales* (*comerciales*), tales como malos sistemas comerciales, falta de cobranza, morosidad, clandestinaje, falta de medición o imprecisión en facturaciones, mal estado de medidores, etc.

El rango medio de UFW (ANC) en los países en vía de desarrollo incluidos en esta muestra, es el 37 %, más del doble del porcentaje considerado como aceptable en países industrializados (menos del 20 %). El rango más alto se encontró en Bursa, Turquía, con el 62 % y el más bajo en Abidjan, Costa de Marfil, con el 17 %. Los datos de UFW deben ser interpretados con cuidado, pues las proporciones UFW no son más que estimaciones generales, y a menudo no se adhieren a la definición proporcionada arriba.

El UFW (ANC) esta formado por dos componentes principales: físico [el tubo con rotura y los desbordamientos en tanques de almacenamiento] y comercial [la medición de conexiones registradas, ilegales, etc.]. Un buen entendimiento del peso relativo de estos componentes es una condición para el desarrollo de un programa sano de reducción del UFW. En la *Tabla 4.1* se muestran algunos ejemplos de esto:

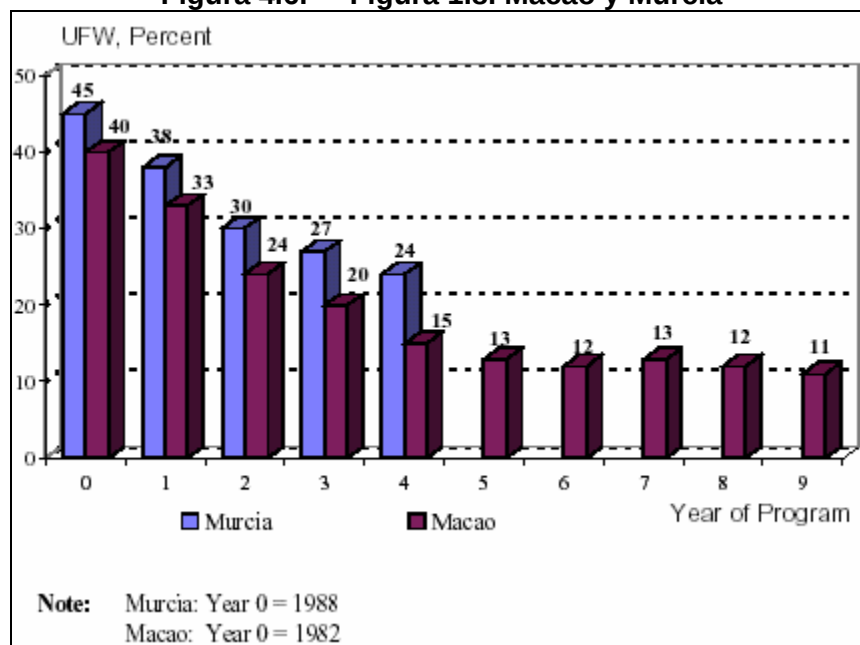
Tabla 4.2 Valores de UFW

<i>Country/City</i>	<i>Year</i>	<i>Composition of UFW (%)</i>		
		<i>Physical</i>	<i>Commercial</i>	<i>Total</i>
Singapore	1989	4	7	11
Spain, Barcelona	1988	11	12	23
Colombia, Bogota	1991	14	26	40
Costa Rica, San Jose	1990	21	25	46

Fuente: Edición TWUWS de los indicadores de las utilidades del agua y de las aguas residuales 2da edición, 1996

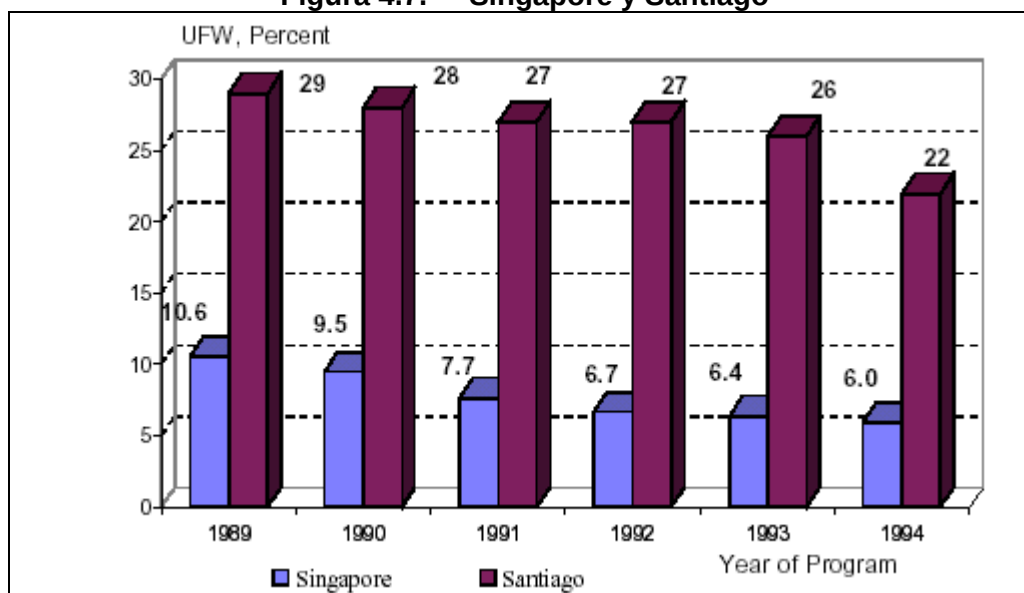
A continuación se presenta un ejemplo de cuatro programas de reducción de UFW (ANC) (*Figuras 4.6 y 4.7*). Estos programas comparten una característica: el esfuerzo inicial fue dirigido a la reducción de las pérdidas comerciales: los usuarios fueron identificados; el sistema comercial (la lectura de medición y la facturación) fue renovada; los medidores defectuosos fueron substituidos y el número de conexiones medidas aumentó considerablemente. La reducción de pérdidas físicas también fue parte del programa de reducción de UFW, pero ésta fue iniciada después de las acciones de tipo comercial.

Figura 4.6. Figura 1.8. Macao y Murcia



Fuente: WATERGY, Adaptado de Xie, Kuffner y Le Moigne 1993

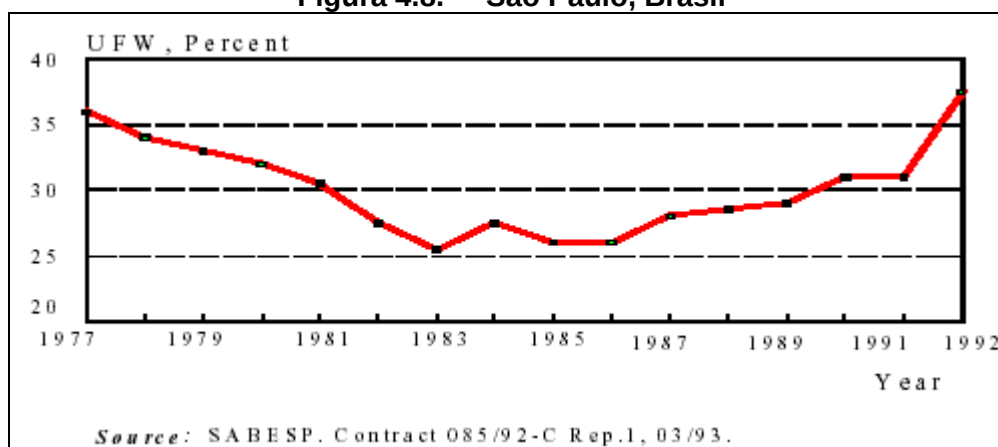
Figura 4.7. Singapore y Santiago



Fuente: WATERGY, Adaptado de Xie, Kuffner y Le Moigne 1993

Los niveles de UFW se pueden deteriorar fácilmente cuando el control sobre operaciones y el mantenimiento del sistema comercial y de los subsistemas de software que regulan los niveles de productividad, no es constante y correcto. En el caso particular de Sao Paulo, Brasil, el deterioro es debido a una relajación en las políticas y en la responsabilidad (*Figura 4.8*). El caso de Bogotá, Colombia, muestra las consecuencias de un programa que no fue implementado correctamente desde su arranque (*Figura 4.8*).

Figura 4.8. Sao Paulo, Brasil



Fuente: WATERGY, Adaptado de Xie, Kuffner y Le Moigne 1993

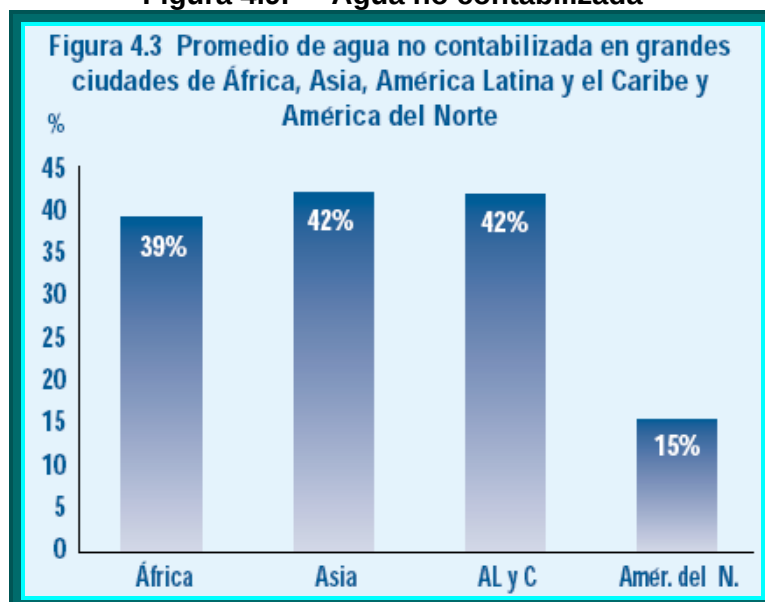
La grafica anterior resalta la importancia de que el organismo operador se dé cuenta de que es vital no perder la continuidad en los programas implementados para la reducción de agua no contabilizada, aunque ya se hayan alcanzado las metas planteadas al inicio de éstos.

Como se ha hecho evidente, el agua no contabilizada (ANC) no es un problema que únicamente afecte a México; en la *Figura 4.9*, podemos apreciar índices de agua no contabilizada en diversas regiones del mundo; el estudio está basado en el análisis de algunas grandes ciudades:

Este estudio se realizó con base en cuestionarios aplicados en grandes ciudades de las regiones incluidas en la *Figura 4.9*, sin embargo, las respuestas a los cuestionarios arrojan que la principal

parte del agua no contabilizada está conformada por las pérdidas físicas; esto, como se verá más adelante, no se cumple siempre.

Figura 4.9. Agua no contabilizada



Fuente: Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000

Utilizando la misma información que se emplea para calcular el agua no contabilizada, se pueden obtener distintos índices de eficiencia, considerando que el soporte de la micromedición se refiere al total de micromedidores instalados de un organismo operador. Estos índices son:

1. Eficiencia Comercial (Ec)

$$EC = \frac{\text{RECAUDACIÓN}}{\text{MONTO FACTURADO}}$$

2. Eficiencia Física (Ef).

$$EF = \frac{\text{VOL. ENTREGADO}}{\text{VOL. PRODUCIDO}}$$

3. Eficiencia Total (Et) O Global

$$ET = \text{EFIC. COMERCIAL} \times \text{EFIC. FÍSICA}$$

4.4 Índices de agua no contabilizada

Como se mencionó antes, CONAGUA calcula el agua no contabilizada (ANC) como el cociente, expresado en porcentaje, del volumen de agua no facturado (volumen producido - volumen facturado) entre el volumen producido en el año.

$$ANC = \frac{\text{Volumen producido} - \text{Volumen facturado}}{\text{Volumen producido}}$$

En la Tabla que se muestra a continuación, se presenta un resumen de la situación de cobertura del servicio de agua potable, dotación media y agua no contabilizada, en algunas localidades con

población mayor a 50 mil habitantes, de la República Mexicana. El agua no contabilizada se calculó con el criterio de CONAGUA.

Tabla 4.2 Agua no contabilizada en la República Mexicana

Edo.	Localidad	Población atendida		Caudal producido (L/s)	Dotación media (L/hab/día)	Agua no contabilizada (%)
		(hab)	(%)			
AGS	Aguascalientes	659 701	99	2 599	337	44
	Calvillo	49 415	97	176	298	55
BC	Mexicali	681 473	99	2 544	319	12
	Tecate	72 855	98	271	316	17
	Tijuana	1 431 839	94	3 339	189	19
BCS	Paz, La	179 825	98	895	421	45
CHIS	Tapachula de Córdova Ordoñez	183 068	93	860	377	59
CHIH	Chihuahua	664 912	94	3 178	388	41
	Cuauhtémoc	88 368	99	296	287	44
	Hidalgo del Parral	96 040	92	296	245	31
COAH	Ciudad Acuña	138 196	99	650	402	47
	Francisco i. Madero	59 283	96	140	196	38
	Monclova	257 768	95	1 161	370	53
	Piedras Negras	147 798	99	714	413	50
	Sabinas	112 407	99	461	351	50
	Saltillo	613 494	98	1 232	170	64
	San Pedro	70 732	95	204	237	34
	Torreón	518 234	98	2 297	375	54
COL	Manzanillo	126 737	98	678	453	56
DGO	Ciudad Lerdo	78 534	95	388	406	57
	Gómez Palacio	224 661	99	1 221	465	62
	San Felipe	51 267	94	257	407	67
	Victoria de Durango (Durango)	425 200	97	2 421	477	61
GTO	León de los Aldama	1 086 298	98	2 580	201	43
	San Francisco del Rincón	72 980	98	272	316	57
	San Miguel de Allende	63 840	98	280	371	49
GRO	Acapulco de Juárez	593 078	90	2 515	330	62
	Iguala de la Independencia	93 115	85	264	208	47
	Taxco de Alarcón	47 382	89	135	219	63
	Zihuatanejo	53 655	80	378	487	48
HGO	Pachuca de Soto	265 751	95	1 311	405	48
	Tula de Allende	56 748	80	240	292	52
	Tulancingo	88 541	90	330	290	49

Edo.	Localidad	Población atendida		Caudal producido (L/s)	Dotación media (L/hab/día)	Agua no contabilizada (%)
		(hab)	(%)			
JAL	Guadalajara	3 408 488	93	9 096	214	32
	Puerto Vallarta	201 516	96	970	399	32
MEX	Ciudad López Mateos	522 084	99	1 473	241	36
MOR	Cuautla	149 790	95	423	232	43
NAY	Tepic	265 551	95	1 559	482	42
NL	Cadereyta Jiménez	73 086	96	224	254	48
	Ciudad Monterrey	3 502 636	99	10 917	267	33
	Linares	59 348	95	262	362	56
PUE	Atlixco	77 347	92	364	374	43
	Cholula de Rivadavia	74 633	98	136	154	52
	Heroica Puebla de Zaragoza	1 605 391	98	3 624	191	35
	San Martín Texmelucan de Labastida	75 647	98	168	188	55
PUE	Tehuacán	204 433	90	944	359	38
QRO	San Juan del Río	145 777	92	491	268	37
	Santiago de Querétaro	621 859	98	2 431	331	54
QROO	Bacalar	154 379	98	595	326	61
	Playa del Carmen	87 191	97	278	267	28
SLP	Ciudad Valles	100 280	92	400	317	51
	San Luís Potosí	782 069	92	3 145	320	40
SIN	Culiacán Rosales	579 138	99	2 043	302	37
	Guamúchil	57 321	99	223	333	31
	Mazatlán	344 794	98	1 303	320	31
	Mochis, Los	207 681	99	885	364	36
SON	Agua Prieta	71 020	98	320	382	43
	Hermosillo	619 220	97	2 703	366	51
	Heroica Nogales	165 628	88	739	339	31
TAB	Villahermosa	353 783	98	2 400	574	68
TAMPS	Ciudad Mante	93 148	98	323	294	39
	Ciudad Río Bravo	84 462	95	320	311	45
	Ciudad Victoria	270 458	99	821	260	28
	Heroica Matamoros	424 620	96	1 800	352	26
	Nuevo Laredo	356 605	98	1 800	427	50
	Reynosa	458 020	93	1 866	327	38
	Tampico	495 657	98	2 900	495	48

Edo.	Localidad	Población atendida		Caudal producido (L/s)	Dotación media (L/hab/día)	Agua no contabilizada (%)
		(hab)	(%)			
TLAX	Tlaxcala de Xicohtencatl	77 587	98	220	240	59
VER	Coatepec	60 261	98	235	330	51
	Coatzacoalcos	256 081	98	788	261	30
	Córdoba	123 902	89	643	399	73
	Minatitlán	140 530	95	546	319	58
	Papantla de Olarte	52 571	89	138	202	70
	Poza Rica de Hidalgo	147 129	91	612	327	57
	Tierra Blanca	45 654	90	153	261	63
	Veracruz	534 993	98	2 194	347	40
	Xalapa-Enríquez	342 771	88	1 530	339	56
YUC	Mérida	758 873	98	2 800	312	66
ZAC	Fresnillo	102 012	95	463	373	54
	Zacatecas	226 237	98	782	293	48

Fuente: CONAGUA, datos del 2005.

NOTAS:

1. La población atendida se calcula con base en las localidades reportadas por los encargados de los servicios, aplicando a éstas las cifras del XII Censo General de Población y Vivienda del INEGI y las proyecciones sugeridas por el CONAPO.
2. La dotación media se obtiene a partir del caudal producido y la población total de la(s) localidad(es) atendida(s).
3. El agua no contabilizada es el cociente, expresado en porcentaje, del volumen de agua no facturado entre el volumen de agua producido en el año.

5 METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO DE UN DISTRITO HIDROMÉTRICO

5.1 INFORMACIÓN

La aplicación de la metodología que se describe a continuación, depende de la disponibilidad de información actualizada y confiable sobre el catastro de red de abastecimiento de agua potable; de los usuarios y sus consumos actuales e históricos; de la medición de volúmenes de entrada y salida del distrito hidrométrico así como de las características de precisión de los aparatos. Se debe constatar que se ha realizado la totalidad de pruebas de “hermeticidad” del Distrito, de forma tal que se afirme que “el total de gastos que entran o salen del distrito, son medidos”.

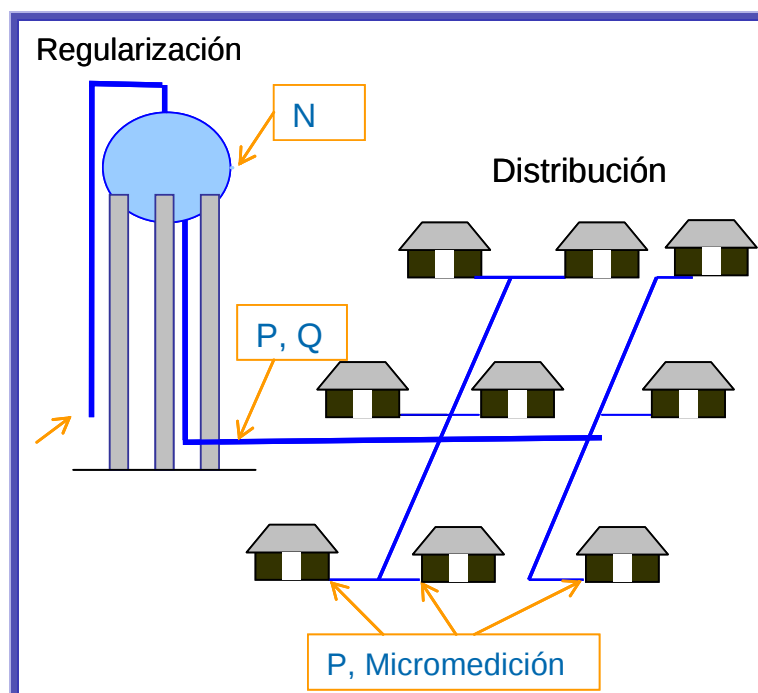
Por la magnitud de inversión que se requiere para su adquisición, mantenimiento, sustitución y lectura, así como por la cobertura en el área del distrito hidrométrico y su impacto en los ingresos por el cobro de los servicios, la micromedición representa una variable de gran importancia; por ello, es abordada con énfasis en esta tesis.

A continuación se describen las características de la información utilizada en el análisis:

1. *Planos del Distrito Hidrométrico con la ubicación de Usuarios, la micromedición histórica del consumo por bimestre de cada usuario (por lo menos 1 año), incluyendo el número de habitantes por toma / usuario*

Está información es de vital importancia, dado que permite obtener el tipo de usuario o usuarios y rangos de consumo representativos del Distrito Hidrométrico.

En la *Figura 5.1*, se muestra la ubicación estratégica del tipo de variable a medir.



Donde: N: nivel, P: presión, Q: caudal

Fuente: IMTA

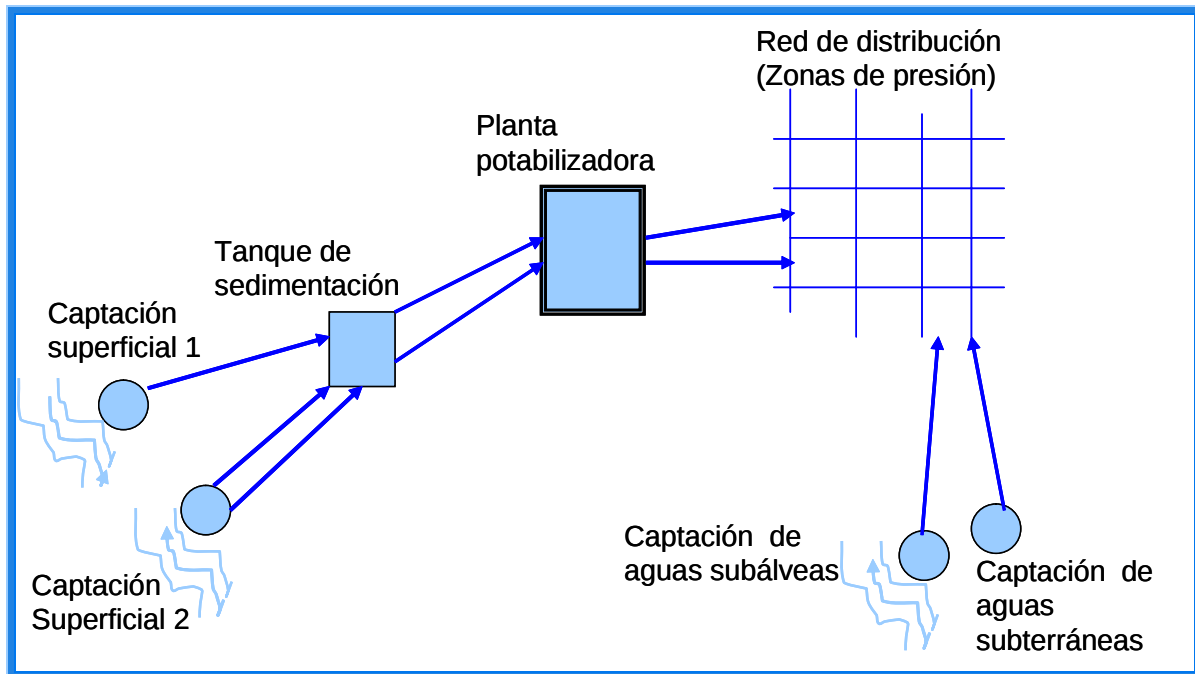
Figura 5.1 Esquema de un sistema de distribución y la medición

2. Macromedición de entrada y salida del Distrito Hidrométrico

Las mediciones registradas a la entrada y salida de un distrito hidrométrico permiten deducir el total de agua consumida en el distrito hidrométrico, así como la evolución en el tiempo de este consumo.

El volumen resultante, consumido en el distrito hidrométrico, incluye los consumos de los usuarios, las fugas y el clandestinaje.

La Figura 5.2 muestra el esquema del sistema de abastecimiento, y se presentan los puntos con macromedición.



Fuente: IMTA

Figura 5.2 Esquema del sistema de abastecimiento

3. Reporte de micromedidores dañados; estadísticas

La base de datos con los reportes bimestrales de cada "Usuario Registrado" en el distrito hidrométrico, permite identificar físicamente a los usuarios a nivel de "Toma Individual", así como de "Toma General" con problemas de lectura. El análisis de la base de datos y la estadística de las causas y efectos del deterioro o del daño en los equipos; permitirán una definición más precisa del número de micromedidores en condiciones óptimas de servicio. Las causas y efectos más importantes son:

- ✧ desajustes por desgaste o falla de alguna pieza.
- ✧ envejecimiento natural y término de la vida útil.
- ✧ carátula borrosa, desarticulada, vidrio roto.
- ✧ mala calidad de los aparatos instalados originalmente.
- ✧ entra agua a cámaras o mecanismos que deberían ser herméticos.
- ✧ arena, basura u objeto que se introdujo al aparato.
- ✧ cedazo taponado.
- ✧ caja protectora de piso difícil de abrir (*atorada, zafada, enterrada*) o rota, medidor cubierto de tierra.

- ✧ desgaste por velocidades muy fuertes del agua en el interior o arena en el agua.
- ✧ golpes de ariete, expansiones de aire, cavitación, etc.
- ✧ vandalismo, daños intencionales.
- ✧ envejecimiento de algunas partes que pueden renovarse, sin cambiar todo el aparato.
- ✧ corrosión o incrustación, por la propia calidad del agua.
- ✧ intemperismo y cambios climáticos bruscos.
- ✧ efectos externos (*electricidad estática, magnetismo inducido*), que aceleren la corrosión, o daños a componentes magnéticos o electrónicos.
- ✧ golpes, mala instalación, desgaste por mala posición.
- ✧ tecnología anticuada que conviene mejorar.
- ✧ lograr afinidad o compatibilidad con refacciones o tecnología disponible actualmente.
- ✧ etc.

La importancia de tener estadísticas de ocurrencia de cualquier de las fallas ya mencionadas; permite determinar con mayor exactitud el número esperado de medidores no funcionales y, de esta forma, ajustar el muestreo que se deberá hacer para conocer el error en la medición.

4. Auditoría de macromedición y micromedición o pronóstico de posibles errores por rango de consumo a cada 10 m³, o menor.

Todos los medidores de flujo tienen piezas móviles; éstas se desgastan, se alteran, las incrustaciones arruinan el medidor, y es necesario hacer pruebas o reemplazos periódicos para asegurar su exactitud y funcionamiento apropiados.

Los medidores del agua, como la mayoría de dispositivos, se calibran, incluso cuando son nuevos, y es probable que no sean siempre exactos y confiables.

Puede encontrarse un número importante de tipos de equipos instalados y a cargo de las áreas de lecturas o de medidores, que requieren inspección, mantenimiento, calibración y renovación cada determinado tiempo. Además de las muchas marcas y modelos de aparatos medidores (contadores volumétricos) que pueden existir, hay varios otros equipos de uso rutinario que igualmente se desgastan o descomponen. Entre ellos: pilas eléctricas, pistolas lectoras, transmisores magnéticos, cables, data-loggers, graficadores (plumas, tintas), conexiones telefónicas, manómetros, etc.

Cuando el servicio en el Distrito Hidrométrico es “tandeado”, con interrupciones frecuentes, se produce el “vaciado” en las tuberías de distribución, de tal forma que al reiniciarse la entrega de agua las tuberías se “llean”, desplazando el aire de la tubería de la red de distribución a la toma del usuario y de allí al medidor; por ello, está bien fundada la preocupación de los abonados a los que se les está cobrando el aire que se desaloja cuando se llenan nuevamente las tuberías. Esta práctica del tandeo es poco recomendable por diversas razones, muchas de ellas operativas, que afectan la calidad del agua.

Desde el punto de vista de la medición y las lecturas, el tandeo es indeseable, pues genera mediciones falsas, impactando en más del 20 y 30 % del volumen real que se entrega al usuario.

Mediante una auditoría del funcionamiento de los medidores se puede determinar el error promedio por rangos de consumo y así permitir un ajuste en la medición reportada en el primer punto.

5. Presión en la red de distribución del Distrito Hidrométrico

La influencia que tienen las presiones sobre el nivel de fugas, se puede observar en una gráfica determinada por el British Water Council, a partir de un estudio en varias redes del Reino Unido. En esta gráfica influyen tanto los gastos de fugas debidos a la presión, como la incidencia de roturas de la red.

Como puede verse en la *Figura 5.3*, la disponibilidad de registros históricos, además de relacionarse con la manifestación de fugas, permite una mejor comprensión del funcionamiento del sistema de distribución, considerando que exista más de una forma de alimentación de agua al sistema.

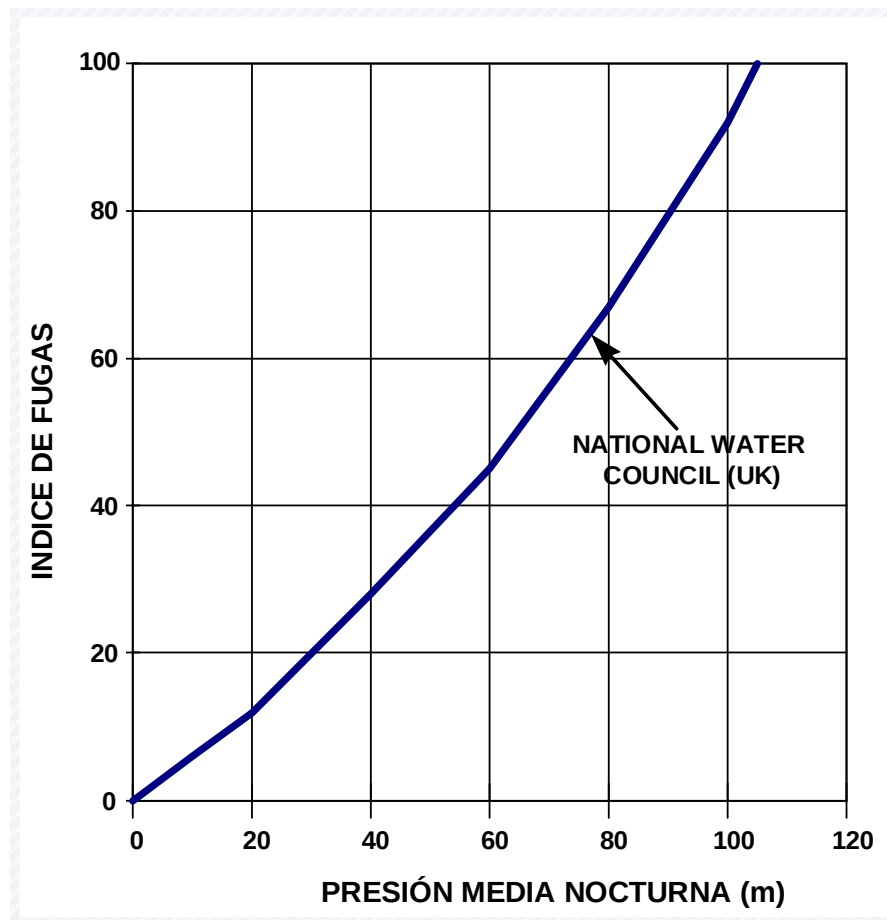


Figura 5.3 Relación entre presión y fugas

Lo anterior, puede asociarse a las posibilidades de simular el funcionamiento hidráulico del sistema de distribución a partir de valores medios de consumo, asumiendo con esto que los resultados numéricos, así obtenidos, sólo son cualitativos.

6. Catastro de redes de agua potable

La información topográfica necesaria para la habilitación de un modelo numérico de una red de distribución se clasifica en planimetría y levantamiento de las redes hidráulicas, en las que se integra información actualizada de valvulerías, diámetros, equipos para el control de presiones y equipos de seccionamientos en operación.

Es importante que la información del catastro de redes del Distrito Hidrométrico, disponible para un diagnóstico, sea totalmente compatible con la base de datos relativa al usuario, al consumo y a

la lotificación. Lo anterior sólo será posible si el sistema de coordenadas geográficas se encuentra unificado.

El catastro de redes permite la administración de estadísticas sobre reportes de bajas presiones en la red de distribución, así como de la manifestación y reparación de fugas, tanto en la distribución, como en las que suceden en los ramales domiciliarios.

7. Plano de lotificación del Distrito Hidrométrico

Hoy en día, las inversiones requeridas para la adquisición de un Sistema de Información Geográfico para un Organismo de Servicios de Agua, no representan inversiones inalcanzables. Las inversiones se justifican aún más si este sistema se vincula con la base de datos del área comercial: rutas de lecturas, predios, consumos y tipos de usuarios.

El acceso a la información, así como su procesamiento y análisis, se facilita aún más si cada medidor de usuario posee coordenadas individuales.

8. Población

La población es un dato que siempre tendrá un alto grado de incertidumbre en cuanto a su precisión, ya que la fuente sólo dispone de datos a partir de Censos Nacionales. Para el caso del diagnóstico, las dimensiones del área del Distrito Hidrométrico representan concentraciones de población: apenas arriba de una decena de miles de habitantes. Por lo anterior, los consumos de agua obtenidos a partir de dotaciones proyecto, deberían ser tomadas con las reservas del caso. Sin embargo, la densidad de población y los registros de consumos, pueden significar un dato auxiliar valioso.

9. Dotación en lt/hab/día (por zonas o total)

Las dotaciones utilizadas para el diseño de redes, mismas que pueden consultarse en las Normas de Diseño de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), representan un valor de referencia frente a la falta total de información. Para el caso que se aborda en esta tesis, los registros de consumo bimestrales por usuario, pueden ofrecer diversos valores en términos del tipo de usuario y rango de consumo, y el análisis contrastando los valores producto de la medición y los referentes al diseño, será una práctica común en este tipo de estudios. Hoy en día, resulta necesaria una información más a detalle, que involucre el perfil de consumo de cada tipo de usuario por día y estación del año.

10. Capacidad de los tanques

Los consumos mínimos nocturnos, además de representar los “consumos no autorizados” como fugas y clandestinaje, pueden significar los volúmenes destinados al proceso de llenado de depósitos por usuario, que en el caso de la Ciudad de México, en el D.F., pueden representar un volumen importante, ya que el llenado se lleva a cabo por las noches, adicionalmente a las reservas de agua en tanques de almacenamiento, propiedad del Organismo.

Por lo anterior, es importante contar con las características geométricas de los tanques de almacenamiento, datos que usualmente se encuentran disponibles en el catastro de redes.

Por otra parte, los registros de niveles de agua en los tanques, es una práctica operativa normal; de esta forma, pueden determinarse los volúmenes en la red provenientes de los tanques, en el caso de no contar con medidores de flujo a la descarga.

11. Planos de tanteo y su ciclo

Los distritos hidrométricos diseñados y contruidos en la actualidad, son concebidos para mantener una política única de operación, de forma tal que no permita grandes variaciones en las presiones y gastos en la red de distribución. Con esto sólo será recomendable diseñar Distritos Hidrométricos, bien con suministro de agua las 24 horas, o bien con un programa único de tanteos.

12. Estadística mensual de corrección de fugas, ya sea en forma domiciliaria o en red, así como la ubicación física en planos

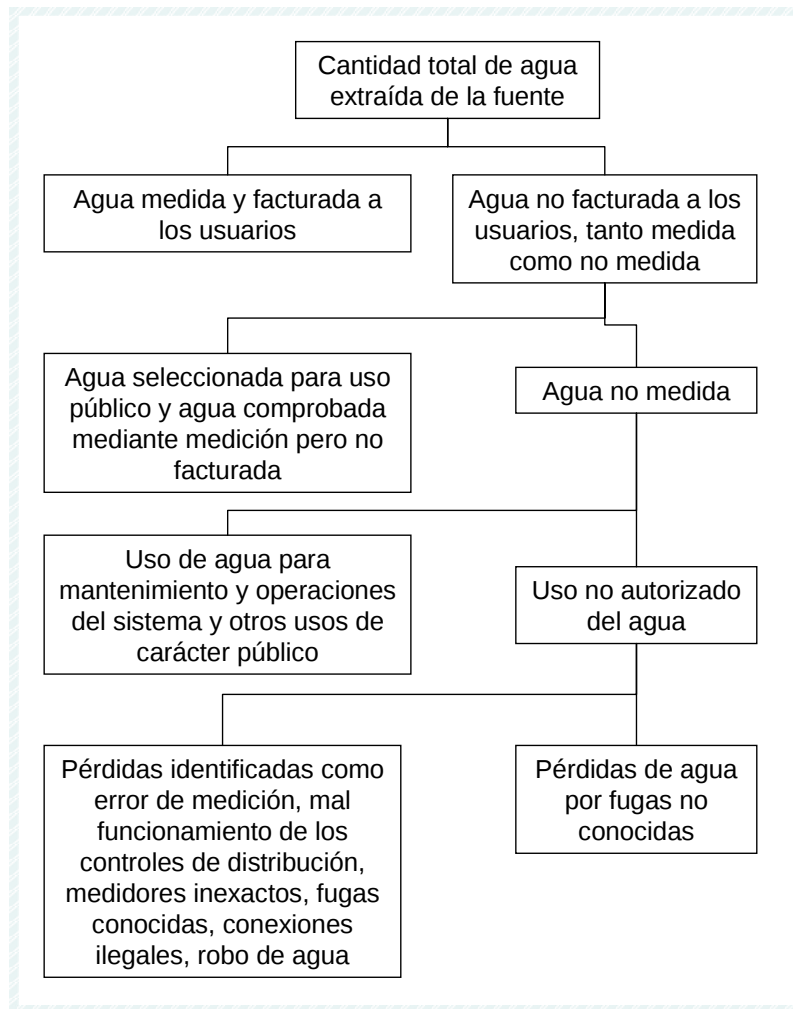
La estadística ordenada y puesta en base de datos, así como su representación gráfica, constituye una valiosa herramienta, capaz de identificar zonas de red y tomas domiciliarias que requieren ser reemplazadas, en función de la frecuencia de corrección de fugas.

Existen indicadores internacionales del AWWA (American Water Works Association), a partir de los cuales puede valorarse el grado de deterioro de la red, dependiendo de los materiales que la forman y de la vejez de la instalación.

5.2 Desarrollo de la metodología

En una red de abastecimiento de agua potable existen dos tipos de consumos: los consumos autorizados, que son los registrados por el organismo operador (medidos o estimados), y los consumos no autorizados (no medidos), que están compuestos por los consumos clandestinos y las pérdidas de agua debidas a fugas en la tubería, así como errores en la medición.

La *Figura 5.4* presenta un diagrama del flujo de agua que entra a través de un sistema y puede utilizarse como marco de referencia para estimar el agua desperdiciada por los organismos de servicio de agua.



Fuente: WATERGY, Adaptado de Xie, Kuffner y Le Moigne 1993, p. 25.

Figura 5.4 Sistema de medición de agua

En los distritos hidrométricos instrumentados, es posible registrar en forma sistemática los volúmenes de entradas y salidas al distrito hidrométrico. Teniendo en cuenta los componentes mencionados de la red, la ecuación general de balance para un intervalo de tiempo se escribe como se había visto anteriormente en la ecuación 1:

$$Q_e = Q_{com} + Q_{cc} + Q_f + Q_s \dots \dots \dots (1)$$

donde:

- Q_e , gasto macromedido de entrada al distrito hidrométrico
- Q_s , gasto macromedido de salida del distrito hidrométrico
- Q_{com} , gasto micromedido de consumo en el distrito hidrométrico
- Q_{cc} , gasto de consumos clandestinos del distrito hidrométrico
- Q_f , gasto de fugas en el distrito hidrométrico

Dado que la exactitud de la medición de los volúmenes contemplados está sujeta a errores de los equipos empleados, la auditoría a la macro y micro medición permite obtener los coeficientes de corrección, así como una estimación de la cobertura de la micromedición y del estado del parque de micromedición, llegando así a la siguiente ecuación de balance:

$$K_0 E - K_1 S = a_0 Q_{com} + a_1 Q_{cc} + a_2 Q_f \dots \dots \dots (2)$$

La ecuación (2) valuada para los distintos intervalos de medición disponibles, resulta ser un sistema sobredeterminado, es decir que el número de ecuaciones de estado es mayor al de las 2 incógnitas.

donde:

E, volumen macromedido de entrada al distrito hidrométrico
 S, volumen macromedido de salida del distrito hidrométrico
 Q_{com}, volumen micromedido de consumo del distrito hidrométrico
 Q_{cc}, volumen de consumos clandestinos del distrito hidrométrico
 Q_f, volumen de fugas en el distrito hidrométrico en análisis
 K₀ y K₁, correcciones a la macromedición
 a₀, correcciones a la micromedición
 a₁ y a₂, constantes de corrección a determinar

La ecuación anterior considera la falta de cobertura de la micromedición como parte del consumo clandestino; de esta forma, en las constantes de corrección a la macro y micromedición y a la posibilidad de determinar los valores de a₁ y a₂, la función error se puede plantear como la diferencia entre la medición y los valores que se predicen (clandestinaje y fugas):

$$\text{Función error} = \underbrace{(k_0 E_i - k_1 S_i) - a_0 Q_{com}}_{\text{Medición}} - \underbrace{(a_1 Q_{cc} + a_2 Q_f)}_{\text{Predicción}} \dots \dots (3)$$

Considerando las pérdidas de agua en el distrito hidrométrico como la diferencia entre “el agua que se queda” en el distrito hidrométrico y el consumo micromedido, se tendría entonces:

Considerando el número de intervalos de balance con medición disponible, el sistema de ecuaciones resultante de (3), sería sobredeterminado si el número de intervalos con medición es mayor a 2.

$$\text{Per} = [(k_0 E_i - k_1 S_i) - a_0 Q_{com}] \dots \dots \dots (4)$$

La función error

De la ecuación (3), elevando al cuadrado el error, como propone el método numérico de Mínimos Cuadrados, resulta:

$$(\text{Función error})^2 = [(k_0 E_i - k_1 S_i) - a_0 Q_{com}] - (a_1 Q_{cc} + a_2 Q_f)^2 \dots \dots (5)$$

Aplicando la derivada parcial a la función error elevada al cuadrado, respecto a cada una de las dos variables (a₁ y a₂), así como igualándola a cero, se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{Per} * Q_{cc} &= a_1 \Sigma Q_{cc}^2 + a_2 \Sigma Q_{cc} * Q_f \\ \Sigma \text{Per} * Q_f &= a_1 \Sigma Q_{cc} * Q_f + a_2 \Sigma Q_f^2 \end{aligned}$$

Escrito en forma matricial, sería:

$$\begin{bmatrix} \Sigma Q_{cc}^2 & \Sigma Q_{cc} \cdot Q_f \\ \Sigma Q_{cc} \cdot Q_f & \Sigma Q_f^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma Q_{cc} \cdot \text{Per} \\ \Sigma \text{Per} \cdot Q_f \end{bmatrix} \dots \dots \dots (6)$$

5.2.1 Cobertura de la micromedición

Determinar la cobertura de la micromedición y el estado de operación de los medidores, es un paso que debería ser responsabilidad del área comercial y ser llevado a cabo en forma paralela al el proceso de lectura. Sin embargo, en núcleos urbanos con limitaciones presupuestales, es frecuente encontrar el parque de medidores sin el mantenimiento adecuado; por ello se sugiere llevar a cabo la revisión de la cobertura de la micromedición, partiendo del plano del catastro, en el cual, a partir de la división por lotes, se podrá ubicar el medidor correspondiente, considerando sus coordenadas geográficas. Con base en lo anterior, se puede hacer un cruce de información con el padrón de usuarios, con el objetivo de localizar los diferentes tipos de usuarios en el plano (domésticos, no domésticos, mixtos, etc.), así como sus consumos.

El proceso para determinar la cobertura puede ser el siguiente:

- ✗ Dado que los consumos registrados por usuario están relacionados por coordenadas con un medidor en el plano de catastro, cada registro se puede localizar y marcar de forma que se distinguiera su tipo de consumo (doméstico, no doméstico y mixto).
- ✗ Se contabilizan los lotes que sí se tienen cubiertos por el padrón de usuarios, lotes sin medidor, lotes en los que sí existe medidor pero no se tiene registro del consumo y los usuarios que sí presentan consumo pero no aparecen dentro del distrito hidrométrico.

Del padrón de usuarios se obtienen los datos de:

- ✧ Nombre de la localidad.
- ✧ Nombre de la calle.
- ✧ Número oficial.
- ✧ Número de distrito hidrométrico .
- ✧ Número de manzana.
- ✧ Número de lote.

Los datos siguientes son obtenidos por el organismo operador como preparación para el censo.

- ✧ Ciclo.
- ✧ Ruta.
- ✧ Distancias de las esquinas al inicio de la ruta.
- ✧ Distancias de la puerta del predio al origen de la ruta.
- ✧ Clave de la localidad.
- ✧ Clave del circuito hidráulico.

En la *Figura 5.5* se muestran los resultados obtenidos para un distrito hidrométrico en donde se llevó a cabo el cruce de información entre el padrón de usuario y el plano catastro de redes. Se puede apreciar cómo, para cada tipo de usuario, se asignó un tono de relleno diferente; esto provoca que se puedan apreciar de manera clara, en las partes blancas, las zonas de la localidad en las que no se tiene registro de los consumos.

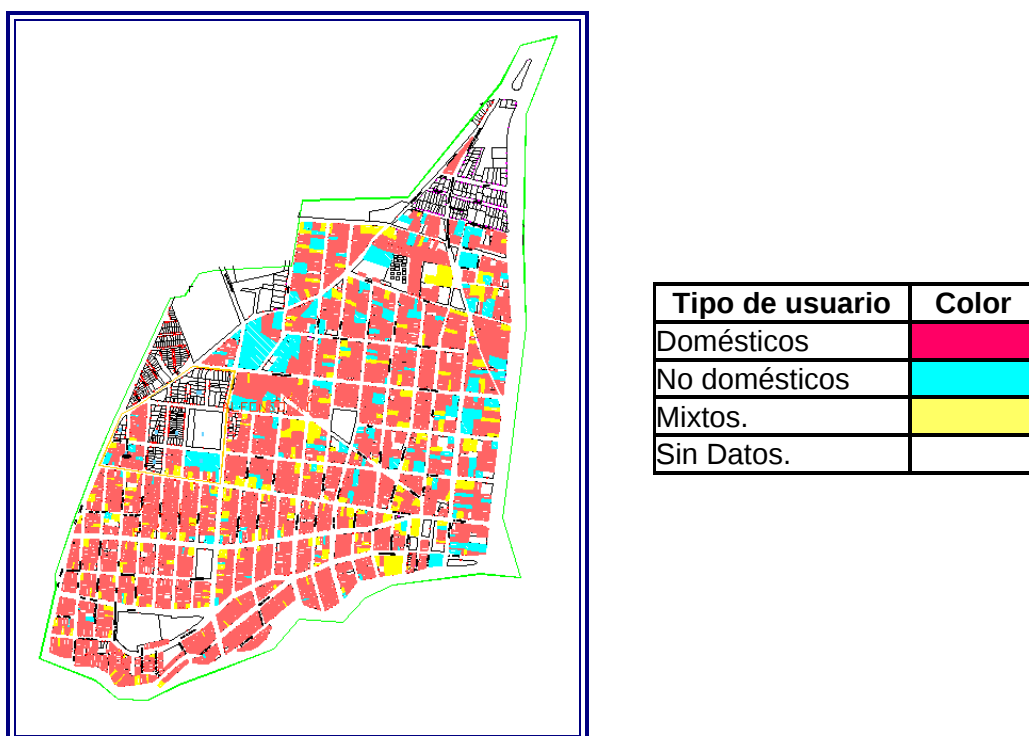


Figura 5.5 Plano de manzana con ubicación de usuarios de acuerdo a su tipo

En la *Figura 5.6*, se muestra una manzana de la zona mostrada en la *Figura 5.3*; en ella se pueden apreciar los diferentes tipos de usuario, la ubicación del medidor para cada lote con sus coordenadas y el consumo micromedido correspondiente, así como los lotes que sí tienen consumo medido pero no el registro del mismo, y lotes que no tienen un consumo medido registrado.

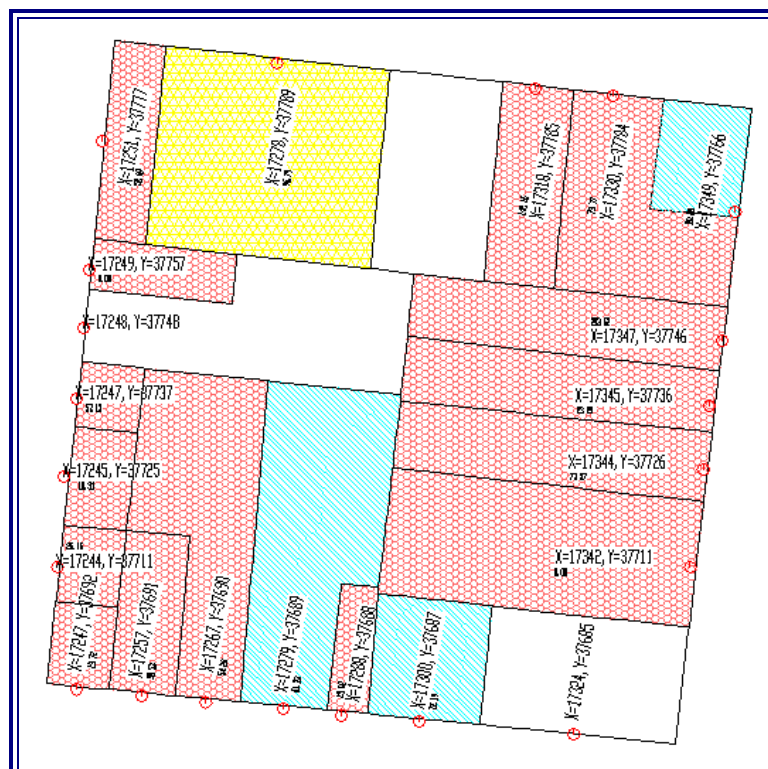


Figura 5.6 Plano de una manzana con la ubicación de los usuarios

A partir del análisis del cruce de los registros del padrón de usuarios y los medidores, ubicado gracias al catastro de redes, se pueden conocer los siguientes datos:

- ↗ Lotes con medidor, sin datos de consumo.
- ↗ Lotes sin medidor.
- ↗ Lotes ubicados en el plano.
- ↗ Total de lotes en el distrito hidrométrico (la suma de los tres anteriores).

Se puede determinar un primer estimado del porcentaje de cobertura, utilizado en esta metodología, comparando el número de lotes ubicados contra la suma de los lotes sin medidor y los lotes sin registro de consumo, mediante la siguiente expresión:

% cobertura =	LU	× 100
	LT	

donde:

- LU** número de lotes con datos de consumo ubicados en el plano de catastro y en el padrón de usuarios
- LT** número de lotes totales del distrito hidrométrico

Se puede incrementar la precisión del porcentaje de cobertura si se utilizan diversas bases de datos, como las de la Compañía de Luz y Fuerza, las de Teléfonos y otras. La precisión final y deseable consistirá en el muestreo final en campo del “Padrón de Usuarios” del Organismo de Servicios Municipales de Agua.

Adicionalmente, si se vincula el padrón de usuarios al catastro de redes, se podrá visualizar el sistema conjunto de datos del padrón de usuarios conectados a un distrito hidrométrico de la red o, incluso, a un tramo en especial de la distribución.

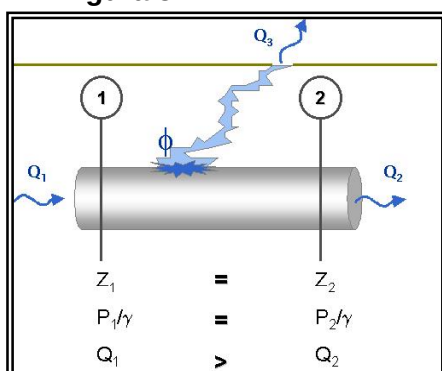
Esta información, adicionada a un modelo numérico de funcionamiento de la red, permitiría detectar los tramos de red con mayor demanda de paso de agua.

5.2.2 Constantes de clandestinaje y fugas

Fugas

Considerando un tramo de tubería con fuga, como se muestra en *Figura 5.5*, si se aplica la ecuación de la energía entre las secciones 1 y 2, el gasto de fuga ($Q_3 = Q_f$) en el tramo de análisis, puede escribirse como sigue:

Figura 5.7



$$Q_f = C_d (g \Delta P)^{1/2} \times A_t \dots \dots \dots (7)$$

donde:

Q_f gasto de fugas en el tramo de análisis, m^3/s

g gravedad en m/s^2

ΔP caída de presión en kgf/m^2

A_t área calculada con un diámetro propuesto de fuga (puede ser 13 mm), m^2

C_d coeficiente de descarga

Clandestinaje

Las ciudades en las que se han aplicado los distritos o distritos hidrométricos, poseen un área comercial bien desarrollada de forma tal, que la cobertura de micromedidores es alta. En el caso de aplicación, el análisis de las cuentas de usuario y la lotificación del distrito hidrométrico arrojó una cobertura del 80%; el distrito hidrométrico es considerado de clase media popular con bajo índice de clandestinaje. No obstante, la falta de cobertura representa un porcentaje importante; así, en las primeras aproximaciones se consideraron, en una sola variable, la función de la densidad de tomas por habitante y el número total de tomas registradas.

Estas consideraciones pueden variar en otros tipos de distritos, dadas las características de su población:

$$Q_{cc} = Q_{dot} \times ((Pob / Dt) - NTM) \dots\dots\dots (8)$$

donde:

Q_{cc} , consumos clandestinos del distrito hidrométrico en análisis

Q_{dot} , dotación de agua

Pob, número de habitantes del distrito hidrométrico

Dt, densidad de tomas por habitantes

NTM, número total de tomas registradas con micromedición

5.2.3 Estadística de consumos

Como se comentó en un inicio, el distrito analizado debe disponer de un registro histórico bimestral de consumos, constituido a partir de la micromedición, disponible para cada tipo de usuario.

Para poder utilizar dicha información, es recomendable su ordenamiento, de preferencia en una tabla por tipo de usuarios y por rango de consumo elegido (en el siguiente subcapítulo se verán opciones para realizar esta separación).

Una vez efectuado el ordenamiento, es posible determinar formalmente, el tipo de usuarios con mayor consumo.

Los registros de la micromedición deberán ser corregidos con base en la auditoría de la micromedición. En el siguiente subcapítulo se ve la forma en que puede hacerse un muestreo que proporcione los parámetros adecuados para esta corrección; ésta será aplicada en cada rango de consumo con el que se haya decidido realizar el muestreo, hasta cubrir el total de usuarios. Debe tenerse cuidado en que esta auditoría cubra todos los rangos de consumo y los diferentes tipos de usuarios, a fin de que sea una muestra representativa del universo de micromedidores y sus consumos. De esta forma se evitarán falsas conclusiones.

5.2.4 Balance de la Macromedición (E – S)

Con los registros obtenidos de la macromedición en el distrito hidrométrico, se puede formar un gráfico donde se represente el **“agua que se queda”** en el distrito, mismo que se construye a

partir de la diferencia entre las mediciones de entrada y de salida, en cada uno de los registros que se obtuvieron en el tiempo.

Con este análisis se pueden ubicar los momentos en que se presenta el gasto máximo y el mínimo en el distrito hidrométrico, dado que los registros se pueden lograr de manera instantánea. También se puede obtener un primer indicio del porcentaje de fugas en el distrito, al ubicar los consumos registrados en aquellas horas del día en las que la mayoría de la población no suele consumir agua, esto es, en la madrugada, siempre que sean despreciables los volúmenes de aljibes, cárcamos y depósitos de almacenamiento de los usuarios.

5.2.5 Análisis de Sensibilidad de la Variación de (E – S) y los porcentajes de Fugas y Clandestinaje de la ecuación de balance

Con los registros mencionados de medición ya corregida y las constantes estimadas de fugas y clandestinaje, se puede llevar a cabo la solución de las ecuaciones propuestas con anterioridad, que nos darán como resultado una estimación de los porcentajes de fugas y clandestinaje que existen en el distrito hidrométrico.

El sistema de ecuaciones se resuelve considerando como datos disponibles: macromedición (E – S), micromedición, presión, cobertura y resultados de auditorías a la macro y micromedición. La solución al sistema de ecuaciones da como respuesta los porcentajes en micromedición, clandestinaje y fugas, que permiten la solución en forma simultánea del sistema de ecuaciones siguiente:

$$\% \text{ Micromedición} = \frac{\text{Volumen de consumo micromedido anual, en m}^3}{(\text{E} - \text{S}) \text{ anual, en m}^3} \times 100$$

$$\% \text{ Clandestino} = \frac{\text{Volumen de consumo clandestino anual, en m}^3}{(\text{E} - \text{S}) \text{ anual, en m}^3} \times 100$$

$$\% \text{ Fugas} = \frac{\text{Volumen de fugas anual, en m}^3}{(\text{E} - \text{S}) \text{ anual, en m}^3} \times 100$$

5.3 Muestreo para determinar la precisión de la micromedición

5.3.1 Teoría del muestreo (Referencia: LOHR Sharon L., "Muestreo: Diseño y análisis" [Tr.] Óscar Alfredo Palmas Velasco, Ed. International Thomson Editores, México, 1999, p.p. 475).

Una muestra perfecta no puede existir para poblaciones complejas (aunque existiera, no sabríamos que es perfecta, sin antes medir a toda la población). Pero una buena muestra reproduce las características de interés que existen en la población de la manera más cercana posible. Esta muestra será *representativa*, en el sentido de que cada unidad muestreada representará las características de una cantidad conocida de unidades en la población.

Se requieren algunas definiciones para poder precisar el concepto de una buena muestra:

Unidad de observación: Es el objeto sobre el cual se realiza una medición. Esta es la unidad básica de observación, a veces llamada *elemento*. En los estudios de poblaciones humanas, con frecuencia ocurre que las unidades de observación sean los individuos.

Población objetivo: Es la colección completa de observaciones que deseamos estudiar. La definición de la población objetivo es una parte importante, y con frecuencia difícil, del estudio. Por ejemplo, en una encuesta política, ¿la población objetivo deberían ser todos los adultos que pueden votar? ¿Todos los votantes registrados? ¿Todas las personas que votaron en la última sección? La elección de la población objetivo afectará profundamente las estadísticas resultantes.

Muestra: Es un subconjunto de una población.

Población muestreada: Es la colección de todas las unidades de observación posibles que podrían extraerse en una muestra; en otras palabras, es la población de donde se extrae la muestra.

Unidad de muestreo: es la unidad donde realizamos la muestra. Por ejemplo, podríamos querer estudiar a las personas, pero no tenemos una lista de todos los individuos que pertenecen a la población objetivo. En vez de esto, las familias sirven como unidades de muestreo y las unidades de observación son los individuos que viven en una familia.

Marco de muestreo: Es la lista de las unidades de muestreo. Por ejemplo, para las encuestas telefónicas residenciales de la ciudad y para las entrevistas personales, una lista de las direcciones de todas las calles; para una encuesta de agricultura, una lista de todas las granjas o un mapa de las áreas que contienen granjas.

En la *Figura 5.8* se muestra un esquema donde se ejemplifican algunos de los conceptos antes mencionados.

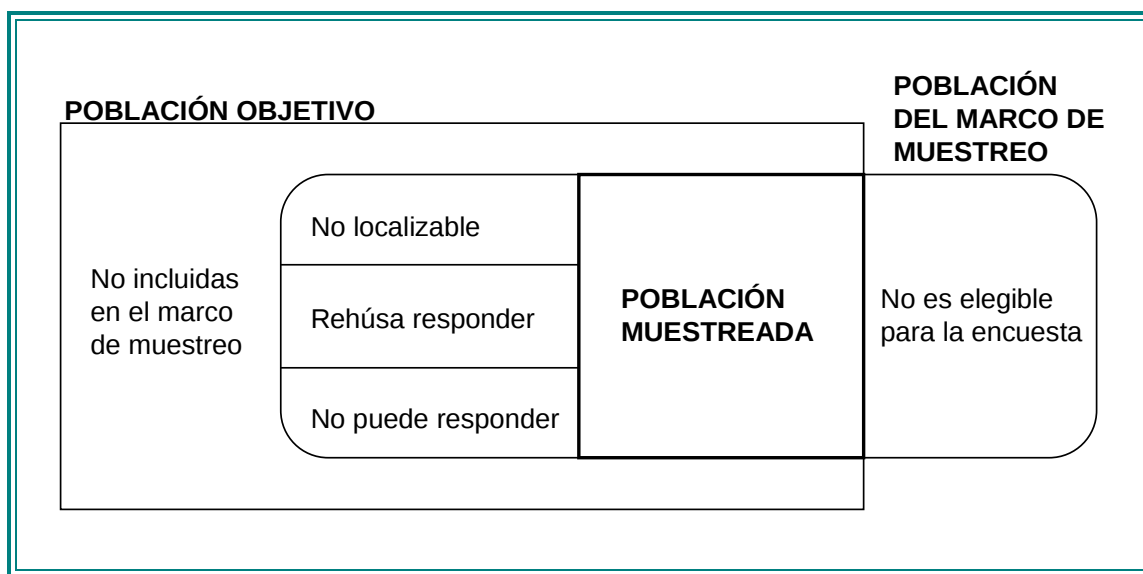


Figura 5.8 Población objetivo y población muestreada

Sesgo de selección

Con frecuencia, una *muestra de conveniencia* es sesgada, si las unidades más fáciles de elegir o las que más probablemente respondan a la encuesta no son representativas de las unidades más difíciles de elegir o de las unidades que no contesten la encuesta. Algunas formas en las que puede ocurrir un sesgo en la selección son:

- ❖ El uso de un procedimiento de selección de la muestra que, sin que los investigadores lo sepan, depende de cierta característica asociada a las propiedades de interés.
- ❖ La elección deliberada o que busca una muestra “representativa”. Este tipo de muestra se llama, a veces, una *muestra de juicio*: el investigador emplea su propio juicio para elegir las unidades específicas que debe incluir en la muestra.
- ❖ Los errores en la especificación de la población objetivo.
- ❖ No incluir a toda la población objetivo en el marco de muestreo, lo que se llama *subcobertura*.
- ❖ La sustitución de un miembro conveniente de una población por un miembro designado que no está disponible. Por ejemplo: si no hay nadie en la casa de la familia designada, un representante de campo podría ir a la puerta siguiente.
- ❖ No poder obtener respuestas de toda la muestra elegida. La *ausencia de repuestas* distorsiona los resultados de muchas encuestas, incluso las diseñadas de manera cuidadosa, con lo que se minimizan otras fuentes de sesgo de selección.
- ❖ Permitir que la muestra conste sólo de voluntarios.

Sesgo de medición

Una buena muestra tiene respuestas precisas para los puntos de interés. El *sesgo de medición* ocurre cuando el instrumento con el que se mide tiene una tendencia a diferir del valor verdadero en alguna dirección. Como en el caso del sesgo de selección, el sesgo de medición debe ser considerado y minimizado en la etapa de diseño de la encuesta; ningún análisis estadístico revelará, por ejemplo, que la pesa añadió de manera errónea 5 kilogramos a cada persona en un estudio de salud.

La obtención de respuestas precisas es un reto en todo tipo de encuestas, particularmente en las que se trabaja con personas, por razones como las siguientes:

- ❖ A veces, las personas no dicen la verdad.
- ❖ Las personas no siempre comprenden las preguntas.
- ❖ Las personas olvidan.
- ❖ Las personas dan diferentes respuestas a diferentes entrevistadores.
- ❖ Las personas pueden contestar lo que piensan que un entrevistador quiere escuchar, o lo que piensan que impresionará al entrevistador.
- ❖ Un entrevistador puede afectar la precisión de las respuestas al leer mal las preguntas, al registrar las respuestas de manera equivocada, o al polemizar con el entrevistado.
- ❖ Ciertas palabras significan cosas distintas para personas diferentes.
- ❖ La formulación y el orden de las preguntas tiene un gran efecto sobre las respuestas obtenidas.

Errores de muestreo y que no son de muestreo

El margen de error dado en las encuestas es una expresión del *error de muestreo*, el cual resulta al considerar una muestra, y no al examinar a toda la población. Si se considera una muestra distinta, es muy probable que se obtenga un porcentaje muestral distinto. Los errores de muestreo se reportan, por lo general, en términos probabilísticos.

El sesgo de selección y la imprecisión en las respuestas son ejemplos de los *errores que no son de muestreo*, los cuales no se pueden atribuir a la variabilidad entre las muestras. En muchas encuestas, el error de muestreo reportado para esa encuesta, puede ser despreciable en comparación con los errores que no son de muestreo; con frecuencia, se verán encuestas con una tasa de respuestas del 30%, que proclaman con orgullo un margen de error del 3%; con esto se ignora el tremendo sesgo de selección en sus resultados.

Existen tres justificaciones principales para el uso de muestreo:

- El muestreo puede proporcionar información confiable, con costos mucho menores que los de un censo. Con las muestras probabilísticas se puede cuantificar el error de muestreo a partir de una encuesta. En algunos casos, una unidad de observación debe ser destruida para ser observada, como cuando una galleta debe pulverizarse para determinar el contenido de grasa. En ese caso, una muestra proporciona información confiable acerca de la población; un censo destruiría la población y, con ello, la necesidad de información relativa a ella.
- Los datos se pueden reunir más rápido, de modo que las estimaciones se pueden publicar de una manera programada. Una estimación de la tasa de desempleo de 1994 no es muy útil, si para entrevistar a cada familia se prolonga hasta el año 2004.
- Por último, y esta razón no es tan conocida, las estimaciones basadas en las encuestas y sus respectivas muestras son, con frecuencia, más precisas que las basadas en un censo, pues los investigadores pueden tener más cuidado al reunir los datos. Un censo completo necesita, por lo regular, de una gran organización administrativa e implica a muchas personas en la recolección de datos. Con tal complejidad administrativa y la presión por producir las estimaciones a tiempo, se pueden cometer muchos errores en la elaboración del censo. En una muestra se puede dedicar más atención a la calidad de los datos, al entrenar al personal y realizar un seguimiento de quienes no contestan la encuesta. Es mucho mejor tener buenas mediciones en una muestra representativa, que mediciones poco confiables o sesgadas sobre toda la población.

Muestreo estratificado

Si la variable que interesa asume distintos valores promedio en diferentes subpoblaciones, podríamos obtener estimaciones más precisas de las cantidades de la población, al tomar una *muestra aleatoria estratificada*. La palabra estratificar proviene de la palabra latina que significa “formar capas”; dividimos a la población en H subpoblaciones, llamadas *estratos*. Los estratos no se traslapan y conforman la población completa, de modo que cada unidad de muestreo pertenece exactamente a un estrato. Se extrae una muestra independiente de cada estrato y, posteriormente, se reúne la información para obtener las estimaciones globales de la población.

Se utiliza el muestreo estratificado por una o más de las siguientes razones:

- i. El deseo de protegerse contra la posibilidad de obtener una mala muestra.
- ii. Es probable que se quiera contar con datos de precisión conocida sobre los subgrupos. Estos subgrupos serían los estratos, los cuales coinciden, entonces, con los dominios de estudio.
- iii. Una muestra estratificada podría administrarse, de manera más conveniente, a un menor costo. Por ejemplo, se pueden utilizar distintos esquemas de muestreo para diversos estratos.
- iv. Si se hace correctamente, el muestreo estratificado, dará estimaciones más precisas (con menor varianza), de toda la población.

El número de estratos elegidos depende de muchos factores; por ejemplo, la dificultad para construir un marco de muestreo con la información estratificada y el costo de la estratificación. Una regla general a tener en mente es la siguiente: mientras menos información exista, menos estratos deberán utilizarse. Así, se debe usar una muestra aleatoria simple, si de antemano se tiene poca información sobre la población objetivo.

5.3.2 Ejemplo Numérico (referencia: Manual . IMTA por : Ing. José Roberto Cagigas Velásquez e Ing. Mónica Fernández González)

Dada la importancia de la micromedición y su impacto en el diagnóstico de consumos, la elección de un tamaño de muestra se vuelve crucial en la confiabilidad de los resultados, por lo que en este subcapítulo, se aborda la aplicación a un caso práctico, a partir de la información suministrada por la base de datos asociada al padrón de usuarios que se tomará como la población en estudio. Se puede diseñar el tamaño de la muestra a realizar, y deberá verificarse la correspondencia entre el usuario real y la base de datos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Número de serie del Medidor.
- Dirección del Usuario.
- Nombre del Usuario.
- Tipo de Usuario.
- Que el Usuario pertenezca al DISTRITO HIDROMÉTRICO en diagnóstico.

El diseño de la muestra será función del número total de usuarios registrados en el distrito, así como el tipo de usuarios.

A lo largo de este subcapítulo, se presenta el diseño de una muestra con los datos reales del padrón de usuarios de un distrito hidrométrico correspondiente a una importante ciudad del país, en función de la confiabilidad requerida.

5.3.2.1 Datos generales

Se recomienda separar el total de usuarios pertenecientes al padrón, por su diámetro de toma, y a su vez cada diámetro será dividido en función del tipo de usurario. En este caso se tienen 5 diámetros diferentes (13, 19, 25, 38 y 51 mm) y 3 diferentes clasificaciones para cada tipo de usuario: Doméstico, No doméstico y Mixto. Esta primera separación arrojó los siguientes resultados:

total de usuarios = 2728 con medidor de 13 mm
Domésticos = 2302
No Domésticos = 192
Mixtos = 234

total de usuarios = 353 con medidor de 19 mm
Domésticos = 331
No Domésticos = 18
Mixtos = 4

total de usuarios = 28 con medidor de 25 mm
Domésticos = 23
No Domésticos = 0

Mixtos = 5

total de usuarios = 3 con medidor de 38 mm
Domésticos = 1
No Domésticos = 2
Mixtos = 0

Total de usuarios = 3 con medidor de 51 mm
Domésticos = 2
No Domésticos = 0
Mixtos = 1

En cada padrón de usuarios se pueden encontrar diferentes clasificaciones para los tipos de usuarios: industrial, público, comercial, etc., por lo que la cantidad de clasificaciones cambiará conforme a las existentes en el padrón que se está estudiando, lo que impactará en el tamaño de la muestra diseñada.

5.3.2.2 Tabla de frecuencias

Para la determinación del tamaño de la muestra, es conveniente separar cada una de las categorías de acuerdo a su consumo en un periodo de tiempo determinado (por ejemplo, un bimestre de consumo); esta separación se debe hacer por rangos de consumo o intervalos.

En lo posible, estos intervalos deberán ser de igual ancho, para hacer más sencilla la interpretación visual de los resultados, es necesario aplicar el buen juicio para seleccionar el número de intervalos adecuado a fin de proporcionar una presentación razonable. El número de intervalos empleados depende del número de observaciones (en este caso es el número de usuarios) y de la cantidad de dispersión de los datos (en nuestro caso el consumo por usuario). Seleccionar el número de intervalos aproximadamente igual a la raíz cuadrada del tamaño de la población o de la muestra, a menudo funciona bien en la práctica.¹

Como se puede observar en la *Tabla 5.1*, el intervalo de consumo que se decidió elegir para agrupar a los usuarios tiene un ancho de 10 [m³/bimestre]; esto permitió reducir la cantidad de datos por analizar, sin afectar la precisión de los resultados.

Con estos rangos se creará una tabla de frecuencias como la que se muestra a continuación, (ver *Tabla 5.1*), donde se exponen los resultados obtenidos en el caso de usuarios domésticos con toma de 13 mm.; esta tabla se realizó durante un bimestre de consumo. Para cada organismo operador, este intervalo puede modificarse de acuerdo a la disponibilidad de los registros.

La tabla de frecuencias (*Tabla 5.1*) se calculó con las siguientes expresiones, para cada una de las columnas:

$$\text{Valor medio} = \frac{LS + LI}{2}$$

donde:

LS, límite superior del intervalo

¹ HINES William W., Montgomery Douglas C. “Probabilidad y estadística para ingeniería y administración” [Tr.]. Act. Ma. De Lourdes Fournier de Fournier. Tercera impresión, Ed. CECSA. México, 1988. p.p. 667.

LI, límite inferior del intervalo
 Valor medio, número intermedio del intervalo

F_i = Frecuencia, cantidad de usuarios contenidos en el intervalo de consumo

$\text{Consumo}_i = \sum$ consumo de cada usuario del intervalo de consumo

Frecuencia Acumulada = Frecuencia Acumulada anterior + F_i

Consumo Acumulado $[\text{m}^3/\text{bimestre}] = \text{Consumo Acumulado anterior} + \text{Consumo}_i$

$\text{Consumo Acumulado } [\%] = \frac{\text{Consumo Acumulado}}{\text{Total de consumo}}$

Tabla 5.1 Tabla de frecuencias.

RANGO [m ³ /bimestre]	Valor medio	F_i (usuarios)	Consumo_i [m ³ /bimestre]	Frecuencia Acumulada (usuarios)	Consumo Acumulado [m ³ /bimestre]	Consumo Acumulado [%]
0 - 10	5	264	808.32	264	808.32	0.59%
10 - 20	15	217	3,330.85	481	4,139.17	3.00%
20 - 30	25	264	6,709.23	745	10,848.40	7.87%
30 - 40	35	253	8,688.38	998	19,536.78	14.17%
1430 - 1440	1435	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1440 - 1450	1445	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1450 - 1460	1455	1	1,452.99	2,302	137,826.23	100.00%
TOTALES		2302	137,826.23			

En el Anexo 1 se muestra la tabla de frecuencias completa.

5.3.2.3 Parámetros estadísticos

Con el objetivo de hacer más eficiente el cálculo del tamaño de la muestra, se dividen los resultados en deciles, con base en el Consumo Acumulado, en forma de porcentaje; esto es, cada 10% del consumo acumulado forma un nuevo intervalo. Estos intervalos están señalados en la *Tabla 4.4* con un color diferente para cada uno; el mismo color sirve como referencia en las *Tablas 4.5 y 4.6*, para ubicar los cálculos correspondientes a cada uno.

Para cada uno de los deciles se calculan los parámetros estadísticos de la media y la desviación estándar; las fórmulas para calcularlos son:

$$\text{Media} = \frac{\text{Consumo total del décil}}{\text{Número de usuarios del décil}}$$

$$\text{Desv} = \sqrt{\frac{\sum (C_i - \text{Media})^2}{N}}$$

donde:

C_i consumo de cada usuario del decil
 N número de usuarios del decil
 Desv desviación estándar del decil

5.3.2.3.1 Tamaño de la muestra

Con estos dos parámetros y la cantidad de usuarios contenida en cada decil, se determina el tamaño de la muestra por decil, el cual también está en función de la incertidumbre permitida.

$$n = \left(\frac{2 \times \text{Desv}}{\text{Media} \times e} \right)^2$$

e , incertidumbre de la muestra en decimales

n , número de usuarios de la muestra (tamaño de la muestra)

En la *Tabla 5.2*, se presentan los resultados obtenidos para los usuarios domésticos con toma de 13 mm, tomando un bimestre de consumo. En la tabla se muestra cómo, al hacer el cálculo del número de usuarios por muestrear, pueden obtenerse resultados mayores al número de usuarios que forman el padrón; en estos casos se debe tomar el número total de usuarios del decil, como se muestra en la *Tabla 5.3*.

Tabla 5.2 Tamaño de la muestra

Decil	Media	Desv	# usuar	Tamaño de la muestra (n)				
				e = 2%	e = 5%	e = 8%	e = 10%	E = 15%
1	17.32	8.33	626	2311	370	144	92	41
2	34.34	3.05	253	79	13	5	3	1
3	45.15	2.35	330	27	4	2	1	0
4	57.79	5.59	375	93	15	6	4	2
5	74.64	3.21	128	18	3	1	1	0
6	89.19	5.40	158	37	6	2	1	1
7	113.15	8.86	136	61	10	4	2	1
8	154.31	17.54	96	129	21	8	5	2
9	242.28	39.52	58	266	43	17	11	5
10	575.76	255.46	23	1969	315	123	79	35
Teórico				4991	799	312	200	89

Tabla 5.3 Tamaño de la muestra

Decil	Tamaño de la muestra (n)				
	e = 2%	e = 5%	e = 8%	e = 10%	E = 15%
1	626	370	144	92	41
2	79	13	5	3	1
3	27	4	2	1	0
4	93	15	6	4	2
5	18	3	1	1	0
6	37	6	2	1	1
7	61	10	4	2	1
8	96	21	8	5	2
9	58	43	17	11	5
10	23	23	23	23	23
Real	1119	507	212	144	77

Como se puede apreciar en las *Tablas 5.2 y 5.3*, el tamaño de la muestra está en función de la incertidumbre permitida, esto es, mientras menor sea la incertidumbre, mayor será el tamaño de la muestra necesaria. Esto se ejemplifica de manera gráfica en la *Figura 5.9*.

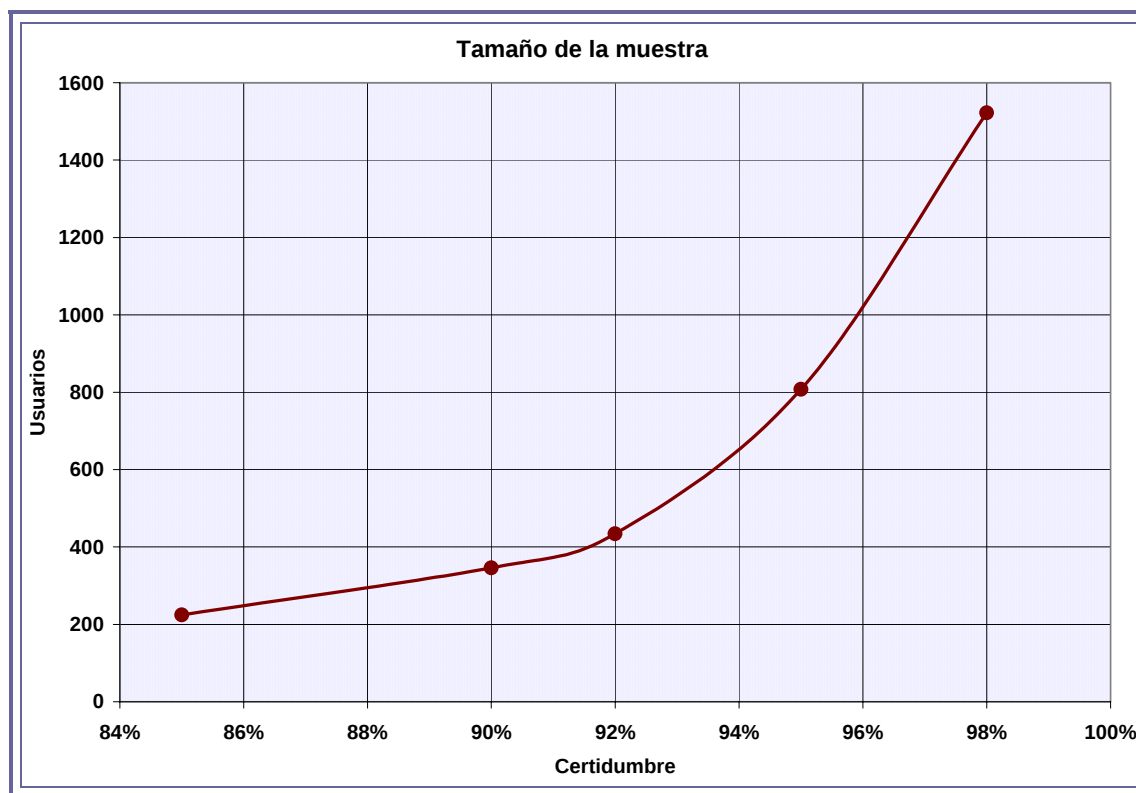


Figura 5.9 Tamaño de la muestra

La decisión de optar por un tamaño de muestra y un cierto grado de certidumbre es una decisión de orden económico, ya que a mayor certidumbre, mayor costo.

5.4 Planeación del diagnóstico en el Distrito Hidrométrico

Como se puede apreciar en los puntos anteriores, la metodología consiste en una serie de pasos bien definidos. A continuación se muestra un diagrama indicando el orden en que se pueden realizar dichos procesos, así como un tiempo aproximado de lo que durará cada uno.

Procesos

1. Determinar la cobertura de micromedición
2. Analizar las estadísticas de consumos
3. Calcular las constantes de clandestinaje y fugas.
4. Realizar un balance de agua a partir de la Macromedición (E - S)
5. Efectuar un análisis de Sensibilidad de la Variación de (E - S) y de los porcentajes de Fugas y Clandestinaje de la ecuación de balance.
6. Analizar los resultados para emitir conclusiones

	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
Proceso	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16
1																
2																
3																
4																
5																
6																

Sólo se recomienda realizar el paso 5 en los casos en los que el consumo, en el distrito hidrométrico, posea una amplia variación. Como se puede apreciar en el diagrama, los dos procesos más largos son: la determinación de la cobertura de la micromedición y el análisis de las estadísticas de consumos; esto es así porque dichos procesos dependen de indagar la información perteneciente a los organismo operadores y debe tomarse en cuenta que en ocasiones ésta no se tendrá por completo, o no en el formato indicado y habrá que dedicar cierto tiempo a adecuarla y complementarla en lo posible.

6. Caso de aplicación

Para comprobar la metodología desarrollada en el Capítulo 5 de esta tesis, se tomó un distrito hidrométrico modelo, perteneciente a una gran ciudad. Dicho distrito cuenta con mediciones históricas, tanto a nivel macro como micro; además, se presentan las diferentes problemáticas que pueden ocurrir en los distritos hidrométricos. Se cuenta con un historial de reportes de pérdidas físicas y con la certeza de la existencia de consumos clandestinos a lo largo de la red.

Además, se tiene un catastro muy completo de la zona relacionado con el padrón de usuarios del servicio de agua potable; esto permitió hacer un barrido del distrito para conocer la cobertura real de la zona. Como ya se mencionó con anterioridad, este catastro es trascendental para la aplicación de la metodología propuesta. Se poseen datos de una auditoría aplicada a algunos de los micromedidores, que si bien no siguió con los parámetros ya mencionados, sirvió como referencia para la corrección de las mediciones existentes.

Este capítulo describe paso a paso cómo se aprovecha la información mencionada para, con base en la metodología propuesta, obtener resultados que ofrezcan al organismo operador de agua, un parámetro para determinar las acciones a seguir en la búsqueda de abatir la cantidad de agua no contabilizada en la zona.

6.1. Información estadística de la medición y cobertura del servicio.

Estadística de consumos y cobertura de micromedición.

El distrito hidrométrico analizado posee una estadística de al menos 10 años de registros de micromedición bimestral, constituida con los tipos de usuario que se muestran en las *Tablas 6.1 y 6.2*:

Tabla 6.1 Valores promedio de consumos bimestrales

	BIMESTRES					
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
DOMÉSTICOS						
No. Usuarios	85.7%	85.8%	85.8%	85.7%	85.7%	85.7%
Volumen consumido	16.3%	16.7%	16.5%	16.6%	17.0%	16.8%
NO DOMÉSTICOS						
No. Usuarios	6.7%	6.6%	6.6%	6.7%	6.7%	6.7%
Volumen consumido	15.4%	16.4%	15.7%	16.3%	18.0%	18.3%
MIXTOS						
No. Usuarios	7.6%	7.6%	7.6%	7.6%	7.6%	7.6%
Volumen consumido	15.4%	15.8%	15.5%	16.2%	18.6%	18.5%

Tabla 6.2 Cobertura de la micromedición

Lotes sin datos de consumo:	19.1%
Lotes sin medidor:	0.7%
Lotes ubicados:	80.2%

Los Distritos Hidrométricos en proceso de implantación en importantes ciudades de nuestro país, requieren de una elevada inversión económica, por tanto limitada para la ejecución simultánea de diversas actividades, como puede serlo el muestreo. Sin embargo, estudios recientes del año 2004, con alcances limitados, permitieron el muestreo y la estimación del error en la precisión de la micromedición.

La corrección fue aplicada en rangos de consumo de 10 m³, hasta cubrir el total de usuarios. La auditoría fue aplicada principalmente a usuarios de tipo doméstico, ya que aproximadamente el 10% de los medidores auditores se aplicaron a usuarios de consumo mixto. A partir de estos resultados se obtuvo el porcentaje de error en la lectura por rangos de consumo y se aplicó el factor de corrección, realizándose estas correcciones a los distintos tipos de usuario de acuerdo al consumo, como se muestra en las *Tablas 6.3 y 6.4*.

Tabla 6.3 Error promedio pesado

Intervalo (m³)	0 a 120
Error promedio %	-2.20%

Tabla 6.4 Consumo corregido

	BIMESTRES					
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
DOMÉSTICOS						
No. Usuarios	85.7%	85.8%	85.8%	85.7%	85.7%	85.7%
Volumen consumido	16.3%	16.7%	16.5%	16.6%	17.0%	16.8%
Volumen corregido	15.9%	16.4%	16.5%	16.7%	17.2%	17.3%
NO DOMÉSTICOS						
No. Usuarios	6.7%	6.6%	6.6%	6.7%	6.7%	6.7%
Volumen consumido	15.4%	16.4%	15.7%	16.3%	18.0%	18.3%
Volumen corregido	15.2%	16.1%	15.7%	16.2%	18.1%	18.6%
MIXTOS						
No. Usuarios	7.6%	7.6%	7.6%	7.6%	7.6%	7.6%
Volumen consumido	15.4%	15.8%	15.5%	16.2%	18.6%	18.5%
Volumen corregido	15.1%	15.6%	15.5%	16.2%	18.8%	18.7%

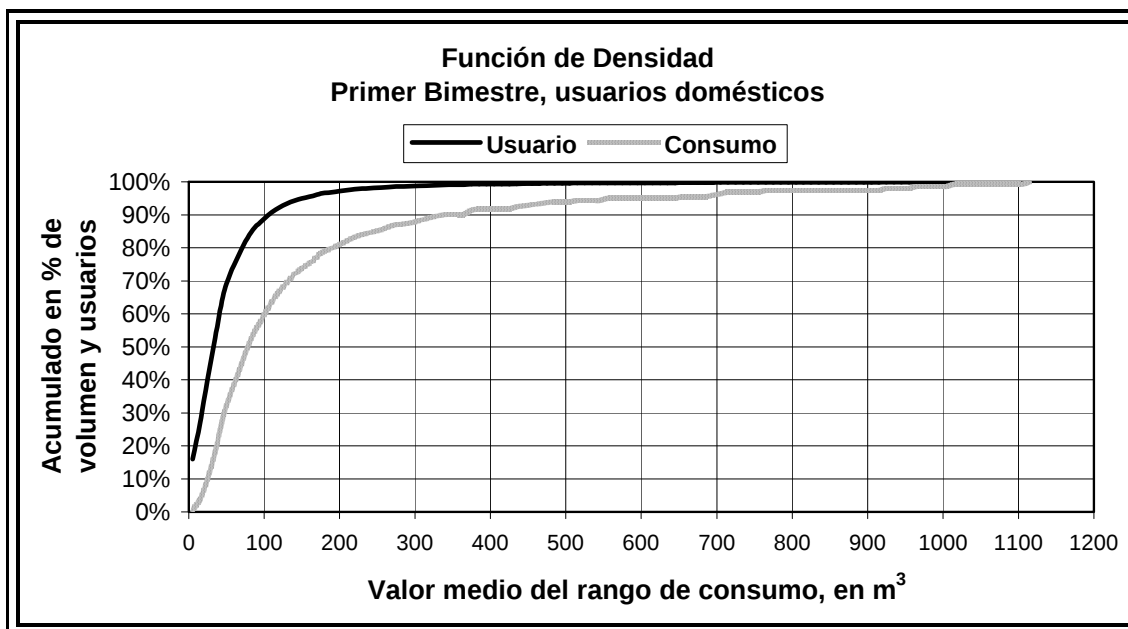


Figura 6.1 Acumulado de usuarios y volumen por rango de consumo

Se observa en la *Figura 6.1*, que el 90% de los usuarios consume el 60% del volumen bimestral doméstico, por lo que sólo el 10% de usuarios consume el 40% del volumen bimestral; en este último grupo es posible encontrar grandes usuarios.

6.1.1 Macromedición (E – S)

En la *Figura 6.2*, se muestra el resultado de cinco días de la macromedición para el Distrito Hidrométrico en estudio; el gráfico representa el agua que se queda en el distrito hidrométrico. Se observa un gasto máximo de 270 l/s y un mínimo de 50 l/s, mismos que podrían representar una condición extrema, por lo que es importante conocer la variación de (E – S). Esto resulta posible durante un período mayor de lecturas.

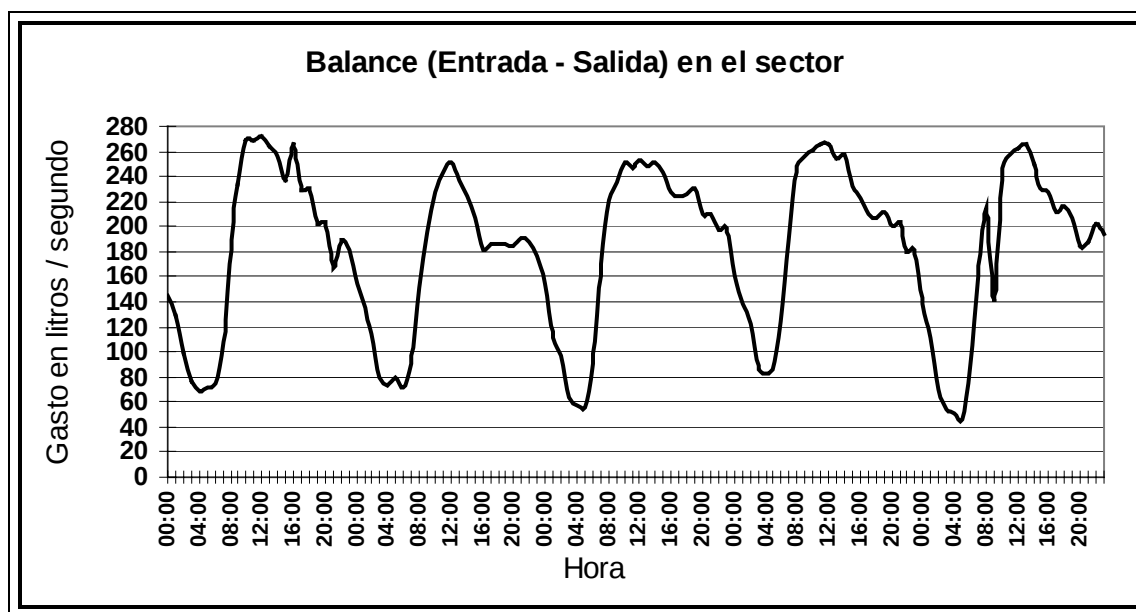


Figura 6.2 Balance de agua en el distrito hidrométrico

Con el propósito de conocer la relación entre el volumen que se queda en el Distrito Hidrométrico por hora y el volumen total de entrada, se determinó esta relación en porcentaje, como se muestra en la *Figura 6.3*.

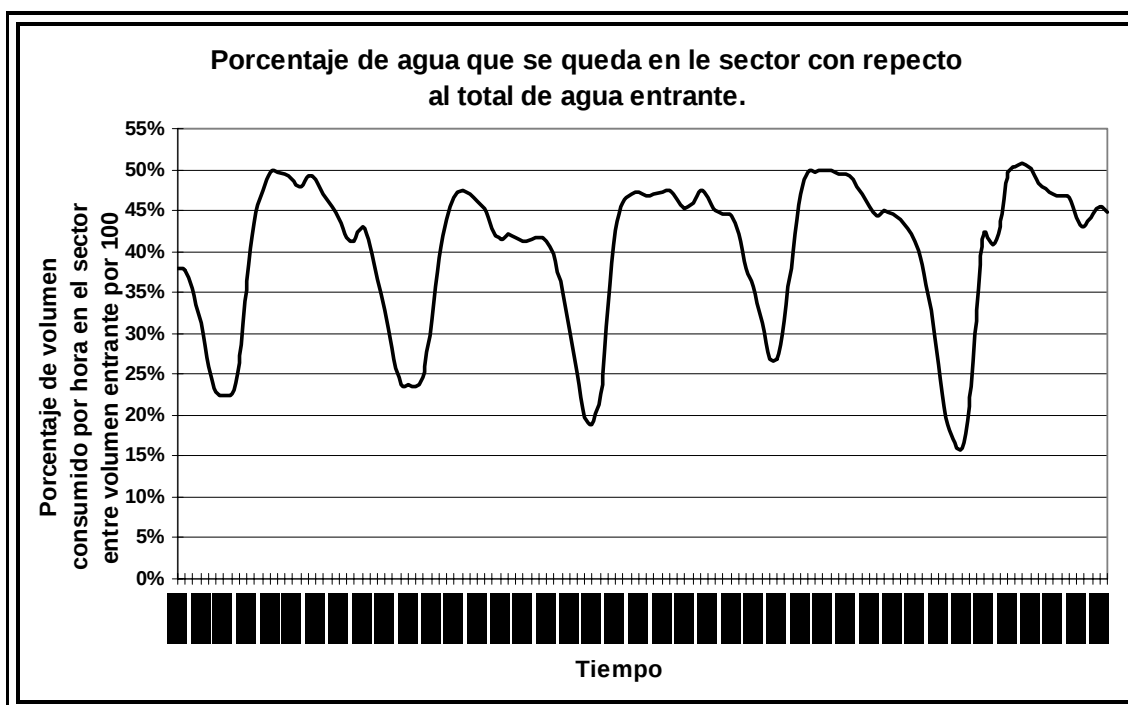


Figura 6.3 Agua que se queda en el distrito hidrométrico

6.1.2 Estimación de fugas.

Observando la *Figura 6.3* del porcentaje de agua consumida por el distrito hidrométrico contra el agua entrante, se puede concluir que se presentan ciclos de 24 horas en el consumo y tiene un comportamiento con un porcentaje máximo semejante en los 5 días de medición. La *Figura 6.3* representa la evolución del agua que permanece en el Distrito hidrométrico, ya que se dispone de la macromedición de entrada y salida de agua del mismo. El consumo máximo se presenta entre las 9:00 y 14:00 horas, y permanece en el distrito hidrométrico hasta el 51% del volumen de entrada; el consumo mínimo se presenta entre las 3:00 y 5:00 horas (madrugada). En este periodo el volumen máximo que se presenta es del 27% y el mínimo del 15% del volumen de agua entrante. Considerando que de las 3:00 a las 5:00 horas se trata de intervalos de bajo consumo, se puede afirmar que la mayor parte del volumen demandado en este rango de horas se consume en fugas; ese porcentaje variaría del 15% al 27%, dependiendo del día y de las condiciones de presión.

6.1.3 Análisis de sensibilidad de la variación de $(E - S)$ y los porcentajes de fugas y clandestinaje de la ecuación de balance

De acuerdo con la metodología propuesta, fue resuelto el sistema de ecuaciones para distintas condiciones de $((E - S) / \text{consumo promedio bimestral})$; sin embargo, se estima que este resultado no debería ser superior al intervalo de 2.6 a 4.0. El resultado del sistema de ecuaciones se muestra en la tabla 6.5.

La *Figura 6.3*, representa una muestra de 5 días de consumo de todo el registro analizado. Se observa que la relación de entrada menos salida entre consumo, mostrada en la tabla 4.5, puede tener una variación amplia; por lo anterior, el análisis de sensibilidad se desarrolló para un intervalo de variación de 2.6 a 4.0.

$$\% \text{ Micromedición} = \frac{\text{Volumen de consumo micromedido anual, en m}^3}{(E - S) \text{ anual, en m}^3} \times 100$$

$$\% \text{ Clandestinos} = \frac{\text{Volumen de consumo clandestino anual, en m}^3}{(E - S) \text{ anual, en m}^3} \times 100$$

$$\% \text{ Fugas} = \frac{\text{Volumen de fugas anual, en m}^3}{(E - S) \text{ anual, en m}^3} \times 100$$

Tabla 6.5 Resultados de la metodología

(E-S) / Consumo propuesto	COEFICIENTES		PORCENTAJES DE VOLUMEN RESPECTO A (E-S) ANUAL		
	Clandestino	Fugas	Micromedición	Clandestino	Fugas
	a ₁	a ₂	%	%	%
2.6	0.019	1.603	67.6%	1.3%	31.1%
2.6	0.019	1.603	67.6%	1.3%	31.1%
2.8	0.179	1.652	62.8%	11.5%	25.7%
3.0	0.343	1.697	58.6%	20.6%	20.8%
3.2	0.512	1.739	54.9%	28.8%	16.3%
3.4	0.684	1.777	51.7%	36.2%	12.1%
3.6	0.854	1.845	48.8%	42.8%	8.4%
3.8	0.978	2.208	46.3%	46.4%	7.3%
4.0	1.167	1.231	43.9%	52.6%	3.3%

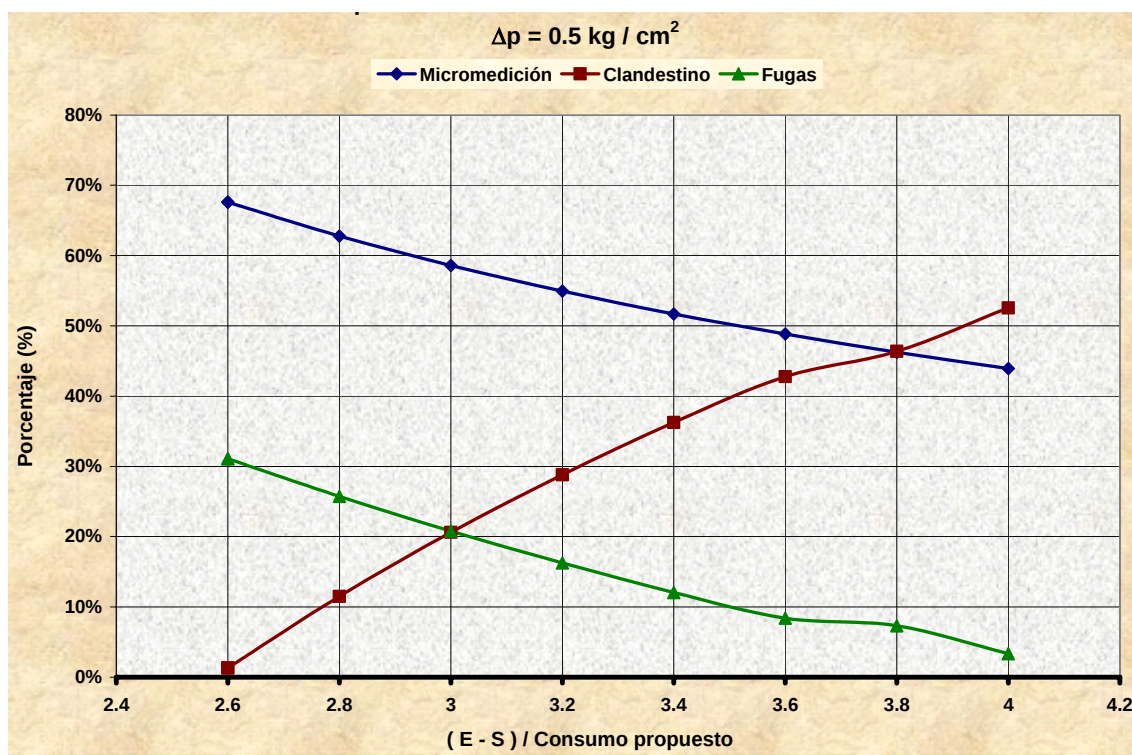


Figura 6.4 Solución al sistema de ecuaciones

Los porcentajes asociados de consumo clandestino y fugas para las dos condiciones de presión analizadas, se muestran en la *Tabla 6.5* y en la *Figura 6.4*. Para una relación de “(E – S) / Consumo propuesto” de 3.0, se tiene que la solución al sistema de ecuaciones resulta con los porcentajes de Micromedición, Clandestinaje y Fugas siguientes:

Micromedición = 58.6%

Clandestino = 20.6%

Fugas = 20.8%

Existen una gran variedad de medidas que se pueden tomar: la reparación y sustitución de tuberías y la reposición de tomas domiciliarias para lograr la reducción del volumen debido a fugas; la detección de tomas clandestinas para reducir el volumen consumido en forma clandestina, y el aumento en la cobertura de la micromedición, es decir, pasarlo de 58.6% a un valor superior.

6.2. Diseño del programa de acciones a seguir por distrito hidrométrico

Es importante tener en cuenta que realizar mejoras individuales sin examinar su impacto en todo el sistema, puede acarrear deficiencias importantes y a un desperdicio del capital. También es importante el orden en el cual las empresas de servicios públicos tratan de encontrar soluciones para mejorar dichos servicios.

Es necesario fijar prioridades para aquellas oportunidades que tengan el potencial más alto de ahorros y programar las actividades en el orden cronológico correcto, con el objeto de maximizar los beneficios de un uso eficiente del agua, por lo tanto, de la energía eléctrica utilizada y de los recursos humanos aplicados. Por ejemplo, en muchos casos la disminución de las fugas debe tener lugar antes del rediseño del sistema y de la instalación de nuevo equipo. De otra manera, las especificaciones y dimensiones del equipo se basarán en parámetros que pueden cambiar una vez que se arreglen las fugas.

Con frecuencia las oportunidades más económicas para aumentar la eficiencia son las que tienen como fin mejorar las prácticas operativas y de mantenimiento. Una de esas tareas, que es de importancia crítica para los organismos operadores de servicio de agua, es reducir las fugas y las pérdidas. Éstas pueden estar ocasionadas por fugas en el sistema, un equipo con mantenimiento deficiente, medidores defectuosos, máquinas sin usar que se dejan inactivas y sistemas operados en forma inadecuada. Una herramienta útil para corregir estos problemas puede ser la creación de un manual de procedimientos, en el que se estipulen las normas de operación, los programas de mantenimiento, los mecanismos de vigilancia y los módulos para la capacitación de empleados.

Las prácticas de mayor beneficio en dicho manual de procedimientos pueden incluir las siguientes:

- ▶ Asesoramiento para administrar el sistema con el fin de cumplir con las necesidades de flujo, sin una presión excesiva.
- ▶ Programas para inspeccionar el equipo y la tubería respecto a fugas.
- ▶ Medidas para sustituir cabezales de tuberías agrietados y arreglar los registros.
- ▶ Horarios para verificar la precisión de los medidores y limpiar el equipo.
- ▶ Asesoría para identificar y sustituir el equipo deficiente.

- ▶ Lineamientos para utilizar el almacenamiento de agua y horas de operación para reducir los requisitos de operación del sistema en horas pico.

La reducción de la presión del agua en el sistema tiene varios impactos positivos en su eficiencia. Una menor presión de agua puede conducir a la disminución de las fugas, de la tensión en las tuberías y las juntas, y del flujo que va hasta las llaves abiertas del usuario final. La reducción de la presión también alarga la vida del equipo, y disminuye el deterioro del sistema y la necesidad de reparaciones.

Periódicamente deberán efectuarse pruebas de exactitud de todos los medidores, especialmente de los más antiguos. También deberá considerarse el tamaño correcto de los medidores, ya que cuando son demasiado grandes para el nivel de uso de un cliente, pueden registrar un consumo más bajo de agua. De la misma manera, es muy recomendable recalibrar los medidores periódicamente, con el fin de asegurar la contabilización y facturación exacta del agua.

Entre los problemas más comunes se encuentran los siguientes:

- ➔ Fugas
- ➔ Nivel alto de fricción en el interior de las tuberías
- ➔ Distribución inadecuada del sistema
- ➔ Sobredimensionamiento del sistema
- ➔ Selección incorrecta del equipo
- ➔ Equipo anticuado, obsoleto
- ➔ Mantenimiento deficiente
- ➔ Desperdicio del agua utilizable

Se pueden incluir las siguientes correcciones:

- ➔ Rediseño del sistema y readecuación del equipo
- ➔ Disminución de fugas y pérdidas
- ➔ Modernización del equipo
- ➔ Tuberías de baja fricción
- ➔ Bombas eficientes
- ➔ Mejoras en las prácticas de mantenimiento y operación
- ➔ Regeneración y reutilización del agua

6.2.1 Reducción de pérdidas y fugas

La reducción de las pérdidas y fugas es una parte importante de cualquier estrategia. Aunque existen grandes diferencias entre los organismos operadores de servicio de agua respecto a las tasas de agua desperdiciada, ningún organismo es inmune a las pérdidas y fugas de agua por deficiencias.

En países como Estados Unidos e Israel, el 85% o más del agua que entra al sistema generalmente llega al usuario final. Por ejemplo, las autoridades de la ciudad de Austin, Texas, afirman categóricamente que solamente un 8% de agua es desperdiciada en su sistema, manteniendo esta tasa a través de un programa muy agresivo de disminución de fugas. Sin embargo, en muchos otros países como Turquía y Egipto, la cifra de agua desperdiciada sube hasta un 50%. Una revisión de 54 proyectos en países en desarrollo, financiada por el Banco Mundial, descubrió que la pérdida promedio de agua durante su suministro y tratamiento era del 34%.

En el sector que se estudió en el subcapítulo anterior, se observa una incidencia de fugas del 20% del volumen; este porcentaje es alto y debe modificarse con la implementación de medidas correctivas. En muchos casos, las pérdidas importantes son causadas por un mantenimiento deficiente del sistema, especialmente en lugares donde los sistemas de medición son deficientes o no existen. La disminución de estas pérdidas mejorará la eficiencia general del sistema.

Además, los organismos operadores de servicio de agua con que presentan problemas de fugas, se ven obligados no solamente a bombear más agua de la que realmente se necesita, sino también a aumentar la presión del sistema para garantizar que el agua llegue al consumidor. Por lo general, el aumento de la presión es económicamente más caro que arreglar las fugas y mantener una presión más baja. Además, una presión más alta en el sistema en realidad agrava las fugas, desperdiciando incluso más agua y energía.

CONCLUSIONES

Múltiples documentos basados en estudios de la CONAGUA, afirman que en nuestro país el agua es un recurso que, desde el punto vista hidrológico, está mal distribuido a lo largo y ancho de nuestro territorio, deficientemente utilizado e irresponsablemente contaminado, por lo que tiene una gran importancia su cuidado y correcto abastecimiento. La metodología que se propone en esta tesis, y que aborda la problemática de las pérdidas en las redes urbanas de distribución del agua, puede ser una herramienta muy útil para este propósito.

Esta metodología es aplicable en distritos hidrométricos que se encuentren debidamente aislados, esto es, que se encuentren detectados y medidos; el total de entradas y salidas de agua al distrito, deben, a su vez, contar con macromedición.

El sistema de ecuaciones de la metodología fue aplicado en un distrito hidrométrico con servicio continuo de agua en la red; sin embargo, la metodología se puede aplicar en distritos hidrométricos con distintas formas de abastecimiento, incrementándose el número de coeficientes e incógnitas. Por ejemplo, en el caso de sectores con tandeo.

El planteamiento aquí propuesto exige conocer, aunque sea cualitativamente, los coeficientes de corrección en la precisión de la macro y micromedición, ya que deben representar las variables con menor incertidumbre del balance, como fue el caso en este trabajo. La metodología requiere de estos indicadores para poder obtener resultados precisos. A falta de estos indicadores y su incertidumbre, en la presente tesis se ha presentado una metodología a fin de determinarlos e introducirlos en el sistema numérico de diagnóstico.

La cobertura y eficiencia de la micromedición es un valor que debe ser igualmente determinado con base en el padrón de usuarios y el plano de lotificación actualizados; en este caso, existe un sinnúmero de referencias técnicas y estudios aplicados de campo, a fin de evaluar la precisión y cobertura de un padrón de usuarios, por lo que se ha omitido su descripción en el contenido de esta tesis.

El criterio permite la intervención de las variables medidas de presión y gasto (entrada y salida); todas éstas sin limitantes en cuanto al número de intervalos de tiempos disponibles, es decir, si el número de intervalos de balances en el tiempo crece, aumentará la precisión y contundencia de las conclusiones. La población, la dotación y las características geométricas de la red, son parámetros constantes en el tiempo.

El intervalo de tiempo de análisis depende de la frecuencia de lectura de la micromedición disponible, en este caso bimestral; sin embargo, debido a la frecuencia horaria de la macromedición disponible, sería recomendable reducir los intervalos de la micromedición, de ser posible (dependiendo de la extensión del sector y del número de micromedidores), a una semana o 15 días. Esto redundaría en una mayor precisión de las conclusiones respecto a los porcentajes de fugas y clandestinaje.

La técnica de muestreo, en la precisión de la Macro y Micro medición, puede resultar una inversión alta en tiempo y dinero, por lo que debería revisarse su aplicación, contrastando con los costos requeridos de una lectura de micromedición con intervalos de tiempo menores a un bimestre.

La metodología propuesta es una herramienta de gran utilidad para que el organismo operador tome decisiones en cuanto al destino del presupuesto asignado para poder mejorar la eficiencia física de la red de abastecimiento, reduciendo así el índice de pérdidas de agua.

Con base en los resultados del método numérico propuesto, un Organismo de Servicios de Agua con un alto número de Distritos Hidrométricos que constituyan la red de distribución, puede elegir qué Distrito atender y aplicar un tipo de acción en forma eficiente y, con ello, disminuir las dos principales causas de pérdida de agua: el clandestinaje y las pérdidas físicas.

Durante la aplicación de la Metodología, el área comercial del Organismo podrá identificar a los grandes grupos de consumidores mayores y tener un mejor cuidado en su medición, facturación y cobranza, así como influir en las costumbres de consumo de éstos.

Con el análisis propuesto a partir de los registros históricos de medición y su comparación con el padrón de usuarios del distrito hidrométrico, se podrán detectar, en un futuro, incrementos anómalos en el consumo de agua, lo que servirá para descubrir posibles desperdicios de agua o tomas clandestinas.

ANEXO

Tabla de frecuencia

RANGO [m ³ /bimestre]	Valor medio	F _i (usuarios)	Consumo _i [m ³ /bimestre]	Frecuencia Acumulada (usuarios)	Consumo Acumulado [m ³ /bimestre]	Consumo Acumulado [%]
0 - 10	5	264	808.32	264	808.32	0.59%
10 - 20	15	217	3,330.85	481	4,139.17	3.00%
20 - 30	25	264	6,709.23	745	10,848.40	7.87%
30 - 40	35	253	8,688.38	998	19,536.78	14.17%
40 - 50	45	330	14,899.05	1,328	34,435.83	24.98%
50 - 60	55	247	13,408.44	1,575	47,844.27	34.71%
60 - 70	65	128	8,263.97	1,703	56,108.24	40.71%
70 - 80	75	128	9,553.64	1,831	65,661.88	47.64%
80 - 90	85	85	7,213.82	1,916	72,875.70	52.88%
90 - 100	95	73	6,878.24	1,989	79,753.94	57.87%
100 - 110	105	61	6,382.92	2,050	86,136.86	62.50%
110 - 120	115	34	3,906.98	2,084	90,043.84	65.33%
120 - 130	125	41	5,098.58	2,125	95,142.42	69.03%
130 - 140	135	25	3,381.92	2,150	98,524.34	71.48%
140 - 150	145	21	3,003.10	2,171	101,527.44	73.66%
150 - 160	155	16	2,467.18	2,187	103,994.62	75.45%
160 - 170	165	10	1,653.73	2,197	105,648.35	76.65%
170 - 180	175	11	1,914.47	2,208	107,562.82	78.04%
180 - 190	185	13	2,393.05	2,221	109,955.87	79.78%
190 - 200	195	9	1,760.44	2,230	111,716.31	81.06%
200 - 210	205	4	816.15	2,234	112,532.46	81.65%
210 - 220	215	11	2,349.85	2,245	114,882.31	83.35%
220 - 230	225	5	1,133.34	2,250	116,015.65	84.18%
230 - 240	235	3	694.78	2,253	116,710.43	84.68%
240 - 250	245	4	985.78	2,257	117,696.21	85.39%
250 - 260	255	3	760.71	2,260	118,456.92	85.95%
260 - 270	265	2	533.16	2,262	118,990.08	86.33%
270 - 280	275	4	1,096.79	2,266	120,086.87	87.13%
280 - 290	285	3	844.00	2,269	120,930.87	87.74%
290 - 300	295	3	881.44	2,272	121,812.31	88.38%
300 - 310	305	4	1,234.09	2,276	123,046.40	89.28%
310 - 320	315	2	634.02	2,278	123,680.42	89.74%
320 - 330	325	1	327.60	2,279	124,008.02	89.97%
330 - 340	335	2	672.24	2,281	124,680.26	90.46%
340 - 350	345	1	341.00	2,282	125,021.26	90.71%
350 - 360	355	0	0.00	2,282	125,021.26	90.71%
360 - 370	365	2	729.56	2,284	125,750.82	91.24%
370 - 380	375	1	370.80	2,285	126,121.62	91.51%
380 - 390	385	1	388.60	2,286	126,510.22	91.79%
390 - 400	395	0	0.00	2,286	126,510.22	91.79%
400 - 410	405	0	0.00	2,286	126,510.22	91.79%
410 - 420	415	0	0.00	2,286	126,510.22	91.79%
420 - 430	425	1	424.56	2,287	126,934.78	92.10%
430 - 440	435	0	0.00	2,287	126,934.78	92.10%
440 - 450	445	1	445.28	2,288	127,380.06	92.42%
450 - 460	455	0	0.00	2,288	127,380.06	92.42%
460 - 470	465	1	464.88	2,289	127,844.94	92.76%
470 - 480	475	0	0.00	2,289	127,844.94	92.76%
480 - 490	485	2	975.95	2,291	128,820.89	93.47%
490 - 500	495	1	499.59	2,292	129,320.48	93.83%

RANGO [m³/bimestre]	Valor medio	F_i (usuarios)	Consumo_i [m³/bimestre]	Frecuencia Acumulada (usuarios)	Consumo Acumulado [m³/bimestre]	Consumo Acumulado [%]
500 - 510	505	0	0.00	2,292	129,320.48	93.83%
510 - 520	515	1	513.60	2,293	129,834.08	94.20%
520 - 530	525	0	0.00	2,293	129,834.08	94.20%
530 - 540	535	0	0.00	2,293	129,834.08	94.20%
540 - 550	545	0	0.00	2,293	129,834.08	94.20%
550 - 560	555	0	0.00	2,293	129,834.08	94.20%
560 - 570	565	2	1,131.42	2,295	130,965.50	95.02%
570 - 580	575	1	572.22	2,296	131,537.72	95.44%
580 - 590	585	0	0.00	2,296	131,537.72	95.44%
590 - 600	595	0	0.00	2,296	131,537.72	95.44%
600 - 610	605	0	0.00	2,296	131,537.72	95.44%
610 - 620	615	1	618.45	2,297	132,156.17	95.89%
620 - 630	625	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
630 - 640	635	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
640 - 650	645	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
650 - 660	655	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
660 - 670	665	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
670 - 680	675	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
680 - 690	685	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
690 - 700	695	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
700 - 710	705	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
710 - 720	715	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
720 - 730	725	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
730 - 740	735	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
740 - 750	745	0	0.00	2,297	132,156.17	95.89%
750 - 760	755	1	754.60	2,298	132,910.77	96.43%
760 - 770	765	0	0.00	2,298	132,910.77	96.43%
770 - 780	775	1	778.36	2,299	133,689.13	97.00%
780 - 790	785	0	0.00	2,299	133,689.13	97.00%
790 - 800	795	0	0.00	2,299	133,689.13	97.00%
800 - 810	805	0	0.00	2,299	133,689.13	97.00%
810 - 820	815	0	0.00	2,299	133,689.13	97.00%
820 - 830	825	0	0.00	2,299	133,689.13	97.00%
830 - 840	835	0	0.00	2,299	133,689.13	97.00%
840 - 850	845	1	849.03	2,300	134,538.16	97.61%
850 - 860	855	0	0.00	2,300	134,538.16	97.61%
860 - 870	865	0	0.00	2,300	134,538.16	97.61%
870 - 880	875	0	0.00	2,300	134,538.16	97.61%
880 - 890	885	0	0.00	2,300	134,538.16	97.61%
890 - 900	895	0	0.00	2,300	134,538.16	97.61%
900 - 910	905	0	0.00	2,300	134,538.16	97.61%
910 - 920	915	1	1,835.08	2,301	136,373.24	98.95%
920 - 930	925	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
930 - 940	935	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
940 - 950	945	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
950 - 960	955	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
960 - 970	965	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
970 - 980	975	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
980 - 990	985	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
990 - 1000	995	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1000 - 1010	1005	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1010 - 1020	1015	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1020 - 1030	1025	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1030 - 1040	1035	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1040 - 1050	1045	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%

RANGO [m³/bimestre]	Valor medio	F_i (usuarios)	Consumo_i [m³/bimestre]	Frecuencia Acumulada (usuarios)	Consumo Acumulado [m³/bimestre]	Consumo Acumulado [%]
1050 - 1060	1055	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1060 - 1070	1065	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1070 - 1080	1075	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1080 - 1090	1085	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1090 - 1100	1095	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1100 - 1110	1105	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1110 - 1120	1115	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1120 - 1130	1125	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1130 - 1140	1135	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1140 - 1150	1145	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1150 - 1160	1155	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1160 - 1170	1165	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1170 - 1180	1175	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1180 - 1190	1185	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1190 - 1200	1195	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1200 - 1210	1205	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1210 - 1220	1215	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1220 - 1230	1225	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1230 - 1240	1235	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1240 - 1250	1245	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1250 - 1260	1255	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1260 - 1270	1265	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1270 - 1280	1275	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1280 - 1290	1285	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1290 - 1300	1295	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1300 - 1310	1305	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1310 - 1320	1315	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1320 - 1330	1325	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1330 - 1340	1335	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1340 - 1350	1345	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1350 - 1360	1355	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1360 - 1370	1365	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1370 - 1380	1375	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1380 - 1390	1385	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1390 - 1400	1395	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1400 - 1410	1405	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1410 - 1420	1415	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1420 - 1430	1425	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1430 - 1440	1435	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1440 - 1450	1445	0	0.00	2,301	136,373.24	98.95%
1450 - 1460	1455	1	1,452.99	2,302	137,826.23	100.00%
TOTALES		2302	137,826.23			

BIBLIOGRAFÍA

1. CONAGUA, *Situación del subsector de agua potable, alcantarillado y saneamiento*, México, 2006.
2. IMTA, *Manual de tarifas*, México, 2004.
3. Buenfil, Mario O. R.1, Buenfil, Andrés A. F.2, *Mejoras a estructuras tarifarias de servicios urbanos de agua y saneamiento. A partir de necesidades en México e internacionales*.
4. Pérez Roas, José A. *Valoración económica del agua*, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, CIDIAT, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
5. CONAGUA, *Planeación de acciones de incremento y control de eficiencia en sistemas de agua potable*.
6. *Edición TWUWS de los indicadores de las utilidades del agua y de las aguas residuales* 2da edición, 1996
7. Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000
8. WATERGY, Adaptado de Xie, Kuffner y Le Moigne, 1993
9. LOHR Sharon L., *Muestreo: Diseño y análisis*, [Tr.] Óscar Alfredo Palmas Velasco, International Thomson Editores, México, 1999.
10. Cagigas Velásquez, José Roberto y Fernández González, Mónica, *Manual .IMTA* por :
11. HINES William W., Montgomery Douglas C. *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*, [Tr.]. Act. Ma. De Lourdes Fournier de Fournier, CECSA, México, 1988, pp. 667.