

CAPÍTULO XIV. CRITERIOS PARA LA EVALUACION, OPTIMIZACION Y REHABILITACION DE INSTALACIONES EXISTENTES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ASPECTOS A TENER EN CUENTA AL PLANIFICAR LA OPTIMIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	7
2.1. AGUA NO CONTABILIZADA	7
2.1.1. <i>Componentes del Agua no Contabilizada</i>	10
2.1.2. <i>Consumos de Agua Potable</i>	10
2.1.3. <i>Usos del Agua Como Insumo en el Sistema de Abastecimiento.....</i>	11
2.1.4. <i>Pérdidas en un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable</i>	11
2.1.5. <i>Cuestiones Vinculadas al Sistema Comercial y Operacional.....</i>	17
2.1.6. <i>Usos del Agua en un Sistema de Agua Potable</i>	18
3. REDUCCIÓN DEL AGUA NO CONTABILIZADA, PROGRAMAS DE CONTROL DE PÉRDIDAS	21
3.1. CONTROL DE PÉRDIDAS DESDE LA OPERACIÓN.....	24
3.1.1. <i>Relevamientos de la Red</i>	25
3.1.2. <i>Macromedición en Redes y Pitometría</i>	26
3.1.3. <i>Determinación de Zonas Prioritarias Cuando no son Viabes los Estudios Pitométricos.....</i>	37
3.1.4. <i>Empleo de Equipos Para la Detección de Fugas.....</i>	37
3.1.5. <i>Control de las Fugas.....</i>	37
3.1.6. <i>Mejoras en las Conexiones Domiciliarias.....</i>	38
3.1.7. <i>Sectores de la Empresa Responsable del Control de Pérdidas</i>	38
4. POLÍTICAS DE MICROMEDICIÓN	40
4.1. BENEFICIOS QUE SE PUEDEN LOGRAR CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TARIFARIO BASADO EN LA MICROMEDICIÓN DE CONSUMOS	40

4.2. CONCEPCIÓN SISTÉMICA DE LA MICROMEDICIÓN.....	42
4.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS	48
4.3.1. <i>Método Comparativo</i>	<i>48</i>
4.3.2. <i>Método Numérico.....</i>	<i>51</i>
4.4. DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE MICROMEDICIÓN	57
4.4.1. <i>Etapas del Estudio.....</i>	<i>57</i>
5. REHABILITACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE	63
5.1. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS QUE ORIGINAN LA REHABILITACIÓN	63
5.2. VIDA UTIL DE LAS REDES	64
5.3. PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE REDES.....	66
5.4. ANÁLISIS DE CAPACIDAD HIDRÁULICA	71
5.5. ANÁLISIS DEL ESTADO ESTRUCTURAL	72
5.6. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE FALLAS.....	73
5.7. PROCEDIMIENTOS DE REHABILITACIÓN DE REDES	73
5.7.1. <i>Rehabilitación Con Excavación</i>	<i>74</i>
5.7.2. <i>Rehabilitación Sin Excavaciones.....</i>	<i>74</i>
6. INSPECCIONES, OBSERVACIONES, INSTRUMENTACIÓN	89
7. EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS	101
7.1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD INSTALADA, DÉFICIT SUPERÁVIT	101
7.2. OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	105
7.2.1. <i>Estructura de Optimización</i>	<i>106</i>
7.3. OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS CONVENCIONALES.....	107
8. BIBLIOGRAFIA.....	110

LISTA DE ILUSTRACIONES

TABLAS

Tabla 1. Índices de pérdidas en sistemas de provisión de agua en diferentes ciudades.....	8
Tabla 2 Clasificación de fugas según su magnitud.....	15
Tabla 3 Relación agua no contabilizada, (ANC) pérdidas, agua facturada y no facturada	18
Tabla 4. Soluciones a distintos problemas planteados en casos de agua no contabilizada	24
Tabla 5. Indicadores a utilizar para el establecimiento de sectores prioritarios de control de pérdidas	36
Tabla 6. Frecuencia de consumo de la Ciudad de Garanhuns - Agosto 1978.....	49
Tabla 7. Cuadro Analítico sistema medido de algunos sistemas de abastecimiento en el Estado de Pernambuco. Brasil, Junio 1977	52
Tabla 8. Sistemas tarifarios medidos típicos	53
Tabla 9. Ejemplo de indicadores establecidos para el análisis de un caso de selección de áreas prioritarias para micromedición	54
Tabla 10. Cómputo de la puntuación del área a seleccionar.....	55
Tabla 11. Características de las zonas a analizar	55
Tabla 12. Orden de prioridades de zonas para micromedición	56
Tabla 13. Indicadores utilizados en el programa de micromedición.....	59
Tabla 14. Causas de reconstrucción y rehabilitación	64
Tabla 15. Indicadores de valoración de los componentes del valor de uso	67
Tabla 16. Método de evaluación por medio de indicadores	70
Tabla 17. Rangos de calificación del indicador suma0.....	71
Tabla 18. Clasificación de posibles fallas	73
Tabla 19. Clasificación de tecnologías de no excavación	75
Tabla 20. Aplicabilidad de las técnicas disponibles	86
Tabla 21. a), b) y c) Tendido de cañerías sin ejecución de zanjas.....	87
Tabla 22. Capacidad instalada y ampliaciones por etapa	103
Tabla 23. Resumen de causas de problemas operativos en el tratamiento convencional.....	108

FIGURAS

Figura 1. Resultado del análisis de 20.000 reparaciones. Empresa de Abastecimiento de Agua de Bogotá - Colombia	14
Figura 2. Comportamiento de una fuga ocurrida debido al envejecimiento, fatiga de los materiales y asentamientos del suelo. C.J. Mink - Kiwa. Holanda.....	16
Figura 3. Resultado de un estudio realizado, sobre 20.000 reparaciones en conexiones domiciliarias, por la Empresa. de Abastecimiento de Agua de Bogotá - Colombia	16
Figura 4. Desarrollo histórico de los costos anuales para la disminución de pérdidas en redes de agua	19
Figura 5. Esquema de los sectores de la empresa que deben participar en los programas de reducción de agua no contabilizada	22
Figura 6. Usos del agua y perdidas y consumos que dan origen a agua no contabilizada.....	23
Figura 7. Cámara de macromedición	27
Figura 8. Principio de medición de consumo cero (Caudal = 0)	29
Figura 9. Principios de medición de consumo cero. Existencia de caudales	29
Figura 10. Principios de medición de consumo cero (Existencia de caudal de consumo nocturno más pérdidas)	29
Figura 11. Esquema de Distrito Pitométrico.....	35
Figura 12. Subsistema de micromedición integrado a la estructura sistémica de una empresa de provisión de agua.....	43
Figura 13. Subsistema de micromedición, estructura operacional	47
Figura 14. Evolución de los volúmenes medidos en función de los medidores instalados	50
Figura 15. Vida útil teórica de cañerías de hierro fundido	65
Figura 16. Evaluación de las conducciones de agua según su estado y capacidad.....	68
Figura 17. Análisis realizado por Shamir y Howard	69
Figura 18. Esquema aplicación localizada de resina	76
Figura 19. Sellado de juntas	77
Figura 20. Redondeo de cañerías.....	78
Figura 21. Revestimiento interior de cañerías (lining-relinig).....	78
Figura 22. Corte de cañería con cabezal rociador	79
Figura 23. Esquema del sistema de aplicación de resina.....	80
Figura 24. Detalle de una cañería revestida con mortero de cemento	80
Figura 25. Variación de coeficiente de fricción	81
Figura 26. Método de inserción de membranas.....	81
Figura 27. Caso de cañería flexible y continua	83
Figura 28. Introducción de cañerías de material rígido.....	83
Figura 29. Esquema de acoplamiento de los caños	84
Figura 30. Tubería preparada para ser introducida en otra existente.....	84
Figura 31. Inserción de cañería nueva con tecnología de bursting	85
Figura 32. Geófono mecánico	94
Figura 33. Disposición típica del equipo de correlación acústica en relación a la tubería	97
Figura 34. Disposición de funcionamiento del detector magnético	99
Figura 35. Principio de funcionamiento del detector ultrasónico	100
Figura 36. Capacidad instalada y ampliaciones por etapa	105

1. INTRODUCCIÓN

La optimización y rehabilitación de las instalaciones existentes ha adquirido una gran importancia en los últimos años debido a la necesidad de programar las inversiones en los sistemas de un modo apropiado utilizando todas las posibilidades de los sistemas existentes, optimizando los mismos en aquéllos casos que sea posible y rehabilitando su estado físico en los casos que sea necesario.

Para llevar a la práctica la optimización de los sistemas y en los casos donde se requiera su rehabilitación es necesario, antes que nada, realizar una correcta evaluación de los mismos.

Son muchos los temas que deben considerarse relacionados con la evaluación de los sistemas. Como primera medida se debe realizar un diagnóstico técnico y operacional del sistema en cuestión para conocer el estado físico del mismo y su capacidad real, tanto en las plantas de potabilización como en los sistemas de almacenamiento y distribución.

Para este análisis se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

- Relevamiento general del sistema.
- Diagnóstico técnico y operativo del sistema.
- Estudio de oferta/demanda, evaluación de la fuente, conducciones principales, planta de tratamiento y reservas, déficit y superávit de la capacidad instalada de cada parte integrante del sistema (Fuentes, aducciones, plantas, conducciones principales, reservas, redes, etc.).
- Detección de los problemas principales.
- Planteo de soluciones y alternativas.
- Establecimiento de programas de optimización, ampliación, rehabilitación.
- Cálculo de las inversiones necesarias para su implementación.
- Establecimiento de las inversiones por etapas.

1). Relevamiento general del sistema

Esta etapa tiene por finalidad recopilar información sobre las instalaciones del sistema de abastecimiento de agua potable en su totalidad, en la que se deberá reunir todos los documentos relativos al mismo, en particular:

- Memoria descriptiva y planos de los proyectos conforme a obra que le dieron origen.
- Proyectos posteriores de ampliaciones realizadas o mejoramiento.
- Informes de evaluación previas por parte del operador del servicio.
- Resúmenes mensuales de los registros de operación de la o las tomas de agua, la planta potabilizadora y/o de las perforaciones, y del sistema de distribución.

- Registros de medición de caudales en los distintos puntos del sistema.
- Registros de control de la dosificación de productos químicos y consumos de energía, en plantas y sistema de distribución.
- Registros de control de calidad de agua cruda, tratada, mediciones de cloro residual y análisis bacteriológico del efluente de la planta y en la red de distribución.
- Registros o informes de los programas de mantenimiento de las diferentes instalaciones, redes, tanques, unidades de la planta y equipos en general.
- Registros de administración: personal afectado a la operación de cada parte integrante del sistema, con indicación de cargos y especialidades.
- Estadísticas de reclamos de averías, fallas y roturas.
- Estadísticas de reparación de fallas en conducciones.
- Manuales de operación y manuales de mantenimiento del sistema de distribución y de las plantas de potabilización.

Es necesario realizar una visita a las instalaciones del sistema, durante la cual se puede obtener información directa del personal encargado de la operación y en la medida de las posibilidades solicitar información sobre los tres últimos años de operación y en su defecto del último. Se debe tratar de recorrer todo el sistema, realizando una inspección para verificar las características del mismo y de sus instalaciones, así como la forma en que está operando, y formular un diagnóstico preliminar como resultado de dicha observación.

Se debe tratar de detectar visualmente la existencia de anomalías que puedan repercutir en la eficiencia de la operación tanto de las redes como de la planta, dando una idea aproximada de los problemas existentes.

Durante esta inspección se debe verificar también la existencia y funcionamiento del equipamiento electromecánico (cantidad, capacidades, estado, vida útil), de equipos de operación de redes, de laboratorio, materiales, instrumentos de medición y equipos en general.

Entre los objetivos principales se puede mencionar la necesidad de determinar:

- El estado de las obras civiles.
- Las características hidráulicas, parámetros operacionales y eficiencia de las partes componentes del sistema y sus instalaciones complementarias.
- Características y eficiencia de la organización operativa, de mantenimiento y administración.
- Las causas o actividades responsables de la reducción de la eficiencia del tratamiento y distribución de agua potable.
- Si el sistema o algunas de sus partes, es susceptible de ser optimizado.
- La eficiencia y adecuación de nuevos sistemas y tecnologías.

- Las necesidades de rehabilitación estructural de las unidades integrantes del sistema.
- La necesidad de recambio de equipamiento electromecánico (motores, bombas, accionadores, motorreductores, etc.).

2). Diagnóstico del sistema

Con la información recogida se debe elaborar un diagnóstico técnico operacional, que incluya los siguientes aspectos:

- Descripción de la localidad.
 - Ubicación.
 - Población actual, índices de crecimiento de población, mortalidad infantil, morbilidad.
 - Principales recursos económicos.
 - Cobertura de agua potable, expresada en porcentaje de población total y su distribución areal.
- Descripción del sistema de abastecimiento.
 - Fuentes de abastecimiento: tipos de obras de toma, número capacidad y caudales que aportan.
 - Aducciones: longitud, diámetro, capacidad, año de instalación.
 - Reservas: tipo y capacidad.
 - Conducciones principales.
 - Redes de distribución: capacidad, porcentaje, radio servido, antigüedad, estado actual.
 - Estaciones de bombeo.
 - Tanques de distribución.
 - Instalaciones complementarias, etc.
- Descripción general de las instalaciones de tratamiento.
 - Tipo de plantas, capacidad, etapas de ampliación anteriores.
 - Zonas de abastecimiento correspondientes a cada una.
 - Calidad del agua cruda que se trata.
 - Breve descripción de las unidades que las conforman, capacidad instalada según proyecto, capacidad de procesamiento actual, (cabe señalar que el proyectista se puede encontrar con plantas existentes que originalmente se proyectaron para filtración lenta y funcionan en la realidad como filtración rápida, no por una optimización de la misma sino para tener mayor producción, lo cual no significa que su capacidad se ha ampliado).

- Verificación de la operación de la planta. Muchas veces el problema no es de capacidad instalada sino de operación deficiente.
- Verificación de los problemas de operación en distintas situaciones de servicio, normal, especial, de emergencia.
- Detección de problemas en el funcionamiento de las unidades.
 - ❖ Mezcla rápida.
 - ❖ Floculación.
 - ❖ Sedimentación.
 - ❖ Filtración.
 - ❖ Desinfección.
 - ❖ Otros procesos que se apliquen en la planta.
 - ❖ Unidades según la tecnología de tratamiento aplicada.
- Problemas de tipo operativo.
 - Tipo de macromedidores o instalaciones utilizadas para medición de caudales.
 - Nivel del personal que ejecuta la operación.
 - Base de datos operacional.
- Mantenimiento del sistema.
 - Implementación de los programas de mantenimiento preventivo y correctivo.
 - Obras civiles.
 - Equipos e instrumentación.
- Administración del sistema.
 - Control de personal.
 - Control de materiales.
 - Organización de servicios.
- Control de calidad del agua entregada a consumo:
 - Cumplimiento de la calidad del agua entregada a consumo según la normativa vigente.
 - Funcionamiento de laboratorio, para control de cada operación y para control en la distribución.
 - Frecuencia de desinfección en redes y reservas.

3). Conclusión con las soluciones recomendadas y las acciones propuestas.

El diagnóstico debe ser el punto de partida del estudio de oferta/demanda. Su conclusión debe ser el estado real del sistema con sus déficits y sus capacidades y en

base a los datos obtenidos y analizados establecer la situación actual y proyectar a futuro.

El estudio de demanda se ha descrito en el Capítulo II Estudios Previos, Numeral 5 “Estudio del Mercado y de la Demanda de Agua Potable” de la Fundamentación, el proyectista podrá adecuarlo a sus necesidades y adaptarlo a las características del sistema en estudio.

4). *Planteo de soluciones y alternativas*

Luego de realizado el estudio de demanda el proyectista contará con un resumen cuantitativo de la situación, de dónde podrá partir para la toma de decisiones en cuanto a la solución del problema. Tendrá definidos los déficit y superávit de las fuentes, del tratamiento, la estimación de agua no contabilizada y lo que esto representa en términos de producción, pérdidas en redes etc.

A partir de aquí se debe imaginar las soluciones posibles, a saber:

- Necesidad de optimización y/o ampliación de la fuente, habilitación de otra fuente posible o complementaria, cambio sólo del equipamiento electromecánico.
- Necesidad de optimización en primera etapa y/o ampliación del tratamiento en función de la capacidad existente, en etapas subsiguientes.
- Reducción y control del agua no contabilizada, con planes de control de pérdidas en redes, en conducciones principales, control de rebases en tanques, reducción de conexiones clandestinas, etc.
- Rehabilitación de algún tramo de red o bien alguna unidad de tratamiento o almacenamiento, como, por ejemplo, un tanque de reserva, etc.
- Mejoramiento del catastro de usuarios y de redes.
- Mejoramiento del sistema de medición.
- Mejoramiento del control de calidad.
- Reorganización del mantenimiento.
- Establecimiento de una política de micro y macromedición.
- Otros.

5). *Establecimiento de programas de optimización, ampliación, rehabilitación*

Luego de tomada la decisión respecto a las acciones que se deben efectuar para el adecuado funcionamiento del sistema y la satisfacción de la demanda, y en caso de un sistema nuevo la organización del funcionamiento del mismo, se deben establecer los programas que permiten alcanzar los objetivos y metas fijados para el servicio.

6). *Cálculo de las inversiones necesarias para su implementación*

Una vez definidas las tareas de optimización, ampliación, rehabilitación y reducción de pérdidas, se debe calcular el costo de las soluciones propuestas y establecer las inversiones requeridas para su implementación a corto, mediano y largo plazo.

7). Establecimiento de las inversiones por etapas

Con las inversiones determinadas deberá prepararse un cronograma de inversiones, definiendo las etapas que permitan alcanzar la cobertura de la demanda y calidad de servicio prevista, de acuerdo a las posibilidades de financiamiento.

En relación al financiamiento se pueden dar dos casos:

- a). Que ya exista un proyecto en curso con financiación acordada en cuyo caso el proyectista deberá analizar el alcance de dichas inversiones frente a los montos necesarios para atender la demanda y elaborar un programa de inversiones complementaria solo en aquellos casos en que la evaluación efectuada haya determinado la existencia de déficit en algunas partes del sistema o la conveniencia de implementar acciones en forma paralela al financiamiento original para asegurar la correcta operación del sistema, alcanzar la capacidad de acuerdo a lo previsto o el cumplimiento de su vida útil, etc.
- b). Cuando no existe un proyecto previo en curso, en cuyo caso deberá programar todas las inversiones correspondientes a ampliación, optimización, rehabilitación.

2. ASPECTOS A TENER EN CUENTA AL PLANIFICAR LA OPTIMIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Ciertos conceptos generales no se pueden desconocer a la hora de planificar la optimización y /o ampliación de los sistemas.

Entre ellos se puede mencionar:

- Agua no contabilizada.
- Soluciones propuestas para la reducción del agua no contabilizada en general y el control y reducción de pérdidas en particular.
- Políticas de micromedición.
- Rehabilitación de redes y sistemas de distribución.
- Optimización de plantas de tratamiento de agua potable.
- Operación y mantenimiento.

2.1. AGUA NO CONTABILIZADA

Uno de los problemas más serios en los sistemas de abastecimiento de agua en distintas regiones del mundo, y en particular en América Latina y en nuestro país es el elevado índice de agua no contabilizada en los sistemas, que muchas veces alcanza valores superiores al 40 % del volumen de agua producida.

Es muy común que no se conozcan los volúmenes de agua producidos en las plantas de tratamiento y distribuidos en las redes. Casi siempre los aspectos relacionados con la buena operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua permanecen en un segundo nivel.

Mucho se ha avanzado en los últimos años en relación con la programación de acciones para reducir pérdidas en los sistemas de abastecimiento de agua, pero aún el nivel de agua no contabilizada en algunas localidades de nuestro país sigue siendo alto.

En los países desarrollados las pérdidas son también motivo de preocupación debido a los costos que implica la captación, potabilización, almacenamiento y distribución del agua.

Antes de seguir avanzando en el desarrollo del tema es preciso aclarar el alcance de “agua no contabilizada” debido a que en la bibliografía referida al tema, se vierten conceptos muy diferentes al respecto.

El término agua no contabilizada es un indicador que mide la eficiencia operacional y comercial de los sistemas de abastecimiento de agua.

Por ejemplo en la siguiente **Tabla 1** que da información sobre índices de pérdida para países desarrollados, los que pueden ser entendidos como pérdidas físicas.

País	Ciudad	Índice de pérdidas
Alemania	Berlín	3,0 %
	Frankfurt	4,8 %
	Munich	13,8 %
	Nuremberg	5,7 %
España	Barcelona	22,1 %
	Pamplona	28,0 %
	Sevilla	24,3 %
	Alicante	19,2 %
Francia	París	12,8 %
	Rennes	13,6 %
	Burdeos	21,5 %
	Marsella	36,0 %
Reino Unido	Londres	42,2 %
	Glasgow	49,6 %
	Liverpool	34,9 %
	Plymouth	19,5 %
Estados Unidos	Atlanta	11,8 %
	Columbia	23,0 %
	Hamilton	24,8 %
	San Francisco	11,8 %

Fuente: Revista Acqua – N° 08/1980

Tabla 1. Índices de pérdidas en sistemas de provisión de agua en diferentes ciudades

Es preciso tener prudencia cuando se habla de agua no contabilizada, ya que este concepto surge del agua que no se ha contabilizado por algún motivo, es decir no se informa a qué corresponde, en que se ha utilizado y su valor se engloba en una sola palabra o porcentaje.

En muchos libros y artículos se define el agua no contabilizada como el cociente entre el volumen de agua producido menos el volumen de agua facturado dividido por el volumen producido.

Esta definición se refiere sólo al agua no contabilizada comercial, ya que relaciona cuanto se ha facturado con lo producido.

Sin embargo el criterio mayoritariamente aceptado es el de considerar el agua no contabilizada por distintos conceptos como la diferencia entre la producción y el consumo, en el caso de que se analice el sistema a partir de la distribución. También se puede hacer la relación entre captación y consumo debido a que en la etapa toma-procesamiento también hay un porcentaje de agua no contabilizada.

En estos casos, si se designa A_m como el volumen de agua consumida medida y A_p como el volumen de agua producida, puede establecerse que el agua no contabilizada será:

$$ANC = \frac{A_p - A_m}{A_p} = 1 - \frac{A_m}{A_p} = 1 - \eta$$

donde:

ANC = Agua no contabilizada

η = A_m / A_p

A_m = Agua medida (en el caso de sistema medido)

A_p = Agua producida

Los valores de ANC dependen directamente de la eficiencia del sistema en análisis. En sistemas con una mala administración técnica o comercial puede llegar a alcanzar valores de hasta 50 % o más; de ahí la importancia de su reducción.

Si define como:

Agua captada:

El agua captada en la fuente de abastecimiento a través de una obra de tipo superficial o bien subterránea.

Agua procesada:

El agua que entra en planta, medida a través de algún dispositivo de medición adecuado y pasa por todas las etapas del proceso de potabilización.

Agua producida:

El agua entregada a la distribución para su consumo por usuarios del sistema y otros usos especiales. En el caso de los sistemas combinados dónde una parte se mide y otra se estima (A_e), el componente A_m de la fórmula anterior será reemplazado por $(A_m + A_e)$.

El agua no contabilizada expresada como porcentaje en volumen puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$ANC \% = \frac{V_p - (V_m + V_e)}{V_p} \cdot 100$$

Donde:

ANC = agua no contabilizada

V_p = volumen de agua producida (m^3), se supone medido con macromedidor

V_m = volumen de agua medida (m^3)

V_e = volumen de agua estimada para facturación en conexiones domiciliarias sin medidor (m^3)

Este último término podría ser calculado a partir de los datos de consumos del sector que tiene medidores domiciliarios. Se debe tener en cuenta que donde no hay medidor de consumo, las pérdidas son mas elevadas, el valor $V_e = c \cdot V_m$, siendo c el coeficiente de aumento de uso.

2.1.1. Componentes del Agua no Contabilizada

El agua no contabilizada tiene varios componentes a saber:

- Agua no contabilizada por perdidas propiamente dichas, (incluye pérdidas, fugas, pérdidas en conexiones domiciliarias, etc.).
- Agua no contabilizada que se ha utilizado pero no se ha registrado o medido como el caso de agua en grifos públicos, agua para incendios, riego de calles, limpieza de tuberías, etc.
- Agua no contabilizada debido a conexiones ilegales, que se ha consumido pero no se ha registrado ni cobrado, por problemas en el catastro de usuarios.
- Agua que aparece mal contabilizada por errores en las mediciones.

Es importante aclarar que dependiendo del tipo de cálculo que se esté realizando, se deberá considerar distintos porcentajes y en particular cuando se habla de programas de reducción de agua no contabilizada debe estar perfectamente claro que es lo que se espera reducir.

Con este objetivo definiremos en un sistema de agua potable cuáles son los usos principales del agua, dónde existen habitualmente pérdidas físicas, dónde pérdidas comerciales para que, cuando se realice un estudio se corresponda con la realidad y se estime apropiadamente.

2.1.2. Consumos de Agua Potable

Consumos residenciales y no residenciales.

Consumos especiales.

- Agua para incendios.
- Riego de espacios públicos.
- Grifos públicos de tipo gratuito.
- Fuentes de agua para ornamentación.
- Servicios permitidos que suministran agua en forma gratuita. Entrega de agua en bloque sin medición.

Conexiones ilegales.

2.1.3. Usos del Agua Como Insumo en el Sistema de Abastecimiento

1). Usos en la planta de tratamiento

En las plantas de tratamiento de agua son utilizadas en el proceso cantidades apreciables de agua, a saber:

- Limpieza de los decantadores y floculadores (se estima en 1al 3% de la producción).
- Lavado de filtros (se estima en 1.5 a 4.5%, dependiendo de la tecnología de lavado de filtros).
- Los valores antes mencionados pueden ser excedidos por causas de mala operación, las plantas de tratamiento pueden tener altos porcentajes de agua no contabilizada (del 10% y más del volumen procesado) por mal uso de las instalaciones, en particular por deficiencia del manto filtrante o lavado excesivo de los mismos.
- Agua para consumo interno del personal y edificios, limpieza, lavado etc.
- Riego de jardines.

2). Otros consumos operativos

- Lavado y desinfección de cañerías.
- Lavado de camiones y equipos.
- Utilización de agua potable para mantenimiento del servicio de desagües cloacales, camiones hidrojet, etc.

2.1.4. Pérdidas en un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

Pérdida: es aquélla cantidad de agua que sale del sistema debido a fugas, rebalses, defectos y averías en las instalaciones y que por su característica puede ser estimada a nivel puntual y medida a nivel sectorial (en determinado sector del servicio).

Fugas: Son las pérdidas de agua ocurridas en los sistemas debidas a no estanqueidad de los mismos. En general ocurren debido a roturas de cañerías, juntas defectuosas, válvulas deterioradas, etc.

Desperdicio: es todo aquel agua que se consume innecesariamente por descuido, mala calidad del servicio, falta de cultura de uso del agua, etc.

Causas de las pérdidas en los sistemas de abastecimiento de agua

Las pérdidas en un sistema de abastecimiento de agua pueden ocurrir en los siguientes componentes: conducción, tratamiento, almacenamiento, distribución y conexión domiciliaria.

Pérdidas en las conducciones

Las principales causas de las pérdidas en las conducciones son las siguientes:

- Asentamiento imperfecto del sistema de tuberías y sus componentes.
- Movimiento de suelos.
- Efecto del tránsito de vehículos.
- Tuberías, piezas especiales, registros, válvulas de aire y otros componentes de mala calidad.
- Corrosión producida por elementos del suelo.
- Corrosión producida por elementos del agua.
- Altas presiones, choques y golpes de ariete hidráulico.

Estas pérdidas se producen principalmente en juntas de los caños, válvulas, piezas especiales, etc.

Su magnitud depende del diámetro de las cañerías, del número de juntas, (y como consecuencia del tipo de tuberías empleado) y de la presión interna.

En EEUU se evalúan este tipo de pérdidas en valores que varían desde 10 hasta 98 litros por día, por kilómetro y por milímetro de diámetro, dependiendo de la edad de la instalación.

Si se considera por ejemplo, un valor medio de $50 \text{ l/día} \cdot \text{km. mm}$ de diámetro se obtiene para una cañería de 100 mm de diámetro, 5000 l/día por kilómetro, ó 5 litros por día por metro. Si se supone que el anterior es un diámetro promedio, en una red en la que se calcula 2 metros de cañería por habitante servido (zona de densidad demográfica media), se puede estimar que la pérdida promedio en la red es del orden de $10 \text{ l}_{\text{hab}} \cdot \text{día}$.

En otros casos se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q \leq \frac{N \cdot D \sqrt{p}}{115}$$

Dónde:

Q = pérdida l/día

N = número de juntas

D = diámetro, mm

p = presión media, kg/cm^2

Esta expresión es válida para conducciones de hierro fundido, hierro dúctil o asbesto cemento. Para las conducciones de hormigón puede ser hasta tres veces más grande

Pérdida en la planta de tratamiento

En las plantas de tratamiento, las principales causas de las pérdidas pueden tener su origen en el proyecto, en la construcción y en la operación. En líneas generales, las causas más comunes de pérdidas en las plantas de tratamiento son las siguientes:

- Operación realizada con mano de obra no calificada o mal capacitada.
- Rajaduras o impermeabilidad defectuosa de los decantadores, reservas y demás partes de la planta de tratamiento de agua.
- Equipo inadecuado.
- Medios de comunicación insuficientes.
- Deficiencia del proyecto.

Pérdidas en el almacenamiento

En el almacenamiento de agua filtrada (dependiendo de la tecnología de tratamiento) pueden ocurrir pérdidas cuantiosas debido a rebalses por falta de un sistema de comunicación eficiente entre la unidad de almacenamiento (reserva) y la unidad que lo alimenta.

Otro tipo de pérdidas tienen directamente que ver con filtraciones de la propia estructura de la unidad de almacenamiento.

Un dato de interés puede ser que en Europa se considera que en un sistema bien operado las pérdidas no deben superar el 2%.

Pérdidas en la red de distribución

Las causas de pérdidas en las redes de distribución son similares a las ya comentadas para el caso de las conducciones principales; a aquéllas se agregan los problemas en las piezas de las conexiones domiciliarias, los hidrantes, las descargas parcialmente abiertas, etc.

A causa de la gran extensión de las redes, el gran número de válvulas y piezas especiales, y el tráfico frecuente de vehículos pesados, las pérdidas en las redes de distribución pueden alcanzar valores relativamente elevados, causando grandes perjuicios.

La magnitud de las pérdidas depende de la naturaleza del terreno, de los materiales utilizados, y de los cuidados que se hayan tenido al momento de la construcción en el asentamiento de las cañerías.

A continuación se puede observar la experiencia realizada en Colombia sobre 20.000 reparaciones en la red, donde se verificó que un 40% de las pérdidas totales corresponden a la red de distribución y 60% a las conexiones domiciliarias. (**Figura 1**).

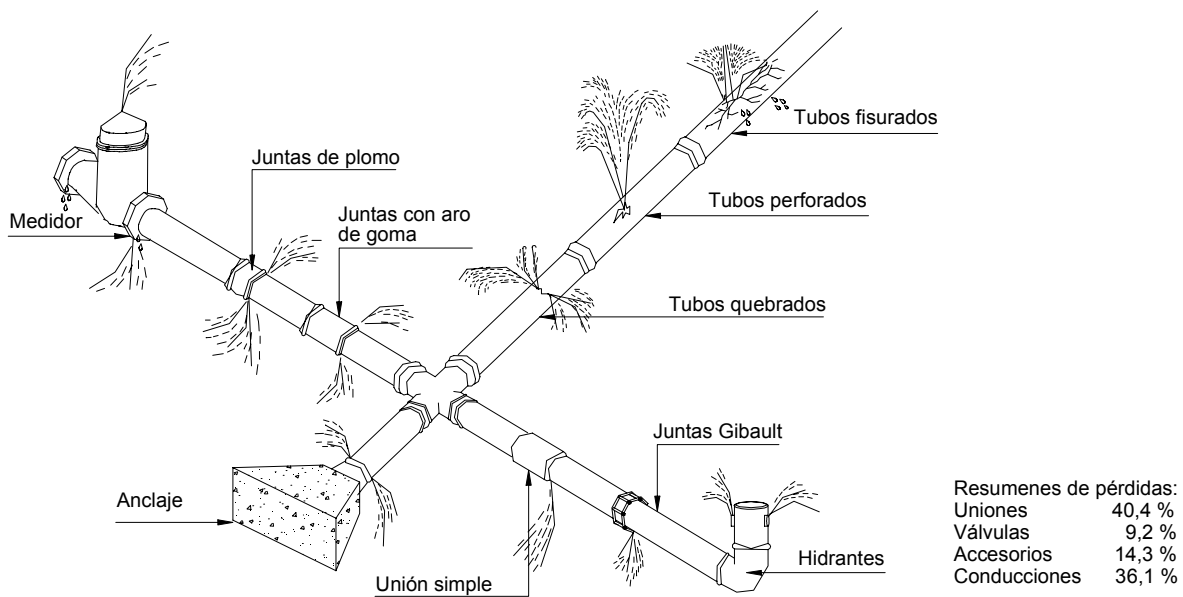


Figura 1. Resultado del análisis de 20.000 reparaciones. Empresa de Abastecimiento de Agua de Bogotá - Colombia

En EEUU son considerados los siguientes valores:

Redes muy buenas 0.04 a 0.08 l/seg/km.

Redes normales 0.08 a 0.27 l/seg/km.

Redes malas por encima de 0.27 l/seg/km.

Se debe considerar que todo sistema tiene fugas irrecuperables, dado que son tan pequeñas que no es conveniente repararlas. Las fugas mínimas fácilmente detectables y económicamente recuperables son aquellas cuyo orden es de 0.025 l/seg.

Se han desarrollado, según la experiencia varias maneras de clasificar las fugas, sin expresar su cantidad en unidades de caudal.

Una de las maneras es diferenciar tres categorías:

Categoría 1

Pertenecen a esta categoría las fugas muy pequeñas. Se suelen presentar en las juntas y piezas especiales, y son prácticamente transpiración o goteo. Estas fugas no son detectables por métodos comunes. Sólo se perciben cuando se pueden ver.

Categoría 2

Estas son pérdidas mucho mayores que las anteriores y contribuyen en un alto porcentaje a las pérdidas de un sector determinado. Estas no son aparentes excepto

cuando se efectúa una inspección mas detallada como medición, sondeos con equipamientos acústicos y/o electrónicos ver Numeral 6 del presente Capítulo. Cabe señalar que existen pérdidas pequeñas, correspondientes a esta categoría para las que es antieconómica su reparación.

Categoría 3

Esta categoría está conformada por los grandes caudales. Por ejemplo, cuando el agua aflora a la superficie, normalmente ocurre por roturas de las cañerías, provocando bajas presiones y falta de agua. Este tipo de pérdidas suele repararse como mantenimiento correctivo, independientemente de los programas de detección de pérdidas.

Existen otras clasificaciones como por ejemplo la del autor Herbert Farrer de Costa Rica. En su publicación Clasificación y causas que ocasionan las pérdidas, las clasifica según la siguiente **Tabla 2**.

Clasificación	Magnitud L/seg
D	Goteo - 0.025
A	0.03 - 0.32
B	0.38 - 1.26
C	Mayor de 1.26

Tabla 2 Clasificación de fugas según su magnitud

Otra clasificación muy utilizada en Holanda para cañerías principales y conexiones domiciliarias es la siguiente:

- Las que afloran a la superficie.
- Las que encuentran una salida subterránea, galería o red colectora de desagües existente.

Estos criterios de clasificación de fugas se establecen en función de estudios económicos de alternativas. Para cada tipo de perdidas se puede analizar los costos de investigación y compararlos con las pérdidas de ingresos de acuerdo al régimen tarifario que se aplica. Mediante este estudio es posible establecer prioridades respecto a las tareas a ejecutar.

Se verifica que la pérdida tiene un aumento gradual y solamente después de alcanzar un determinado valor puede ser detectado por métodos tradicionales de auscultación de redes. (Ver **Figura 2**).

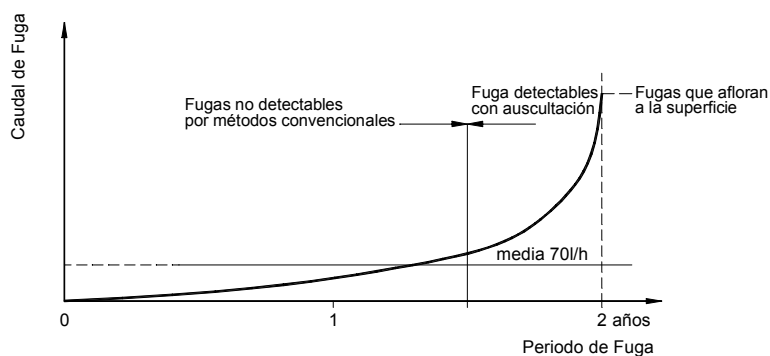


Figura 2. Comportamiento de una fuga ocurrida debido al envejecimiento, fatiga de los materiales y asentamientos del suelo. C.J. Mink - Kiwa. Holanda

Pérdida de agua en las conexiones domiciliarias

A continuación se puede ver el detalle de la observación de 20.000 casos de reparaciones en Bogotá – Colombia ya indicando, representando el 60% de las pérdidas totales.

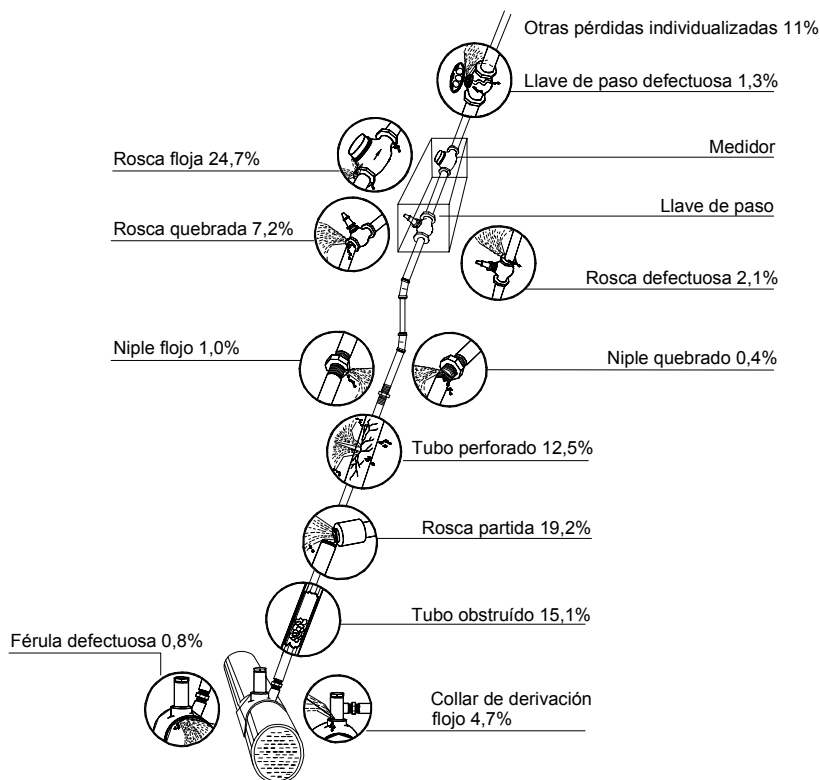


Figura 3. Resultado de un estudio realizado, sobre 20.000 reparaciones en conexiones domiciliarias, por la Empresa. de Abastecimiento de Agua de Bogotá - Colombia

Pérdida de agua en las instalaciones sanitarias domiciliarias

Por defectos en las instalaciones domiciliarias de agua, ocurren pérdidas en válvulas y canillas, rajaduras en las tuberías, rajadura o permeabilidad de las paredes de los tanques, mala regulación de la boya de los tanques en caso de que la tengan, etc.

Otras fugas llamadas invisibles se producen en cañerías enterradas, que sólo aparecen con la instalación de medidores domiciliarios cuando por exceso de consumo, se investiga la causa.

En muchos casos influye la calidad de los materiales utilizados y de la mano de obra especializada que realizó los trabajos de la instalación interna. Estos sólo serán considerados como agua no contabilizada en el caso del sistema no medido. En el caso de sistema con medidor pasa a ser parte del caudal de consumo medido al usuario.

Pérdidas por errores de medición

Los errores de medición se originan en imprecisiones de los equipos de macro y micromedición del flujo. Esta categoría de pérdida marca la eficiencia del sistema de medición. Tiene que ver específicamente con errores en las cantidades de agua medida y no con la pérdida de agua en alguno de los componentes de la instalación.

Todos los medidores en mayor o menor proporción, presentan errores en la medición, dependiendo del tipo calidad, tamaño, edad, condiciones de instalación y otros factores.

En el caso de los macromedidores generalmente se habla de precisión alrededor del 2 %, los medidores domiciliarios presentan errores mayores, sobre todo en el caso de medición de pequeños caudales. Como generalmente se cuenta en los sistemas medidos con gran cantidad de medidores, con edades, marcas, y precisiones diferentes se puede admitir que registran por lo menos un 4 % menos que las cantidades reales.

2.1.5. Cuestiones Vinculadas al Sistema Comercial y Operacional

Entre los problemas relacionados con el manejo del sistema comercial y la implementación y control de sistemas medidos podemos mencionar:

- Catastro técnico deficiente.
- Conexiones domiciliarias no registradas.
- Catastro inadecuado de conexiones domiciliarias de agua.
- Conexiones clandestinas.
- Catastro deficiente de usuarios.
- Pérdida por errores de medición debido a la falta de mantenimiento correctivo y preventivo de los medidores.
- Pérdidas por errores de medición debido al sobredimensionamiento de los medidores.

- Desvío o “by pass” fraudulento del medidor.

2.1.6. Usos del Agua en un Sistema de Agua Potable

La siguiente **Tabla 3** indica en forma resumida, la relación entre el agua no contabilizada, el volumen producido, lo facturado y las pérdidas.

Agua producida	Agua contabilizada	Residencial		Agua facturada	Agua con ingresos
		Comercial			
		Industrial			
		Institucional (***)			
		Consumos Especiales (*) + Consumos durante la operación (*)			
	Agua no contabilizada	Consumos ilegales (clandestinos) (**) (***)		Agua no facturada	Agua sin ingresos
		Pérdidas de agua	Rebalses de reservas (**)		
			Fugas de conducciones y redes (**)		
			Limpieza (*)		
		Errores de medición	Errores de macromedición (**)		
			Errores de micromedición (**)		
			Estimación de otros errores		

(*) ANC Factible de ser registrada, aunque no sea facturada.

(**) ANC Factible de ser reducida en algún porcentaje.

(***) ANC Factible de ser detectada, registrada y facturada.

- - - La separación entre agua facturada y no facturada varía según el sistema de facturación y según el control que se ejerza sobre los consumos especiales e ilegales.

- - - La diferencia entre el agua con ingresos y el agua sin ingresos corresponde al porcentaje de cobranza.

Tabla 3 Relación agua no contabilizada, (ANC) pérdidas, agua facturada y no facturada

Existen estudios en los que se demuestra que las pérdidas y los errores de medición son los componentes importantes del agua no contabilizada y en los mismos se proponen planes de revisión y calibración de los medidores domiciliarios para minimizar la incidencia de la falta de precisión de los mismos. En el Capítulo XV - Micromedidores y Macromedidores de estas Fundamentaciones se describen los métodos de calibración de los medidores domiciliarios.

De cualquier manera, desde el punto de vista técnico, las pérdidas constituyen el principal componente del agua no contabilizada y su magnitud esta en general relacionada con la edad de las tuberías de la red. De ahí que sea importante el diseño de un buen plan de detección y reparación de pérdidas y en los casos en que la edad de la instalación lo justifique, un sistema de sustitución, o rehabilitación de las cañerías de la red.

Obviamente, el número de pérdidas irá en aumento con el envejecimiento de los caños de la red, independientemente de los materiales que se utilicen en la misma, ya que están continuamente expuestos a la corrosión interna y externa.

Algunos autores reportan directivas para la detección de pérdidas en una red de distribución de agua, pero definir un modelo general resulta imposible debido a la gran cantidad de factores a tener en cuenta en el proceso.

En cualquier caso, la base de datos de que disponga el prestador del servicio, con información histórica de pérdidas, fechas de instalación, materiales utilizados, etc. resulta de vital importancia para el establecimiento de cualquier plan de detección y corrección de pérdidas.

Los autores Cabrera, Andrés y Planells proponen un modelo de aumento de pérdidas lineal en el tiempo, con lo que el gráfico que indica pérdidas por km. de red serán rectas con pendientes que dependerán del material utilizado y de las precauciones adoptadas en su colocación.

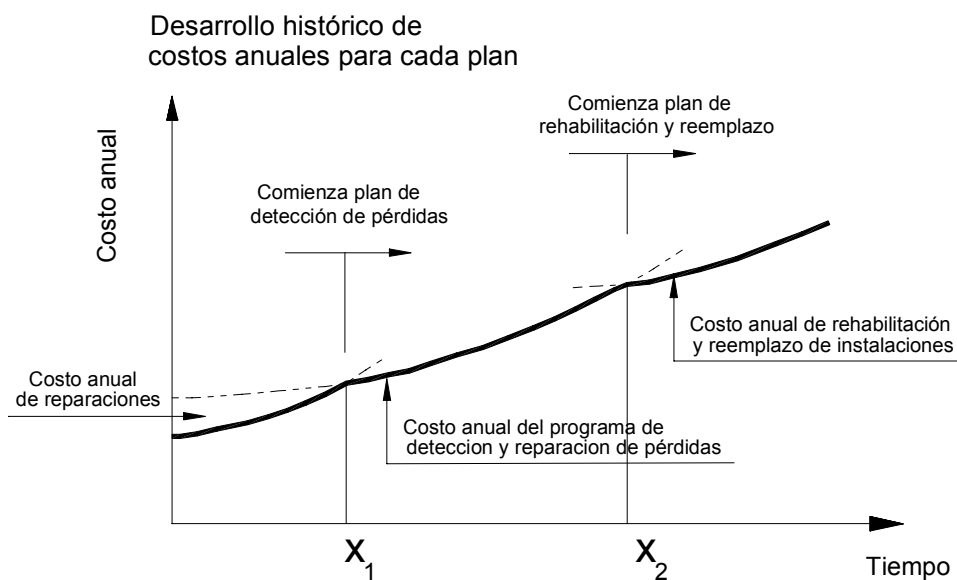


Figura 4. Desarrollo histórico de los costos anuales para la disminución de pérdidas en redes de agua

En base a las consideraciones anteriores, se puede llegar a un análisis de costos en el que se diferencien tres etapas, la etapa de reparaciones de cierta magnitud, la del

establecimiento de un plan de detección y eliminación de pérdidas y un período de sustitución de caños.

En el primer segmento sobre el eje de las abscisas ($x < x_1$), la edad de los caños no justifica el establecimiento de un plan de reparaciones, puesto que su costo es mayor que el de la reparación de las pérdidas a medida que se vayan produciendo.

Una vez que los caños alcanzan cierta edad ($x_1 < x < x_2$), variable para cada instalación y que debe ser determinada de acuerdo a consideraciones respecto a las características y estado de las redes y a la estimación de los costos del programa de detección y de las reparaciones, el establecimiento de un plan de detección reparación de pérdidas resulta más eficiente desde el punto de vista de los costos.

Por último, cuando el envejecimiento de los caños es significativo ($x > x_2$), resulta más económico la sustitución total de los caños de la porción de red considerada que la continuación de un plan de detección de fugas y reparación de las mismas. Nótese que esta consideración se torna válida también en algunos casos en que se encaran obras nuevas de urbanización aunque la edad de los caños no haya alcanzado el punto x_2 .

3. REDUCCIÓN DEL AGUA NO CONTABILIZADA, PROGRAMAS DE CONTROL DE PÉRDIDAS

La falta de eficiencia en la administración de algunas empresas prestadoras del servicio público de abastecimiento de agua puede conducir a pobres resultados de los proyectos de control de pérdidas. Esto a su vez tiene como consecuencia la necesidad de nuevas instalaciones o a ampliaciones de las instalaciones existentes antes de lo planificado.

La decisión de ampliar o rehabilitar las instalaciones de suministro de agua no puede provenir exclusivamente de los contratiempos que surjan en el suministro, sino que deberán estar avaladas por datos confiables y estudios de planificación adecuados. Las fallas en el control de pérdidas suelen conducir a reclamos de los usuarios, lo que se une a la falta de recursos financieros para la expansión de la red de distribución de agua. La falta de información acerca de los montos de las pérdidas y sus causas pueden obstaculizar la materialización de las acciones para prevenirlas y repararlas.

Como conclusión se puede afirmar que la única forma de racionalizar los consumos de agua es contar con sistemas de medición que permitan conocer la cantidad de agua producida, suministrada a la distribución y consumida por los usuarios.

Un programa de control de pérdidas de agua está conformado por aquellas actividades que deben ejecutarse para lograr y mantener los niveles más bajos de pérdidas (producidas por fugas, desbordes, uso ilegal del agua, desperdicio, consumo operacional, consumos especiales y errores de medición o de estimación).

Un programa de control de pérdidas de agua se compone de diferentes proyectos que deben ser implementados de manera integral. Estos proyectos conforman un conjunto de medidas tendientes a reducir las pérdidas y a mejorar la eficiencia de la empresa. Están relacionados con varios de los sistemas de la organización de la entidad prestadora del servicio.

Para garantizar el éxito de los programas para disminuir las pérdidas de agua es necesario que todas las unidades que forman parte de una empresa de saneamiento se comprometan con las acciones a desarrollar principalmente en las áreas comercial y de explotación del sistema.

Se debe tratar el problema desde los puntos de vista de la operación y del sistema administrativo.

Un programa de control de pérdidas no sólo debe reconocer fallas tales como pérdidas o errores de medición sino también sus causas y, de ser posible, minimizarlas o eliminarlas.

Es indispensable que este tipo de programas tengan relación directa con el planeamiento, diseño, construcción, suministro de materiales y equipos, operación, mantenimiento, marketing, organización y administración.

Un programa de control de pérdidas se relaciona estrechamente no sólo con los diferentes sistemas que integran la organización del ente, como con el personal tanto interno como externo de la empresa ya que sus actividades pueden llevar a cambios de

largo alcance en la relación con proyectistas, contratistas y proveedores de materiales y equipos.

En la **Figura 5** se indica, en forma esquemática, las diferentes áreas o departamentos de una empresa prestadora relacionadas con los temas inherentes a la reducción de agua no contabilizada.

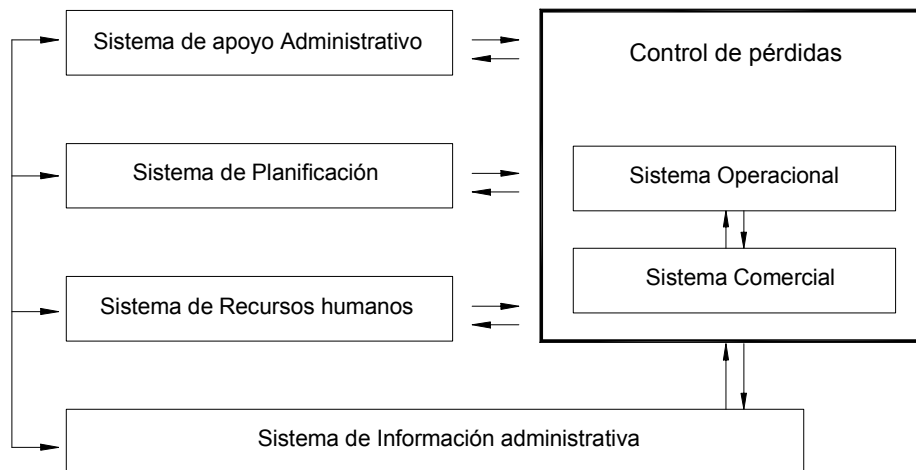


Figura 5. Esquema de los sectores de la empresa que deben participar en los programas de reducción de agua no contabilizada

En la **Figura 6** se indica, en forma esquemática, las fuentes de un sistema de distribución de agua, los posibles usos y las pérdidas y consumos que dan origen a agua no contabilizada.

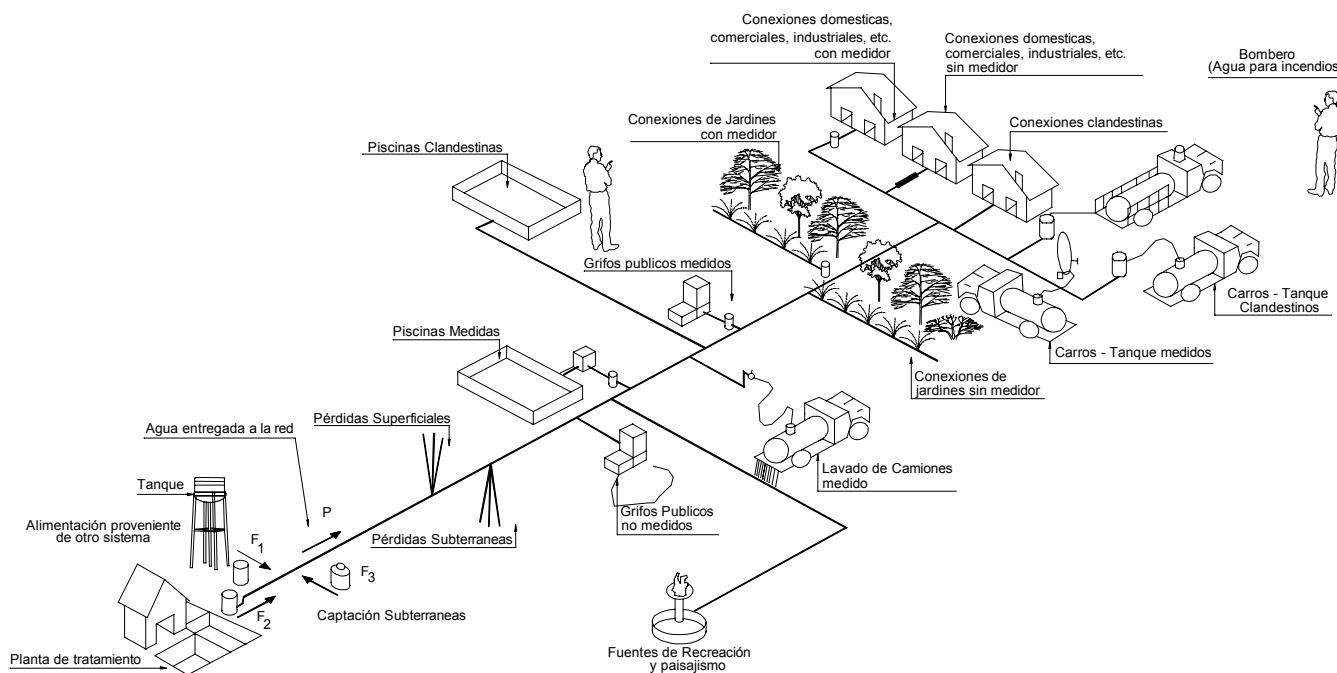


Figura 6. Usos del agua y pérdidas y consumos que dan origen a agua no contabilizada

Desde el punto de vista técnico, se puede plantear la siguiente expresión:

$$P = C + CT + CJ + LC + GP + FRP + P_{Perd.} + API$$

Donde:

P = Agua potable entregada a la red

C = Consumo de conexiones a edificios (residenciales, comerciales, industriales, institucionales), que incluye: consumos medidos, errores de medición, consumos no medidos, errores de estimación, consumos clandestinos y desperdicios.

CT = Carros tanque que incluye: carros tanque con medición, errores de medición, carros tanque sin medición, errores de estimación, carros tanque clandestinos.

CJ = Conexiones en plazas y jardines públicos que incluyen: Conexiones en jardines con medición, errores de medición, conexiones en jardines sin medición, errores de estimación, conexiones clandestinas, desperdicios.

LC = Lavado de Calles que incluye: Agua para lavado de calles medida, errores de medición, agua para lavado de calles no medida, errores de estimación.

GP = Grifos públicos que incluyen: Grifos públicos con medición, errores de medición, grifos públicos no medidos, errores de estimación, desperdicios, grifos públicos clandestinos.

FRP = Fuentes de recreación y paisajismo que incluyen: Fuentes con medición, errores de medición, fuentes sin medición, errores de estimación, desperdicios.

$P_{Perd.}$ = Pérdidas que incluyen, perdidas visibles en superficie, pérdidas subterráneas.

API = Agua para Incendio que incluyen: caudales estimados.

Como resumen, en la **Tabla 4** se plantean para los problemas descritos las soluciones a implementar.

Problemas	Solución
Errores de medición Errores de estimación Desperdicios	Programas de medición
Conexiones clandestinas con diversos fines	Programas de catastro
Pérdidas superficiales y subterráneas Errores de estimación	Programas de control de pérdidas

Tabla 4. Soluciones a distintos problemas planteados en casos de agua no contabilizada

3.1. CONTROL DE PÉRDIDAS DESDE LA OPERACIÓN

Varias de las unidades que conforman la organización de una empresa de provisión de agua tienen que colaborar con los programas de reducción de pérdidas. Pero es indudable que la responsabilidad por el control y reparación de perdidas recae fundamentalmente en los sectores dedicados a la operación y mantenimiento de las redes.

Para el desarrollo e implementación de cualquier programa que se decida llevar a cabo es conveniente tener un conocimiento acabado del sistema que se esta operando. Por ello es muy importante realizar en todos los casos que sea técnica y económicamente posible un relevamiento técnico operativo de la instalación y las actividades de macromedición y pitometría que se describen a continuación en 3.1.1 y 3.1.2 con el fin de detectar las áreas prioritarias a estudiar.

Cuando estas actividades no pueden ejecutarse por razones técnicas o económicas deben considerarse otros criterios como se indica más adelante en 3.1.3.

3.1.1. Relevamientos de la Red

Los objetivos de un relevamiento de la red son los de obtener, procesar, analizar y difundir en la organización los datos operativos relativos a los flujos de agua, presiones y niveles y el de efectuar diagnósticos de las unidades operativas del sistema de distribución de agua tanto en condiciones reales como simuladas.

Un relevamiento de la red conlleva diferentes pruebas operativas en distintas partes del sistema de suministro de agua. El relevamiento arroja una descripción precisa de las condiciones hidráulicas y operativas del sistema. Los resultados del relevamiento podrán ser utilizados para mejorar el funcionamiento del sistema bajo condiciones controladas como por ejemplo para la calibración del modelo matemático de simulación, (ver EPANET en el Capítulo XIII Redes de Distribución).

Todo sistema existente puede ser modelado para observar su funcionamiento y poder intervenir donde realmente sea necesario.

A continuación se mencionan algunos de los resultados que pueden alcanzarse con un buen relevamiento técnico operativo del sistema:

- Medir los flujos y presiones en los conductos principales.
- Medir los flujos y presiones durante períodos extensos (24 horas o una semana) en puntos hidráulicamente importantes de la red de distribución de agua.
- Determinar la capacidad de conducción de las tuberías.
- Detectar las obstrucciones.
- Estudiar el consumo per cápita.
- Determinar el máximo consumo horario y diario.
- Controlar la precisión de los dispositivos de macromedición.
- Determinar la curva de calibración de los dispositivos de medición de presión diferencial.
- Determinar la curva característica de las bombas centrífugas y evaluar el funcionamiento de las estaciones de bombeo.
- Llevar a cabo pruebas que permitan evaluar la capacidad de la red de distribución para cumplir con nuevas demandas de agua.
- Estudiar operaciones, reales y simuladas, de conducción de agua y zonas de presión para facilitar las operaciones de control.
- Realizar pruebas de funcionamiento para la recepción de instalaciones nuevas y rehabilitadas.
- Realizar pruebas especiales para verificar el cumplimiento de requerimientos específicos de un sistema de distribución de agua determinado.

Para llevar a cabo estas actividades se debe adquirir equipamiento de costo accesible y analizar la posibilidad de que el mismo sea mantenido por el proveedor.

Se debe seleccionar personal y entrenarlo para las actividades de relevamiento del estado de las instalaciones.

Luego de haber relevado la información, la misma deberá ser adecuadamente organizada. Sin este recaudo es como si la información no existiera.

En la siguiente etapa se debe definir donde serán instaladas estaciones de medición y desarrollar un programa de actividades que incluya:

- Determinar la capacidad de las conducciones por lo menos una vez cada dos años.
- Revisar del funcionamiento de los instrumentos de macromedición por lo menos una vez cada cuatro meses en operación normal.
- Determinar las curvas de calibración de los instrumentos de presión diferencial una vez por año.
- Determinar las curvas características de las bombas y realizar una evaluación del comportamiento de las estaciones de bombeo una vez cada dos años.

3.1.2. Macromedición en Redes y Pitometría

Definimos como pitometría aquellas operaciones que permiten conocer los valores de caudal y presión en diferentes puntos de un sistema de distribución de agua, utilizando para ello equipos móviles que pueden ser transportados sucesivamente a distintos sectores de las instalaciones donde se requiera medir tales parámetros.

Como macromedición se designa al conjunto de instalaciones fijas integrada por equipos medidores, registradores, graficadores y accesorios cuyo objeto es cuantificar los caudales captados, potabilizados, conducidos y distribuidos en un sistema de abastecimiento de agua.

El desarrollo de los programas de macromedición y pitometría que debe ser cuidadosamente analizado y programado, tiene como objetivo lograr las siguientes determinaciones:

- Monitorear en forma permanente las pérdidas en el sistema de distribución de agua.
- Evaluar periódicamente las causas de las pérdidas, tales como errores de macromedición, errores de micromedición, desbordes, fugas, roturas de tuberías y accesorios, conexiones ilegales, consumos especiales , etc.
- Determinar los coeficientes de consumo, tales como el consumo per cápita y por conexión domiciliaria, picos de consumo diario y horario y consumo mínimo nocturno.
- Determinar el volumen de agua potable producida y entregada al sistema de distribución.
- Evaluar los sistemas de medición existentes, incluido el grado de adecuación de los medidores domiciliarios a los consumos de cada conexión doméstica, el nivel de precisión y sensibilidad de los medidores y el equipamiento, eficiencia del

mantenimiento, la planificación de la reposición de medidores y el procesamiento y análisis de los datos obtenidos de las mediciones.

En relación a los programas de macromedición se debe tener en cuenta que:

Son útiles para controlar el volumen de agua producida y verificar el agua consumida, medida con micromedidores.

Es usual establecer puntos clave (singulares) para la macromedición en puntos estratégicos de la secuencia captación – potabilización – conducción – almacenamiento – distribución, por ejemplo se pueden instalar macromedidores en las impulsiones a reservas y directas a la red y en las cañerías de bajadas de los tanques. En la **Figura 7** se puede observar una instalación de una cámara de macromedición para cañerías de diámetro menor que 600 mm.

Mediante la suma de los caudales bombeados a la red y los medidos en bajadas de tanques se puede conocer la variación horaria del consumo.

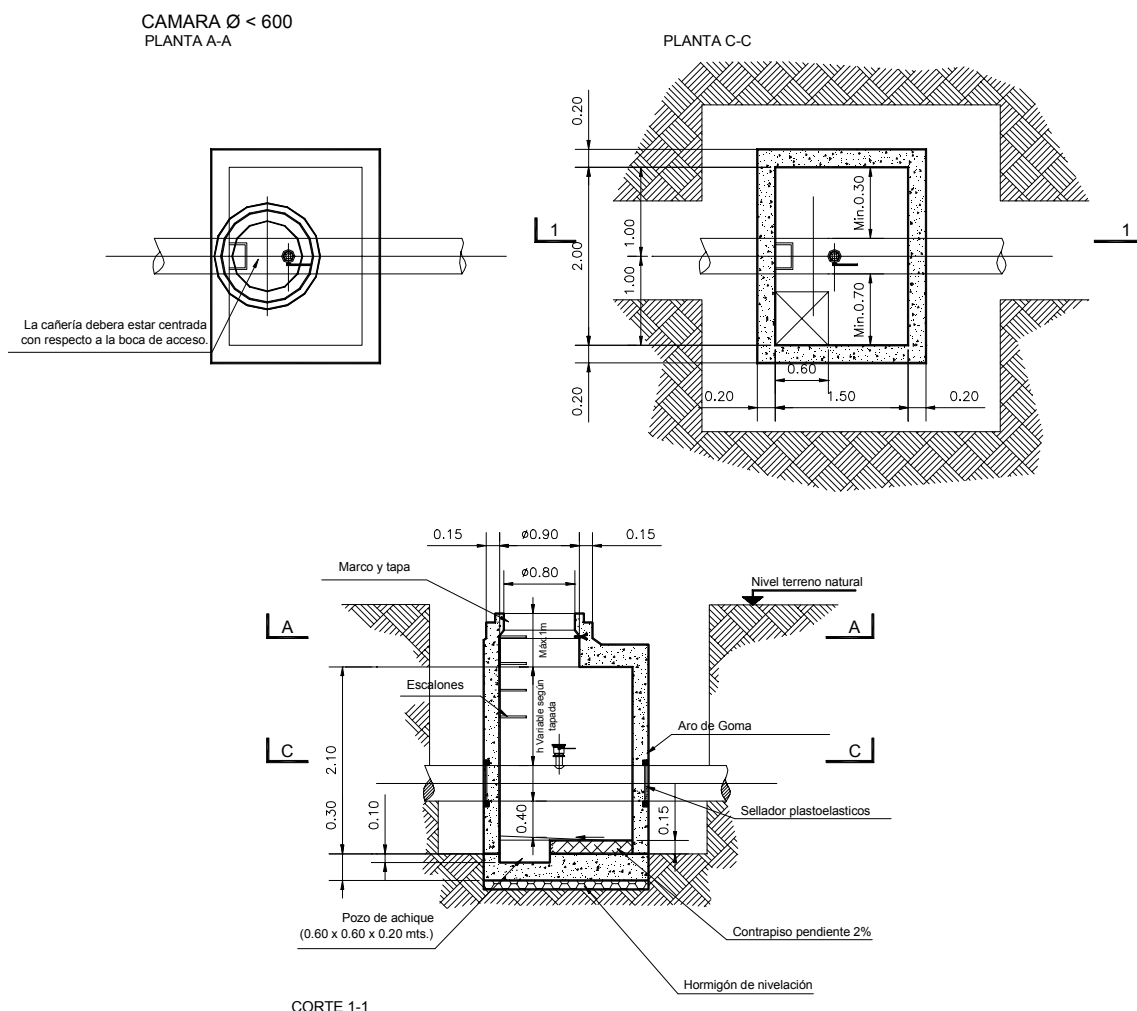


Figura 7. Cámara de macromedición

Por otra parte puede ser útil efectuar la macromedición de los caudales entregados a zonas definidas de la red según sus características e importancia relativa desde el punto de vista de los consumos.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Sobre la base de un plano de la red de distribución se pueden identificar zonas y distritos de macromedición en base a las zonas de abastecimiento y la configuración del sistema.
- Al mismo tiempo se debe calcular la cantidad de unidades de consumo en cada distrito.

A fin de determinar el número adecuado de unidades de consumo en cada distrito de macromedición se debe considerar:

- Trazado actual de la red de distribución.
- Distribución areal de las unidades de consumo.
- Características medias y estacionales de los consumos.
- Configuración futura prevista de la red, en concordancia con las expansiones probables de la misma.
- Relaciones establecidas entre los sistemas de macromedición de caudales, medición de presiones y control de fugas.

Luego de definidos los distritos, se debe analizar la posibilidad de independizarlos con la colocación de válvulas y de las conducciones en paralelo necesarias para asegurar el aislamiento de cada distrito. En general se recomienda que haya una sola entrada al distrito y una sola salida. En dichos puntos se instalaran macromedidores adecuados según las características de la instalación.

Las válvulas se pueden instalar mediante by-pass para facilitar su remoción y reparación, si fuera necesaria, sin interrumpir el suministro.

En una primera etapa es conveniente realizar mediciones en zonas amplias para luego, subdividir las mismas.

Conviene efectuar estas mediciones durante 24 horas, para poder determinar cuales son las necesidades reales de medición de consumos típicos de agua. Estos consumos pueden ser estimados o calculados, en caso de que el sistema sea medido.

Medición de consumo cero

La medición de consumo cero significa medir los caudales en horarios de consumo prácticamente nulo en horas de la noche. Si como resultado de la medición existen caudales en horario nocturno, pueden deberse a:

- Que existan consumidores en horario nocturno (por su actividad), en cuyo caso deben ser analizados para determinar dónde se producen los consumos y de que caudal se trata.
- La existencia de pérdidas en el sistema.

- Una combinación de ambas, existencia de consumos y además pérdidas.

En las siguientes **Figura 8**, **Figura 9** y **Figura 10** se pueden observar los tres casos planteados.

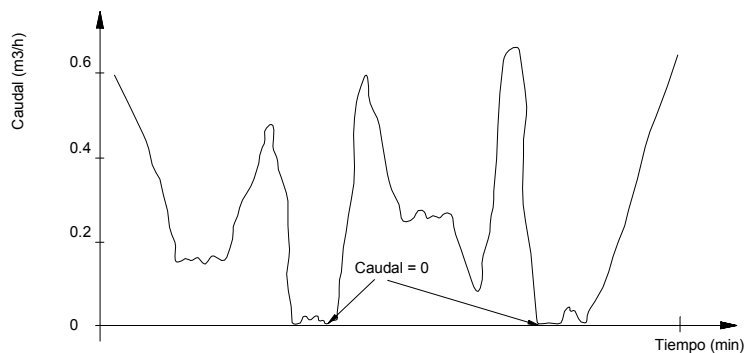


Figura 8. Principio de medición de consumo cero (Caudal = 0)

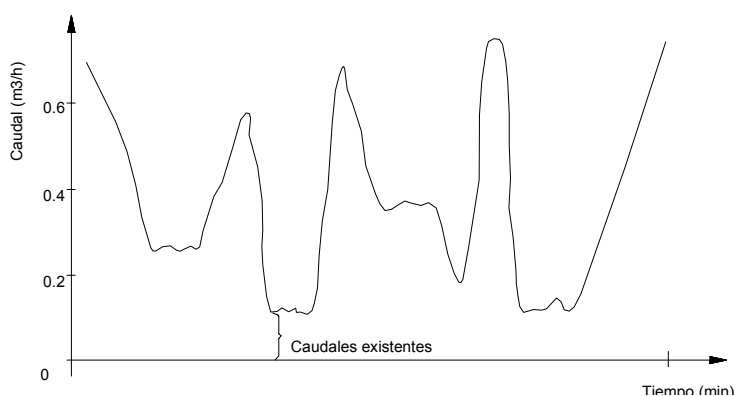


Figura 9. Principios de medición de consumo cero. Existencia de caudales

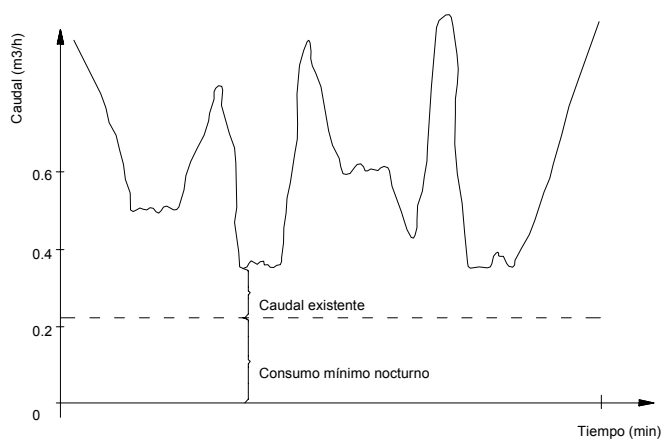


Figura 10. Principios de medición de consumo cero (Existencia de caudal de consumo nocturno más pérdidas)

Distritos Pitométricos

Cuando la topografía de la localidad lo requiere las redes de los sistemas de distribución de agua se dividen en zonas de presión denominadas sectores de abastecimiento, a fin de adecuar las presiones en los mismos a las máximas estáticas y mínimas dinámicas establecidas. La materialización de estos sectores de abastecimiento se obtiene mediante el accionamiento de válvulas, colocación de tapones, por la configuración de las redes limitadas por accidentes geográficos como cursos de agua u obras de infraestructura como rutas o vías férreas.

El distrito pitométrico coincidirá, si la extensión de la red lo permite con el sector de abastecimiento o en caso contrario será sólo parte del mismo.

La extensión de los distritos de macromedición y pitometría dependen básicamente del criterio del proyectista pero puede plantearse algunas pautas que orienten a su determinación.

- Localizar adecuadamente los puntos de medición en la red o redes de distribución. En el caso que exista un área fuera de los límites del Distrito Pitométrico, cuyo abastecimiento se realice por una de las redes que pasan a través de él, este será otro punto de medición. De esta forma se conocerá el volumen que entra en el Distrito Pitométrico y el que eventualmente pueda salir de él.
- No se puede fijar una extensión ideal, lo que la define son las características de cada sistema en la empresa SABESP, San Pablo, Brasil se han adoptado, en la mayoría de los casos, extensiones entre 60 a 80Km, como longitud total de las redes de los circuitos.

Definir la extensión en kilómetros que se debe incluir en un distrito pitométrico, cuando éste no queda definido por la zona de presión, depende del criterio del proyectista quien debe considerar lo siguiente:

- Tipo y cantidad del consumo (residencial, industrial, comercial), etc.
- Dimensiones de las líneas troncales que garanticen un abastecimiento satisfactorio al distrito durante la prueba, así como la deflexión a obtenerse en los aparatos registradores que permitan mediciones precisas.

La extensión más adecuada está situada entre 50 y 60 km, lo cual contribuye a una mejor distribución de los equipos de investigación.

Finalizado el proyecto de delimitación, debe programarse su materialización en el campo, adoptándose los recursos necesarios para obtener resultados positivos. El hecho de materializar el distrito pitométrico no deberá producir deficiencia en el abastecimiento interno o en el externo al mismo, condición esta fundamental para el proceso de investigación.

Implantación del Distrito Pitométrico

Abastecimiento

Concluido el diseño del distrito pitométrico, se da inicio a su implantación en el campo midiendo presiones dentro y fuera del área, antes y después de cerrar las válvulas limítrofes.

Se debe tener especial atención con los puntos más elevados, con los más distantes en relación a la línea abastecedora y cerca de los puntos de mayor consumo, de tal forma que por menor que sea el área no exista abastecimiento insuficiente. Sólo quedará abierta la línea troncal, donde se instala la válvula limítrofe, para las mediciones.

Se recomienda colocar en los puntos mencionados, registradores de presión, los que indicarán el comportamiento del abastecimiento durante y después de la delimitación.

Delimitación

El Distrito Pitométrico debe estar totalmente aislado de otras áreas salvo de las redes aledañas, en cuyas interconexiones se ha previsto medir los caudales. Se debe tener en cuenta:

- Obtener el catastro real de la red de distribución.
- Verificar con geófono si las válvulas que limitan el sector permiten el pasaje de agua.
- Si aun de esta forma hubiera sospechas de que Distrito Pitométrico no está bien delimitado, consultar el catastro de obras para saber si existen redes nuevas y verificar si alguna reserva en el interior del Distrito Pitométrico o fuera de él, provoca retorno de agua.

Se deben operar todas las válvulas y las que no estén en perfectas condiciones de operación serán sometidas a un mantenimiento correctivo o serán cambiadas para dejarlas en perfectas condiciones de maniobra. En esta fase ya se deberá haber colocado las válvulas necesarias para aislar el área.

- Como es fundamental que el abastecimiento sea normal, al realizar la sectorización se medirán las presiones dentro y fuera del Distrito Pitométrico, antes y después de las válvulas que lo limitan, registrando el horario de cierre de las mismas. Es también recomendable que los instrumentos destinados a registrar las variaciones de presión se instalen en los puntos considerados críticos en función de la presión de agua, tanto dentro como fuera del Distrito Pitométrico, antes, durante y después de la fase de delimitación del Distrito.

Para verificar el cierre de todas las válvulas y que ninguna otra línea abastece el área en caso de distritos pitométricos con pequeña extensión de red, se pueden usar dos métodos:

- Instalar un manómetro en el punto más elevado del distrito, cerrar momentáneamente la válvula de la tubería de alimentación y observar si la presión disminuye rápidamente. Para mayor rapidez, es recomendable usar dos personas con radios receptores-transmisores. La presión en el manómetro debe disminuir rápidamente.

- Con el tubo pitot debidamente instalado en la válvula de incorporación de la red maestra, seleccionar un hidrante en un punto distante y abrirlo por algunos minutos. Medir la descarga del mismo y comparar con el aumento de caudal indicado por el tubo pitot. Los caudales deben ser iguales.

Es de destacar que en la actualidad están disponibles en el mercado una serie de equipamientos que sustituyen con ventaja al tubo pitot convencional para la medición de caudales.

Entre ellos se puede mencionar medidores ultrasónicos por tiempo de tránsito, de los cuales existen equipos portátiles. Estos equipos portátiles montados en la parte exterior de la cañería, sin contacto con el agua, son especialmente adecuados para tuberías de material uniforme, no siendo recomendada su utilización, por ejemplo, en cañerías de hormigón armado o plástico reforzado con fibra de vidrio. En este caso los sensores deberán estar montados en contacto con el líquido, para lo cual es necesario la colocación de conductos con el líquido, para lo cual es necesario la colocación de conductos de servicio que permiten la inserción y remoción de los sensores. La exactitud de estos aparatos es del orden del 3 % del caudal medido y su sensibilidad de aproximadamente 0,002 m/s.

En los casos anteriores puede suceder que el distrito no quede perfectamente aislado, no obstante satisfacer las condiciones requeridas. Por ejemplo:

- Puede ser que además de la línea maestra, otra abastezca parte del distrito, más no lo suficiente como para alcanzar el punto donde se instaló el manómetro. Por ello, es conveniente instalar otro manómetro en un punto bajo del distrito pitométrico, lo cual da más seguridad al verificar el aislamiento del sector.
- Puede suceder que el caudal retirado en el hidrante hubiese ocasionado una deficiencia en otra área del distrito, provocando una reducción de caudal de valor igual o aproximadamente igual.

Hermeticidad y operación de las válvulas

En el caso de que exista sospecha de que el distrito pitométrico no está perfectamente aislado, es necesario verificar todas las válvulas con instrumentos adecuados, para comprobar que ninguna de ellas permita el pasaje de agua.

Si aparentemente todas están bien cerradas, es necesario descubrir la procedencia del agua. Generalmente se trata de alguna línea nueva cuyo catastro no fue actualizado.

Las válvulas que se encuentren con defecto, deben repararse inmediatamente para que queden en condiciones de operación.

Medición

Es recomendable tener siempre una sola línea alimentadora. En los casos que haya más de una entrada en los que la misma tubería abastezca otro punto además del distrito en estudio. En estos casos, para determinar el caudal se deben efectuar mediciones simultáneas en las válvulas de incorporación correspondientes.

Diseño

Luego de realizar las reparaciones y cambios de válvulas comienza la siguiente fase de diseño, la que incluye la eliminación de puntos muertos, la instalación de válvulas internas y válvulas limítrofes.

En esta etapa se prevé la subdivisión del distrito pitométrico en subáreas que puedan aislarse sin perjuicio del abastecimiento de las mismas y del sector restante, debiendo proveer a las redes de válvulas de incorporación que permitan efectuar las mediciones en la línea maestra.

Estas subdivisiones están integradas de 600 a 1.000 m de red cuyos consumos se obtienen a través del punto de medición (válvulas de incorporación).

De este modo, al final del diseño las válvulas deben proporcionar la división de las subáreas en tramos de aproximadamente 1.000 m. Si no existiera una válvula de incendio a una distancia máxima de 50 m del punto de medición, se debe proyectar la instalación de la misma, la cual después de abierta permitirá obtener una deflexión mayor en el líquido del tubo U o en el registrador de presión diferencial o fotográfico.

Simultáneamente con el diseño, se verifican todas las válvulas internas, anotando las defectuosas, las rotas, las cubiertas, ejecutando las acciones necesarias par que sean reparadas y queden en condiciones normales de operación.

Medición general

A continuación se debe llevar a cabo la medición global del sector, obteniendo datos de los instrumentos colocados que después de concluir el estudio servirán para definir el estado del sistema de distribución y como parámetros de comparación con pruebas semejantes.

Se deben determinar los caudales máximo, medio y mínimo, relación entre caudal mínimo y caudal medio y consumo medio, por kilómetro de red.

En esta medición se debe constatar un “nivel mínimo de consumo” constante, que generalmente se presenta entre las 00.00 y 05.00 horas, que es la señal indicadora de que el área está bien abastecida. La inexistencia del mismo indica que existe deficiencia en el abastecimiento del distrito pitométrico, o que se trata de un área predominantemente industrial.

Concluidos los trabajos relativos a reparaciones, cambios, descubrimiento de válvulas, y el de obra nuevas, se pueden medir todas las subdivisiones del distrito pitométrico, determinando luego si existe o no necesidad de geofonarlas (apreciar mediante geófonos si existen fugas ocultas).

Es conveniente hacer esta medición en el mismo período de incidencia del “nivel de consumo mínimo nocturno”, ya que en ese caso la comparación de los resultados tendrá mayor validez. (Ver medición de consumo cero).

Aquí se recalca la importancia de un abastecimiento normal, pues como se sabe, durante la noche las presiones de la red son mas altas, lo que mejora las condiciones en las zonas deficientes, produciéndose un consumo mayor, alterando los datos que permitirán definir la necesidad o no de una investigación directa de fugas en la red.

Las mediciones de caudal se pueden realizar directamente con un tubo "U" con líquido manométrico, o con válvula de presión diferencial, debiéndose seleccionar el instrumental adecuado para cada caso.

Como artificio para una mayor precisión de medidas, al lado de los puntos de medición podrán instalarse válvulas de incendio que servirán para simular caudales auxiliares.

La válvula de incendio mencionada se utiliza durante el trabajo, para conseguir una mayor diferencia de presión en el tubo Pitot.

Áreas que deben ser analizadas en forma prioritaria

Luego de efectuar las mediciones, se calculan los caudales de cada subdivisión y se analiza cuáles tienen mayores posibilidades de existencia de fugas y por lo tanto requieren ser investigados en terreno mediante equipos de detección.

Es importante considerar el tipo de consumo del distrito pitométrico, pues con los resultados obtenidos en las mediciones se puede encontrar el consumo nocturno por metro de tubería para cada caso, pudiendo usarse el promedio de ese consumo como un parámetro de comparación para detectar áreas de probables fugas.

Si el consumo de un "segmento" está sobre ese promedio, indica la posible existencia de fugas y por lo tanto, debe geofonarse.

Al fin de un determinado período se obtiene un consumo mínimo nocturno por kilómetro de red, el cual debe ser aceptable para todos los casos en una misma ciudad, indicando la necesidad de geofonar o no las áreas medidas.

Los micromedidores de grandes consumidores que estén dentro del distrito pitométrico investigado, deben leerse simultáneamente con las mediciones. Sin embargo, cada caso debe estudiarse en función de las condiciones reales existentes, ya que generalmente, en una misma área, se tienen consumos residenciales, comerciales, industriales, hospitales, escolares, etc.

Una vez definido los "segmentos" que deben geofonarse, se realiza una investigación directa de las fugas subterráneas, encargando al sector de mantenimiento de redes la reparación de las fugas.

Concluidas todas las reparaciones, se hace una nueva verificación de las válvulas limítrofes. Eliminados los posibles problemas encontrados en las mismas, se aísla nuevamente el distrito pitométrico y se repite la medición global que se hizo antes de investigar y reparar las fugas.

Luego se pasa a la fase de compilación final de los datos, comparando los resultados obtenidos antes y después de las investigaciones realizadas, evaluando en términos porcentuales las fugas de agua detectadas.

En la **Figura 11** se muestra un esquema de Distrito Pitométrico.

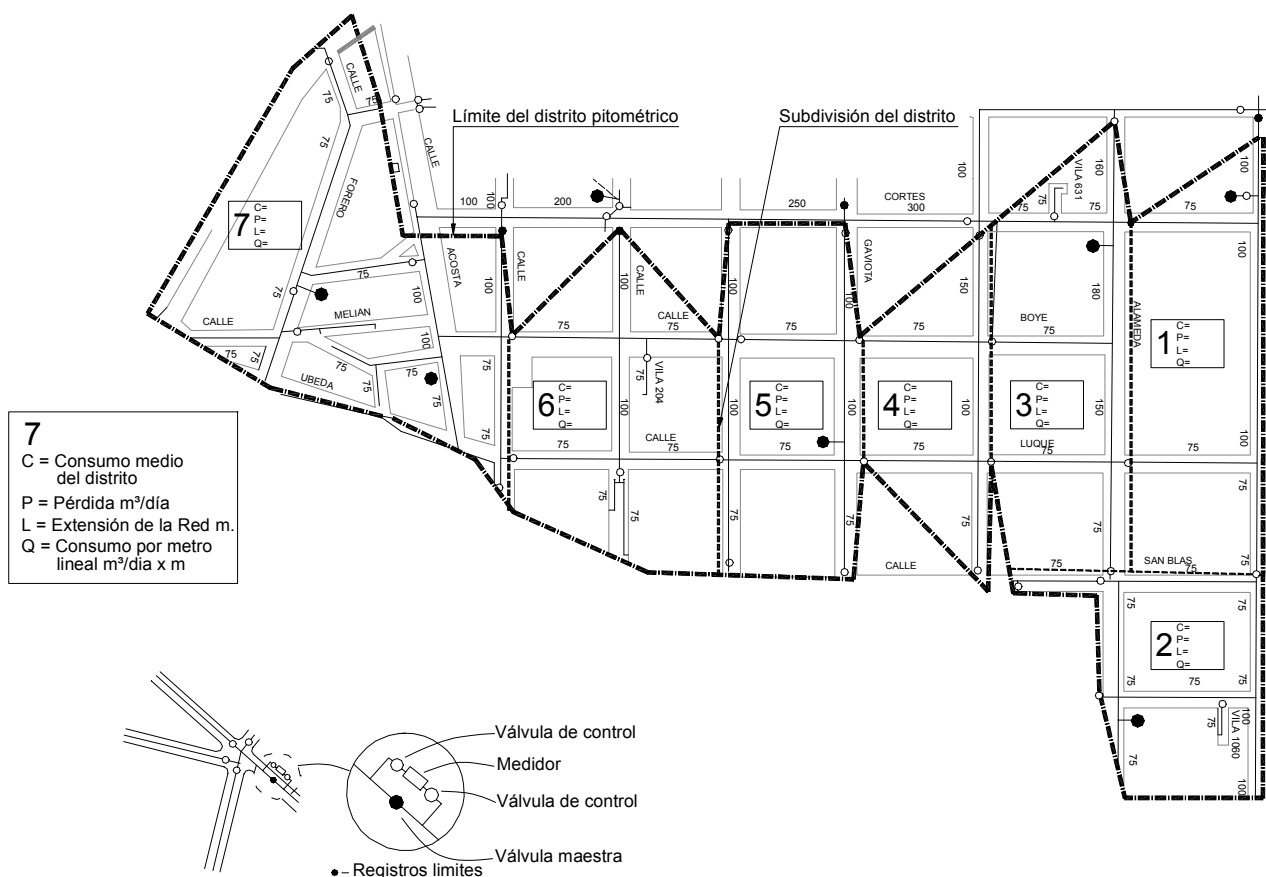


Figura 11. Esquema de Distrito Pitométrico

Determinación de sectores prioritarios para el control de pérdidas con la utilización de indicadores

Para priorizar las acciones, una vez realizados los estudios pitométricos es posible adoptar indicadores que tengan relación con el costo-beneficio de un programa de Control de pérdidas, los que afectados por un coeficiente de ponderación, den como resultado las prioridades por sector.

En la **Tabla 5** se muestra un ejemplo de los indicadores que pueden ser utilizados.

La eficiencia de este método depende de la valoración correcta de los indicadores

- 1). K_a Volumen facturado / volumen distribuido
- 2). K_b Cociente entre el caudal mínimo nocturno y el consumo medio expresado en % define, normalmente la situación de abastecimiento del área.

$$\frac{Q_{mn}}{Q_{med}} \cdot 100 = K_b \%$$

donde:

Q_{mn} = caudal mínimo nocturno

Q_{med} = caudal medio

Elevados valores de este índice implica la posibilidad de pérdidas en el distrito

3). K_c Grado de micromedición

Relación entre el numero de conexiones con medidor con el numero total de conexiones. El grado de micromedición de consumos domésticos es otro factor que influye también en la escala de prioridades, generalmente bajos índices de micromedición implica un alto grado de pérdidas en las unidades de consumo.

4). K_d Monto facturado en el distrito / monto facturado total

Los indicadores anteriores reflejan aspectos técnicos con excepción de K_a que tiene información de aspectos financieros.

Este indicador permite una comparación de lo facturado en este sector en relación al monto facturado en la localidad.

5). K_e Consumo diario por usuario doméstico

Este indicador se puede obtener como el volumen distribuido en el área, del cual se han deducido los consumos comerciales, industriales, institucionales, etc., dividido por el número de usuario domésticos servidos.

6). K_f Índice de cobertura

Nos da idea de la cantidad de unidades de consumo abastecidas sobre las unidades existentes en el distrito, Un bajo valor puede indicar la existencia de muchas conexiones clandestinas o bien mala comercialización de los servicios

Indicadores	Volumen Facturado	$\frac{Q_{mn} - Q_i}{Q_{med}}$	Grado de Micromedición	Valor Facturado en Distritos	Consumo de usuarios domésticos	Indice de Cobertura
	Volumen Distribuido			Valor Facturado Total		
Clasificación	K _a %	K _b %	K _c %	K _d %	K _e L/hab . día	K _f %
	1	2	3	4	5	6
	1	>80	<20	>80	>20	<100
2	70-80	20-40	60-80	15-20	100-200	70-80
3	60-70	40-60	40-60	10-15	200-300	
4	50-60	60-80	30-40	5-10	300-400	50-60
5	<50	>80	<30	<5	>400	<50
Valores de ponderación	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
Σ C=1	0.25	0.30	0.10	0.15	0.10	0.10

Tabla 5. Indicadores a utilizar para el establecimiento de sectores prioritarios de control de pérdidas

3.1.3. Determinación de Zonas Prioritarias Cuando no son Viables los Estudios Pitométricos

Cuando no puedan realizarse los relevamientos de las instalaciones y los estudios pitométricos indicados en 3.1.1. y 3.1.2 debe determinarse las áreas prioritarias donde se encararán estudios y obras tendientes a reducir tanto el agua no contabilizada como las fugas, entre otras, en base a las siguientes consideraciones:

- Determinar la edad de las instalaciones y de las características de los materiales de las mismas.
- Establecer en forma precisa el lugar y las causas de las reparaciones efectuadas a fin de definir la zona donde se ha producido el mayor número de inconvenientes atribuibles al estado de las instalaciones.
- Analizar deterioros en pavimentos y edificios que puedan deberse a fugas en las cañerías y verificar la aparición de enlagunamientos superficiales en veredas y calles de tierra.
- Efectuar un estudio, mediante medidores patrón o bancos de prueba portátiles a fin de determinar si los micromedidores instalados mantienen sus características metrológicas originales.
- Determinar las causas de reclamos presentados por usuarios debido a falta de caudales o pérdidas de presión en las redes.

Las actividades mencionadas, a título informativo, constituyen la base de la información a recopilar y evaluar la que debe ser complementada por la experiencia y el conocimiento de las instalaciones que posee el personal encargado de la operación y mantenimiento.

3.1.4. Empleo de Equipos Para la Detección de Fugas

En el numeral 6 “Inspecciones, Observaciones, Instrumentación” del presente Capítulo se desarrolla el tema con cierto detalle.

3.1.5. Control de las Fugas

El objetivo base de un programa de control de fugas es el de reducir al mínimo el tiempo transcurrido entre la ocurrencia de una fuga y su reparación.

Para ello es necesario que el responsable por la prestación del servicio establezca:

- Acciones técnica y económicamente posibles que aseguren que la fuga se repare lo más rápidamente posible.
- Procedimientos para identificar, reportar, reparar y registrar las fugas visibles.
- Personal de la empresa y de la población que debe participar.

El programa debe tener en cuenta las siguientes actividades:

- Establecer procedimientos para que toda la población abastecida se convierta en informante de pérdidas visibles y una metodología eficiente para identificar las pérdidas de este modo.
- Establecer procedimientos de caracterización y categorización de las pérdidas.
- Establecer procedimientos para las reparaciones de pérdidas.
- Acostumbrar al personal técnico a informar sobre pérdidas observadas durante la ejecución de otros trabajos.
- Organizar el servicio de detección de pérdidas no visibles, acorde a la capacidad técnica y financiera de la empresa prestadora.
- Obtener el equipamiento para detección y reparación de fugas.
- Entrenar al personal para la realización de los trabajos.
- Realizar el procesamiento estadístico de los datos para poder, en base a los mismos, tomar decisiones en la operación y explotación del sistema.
- Reducir las pérdidas instalando de medidores.

3.1.6. Mejoras en las Conexiones Domiciliarias

Su objetivo es el de mejorar el estado de las conexiones domiciliarias, que frecuentemente son las responsables de importantes fugas en el sistema de distribución de agua.

Se buscará desarrollar un sistema racional de diseño, dimensionamiento, normalización, construcción, inspección, recepción y control de calidad de las conexiones domiciliarias.

Deberá darse una alta prioridad a esta actividad, debido a su incidencia en la reducción de pérdidas de agua.

Entre las actividades de este programa podemos mencionar:

- Investigaciones de las razones de las pérdidas en las conexiones domiciliarias.
- Revisión de los criterios de especificación, de los materiales utilizados.
- Implementación de entrenamiento para los técnicos con licencia para ejecución de instalaciones.
- Implementación de un correcto procedimiento administrativo para autorizar instalación de nuevas conexiones.

3.1.7. Sectores de la Empresa Responsable del Control de Pérdidas

Dentro del área comercial se deben tener en cuenta los siguientes áreas:

- Facturación y cobros.

- Medición de consumo.
- Registro de consumidores.
- Marketing.

Cada una de estas áreas deberá llevar a cabo acciones para la reducción de pérdidas.

En el Capítulo I Numeral 3 de la presente Fundamentación se analizan las funciones de estas áreas y su integración en el sistema operacional de la empresas de abastecimiento de agua.

4. POLÍTICAS DE MICROMEDICIÓN

La instalación de un sistema tarifario basado en la micromedición de los consumos en un sistema de abastecimiento de agua potable ha demostrado ser una de las mejores formas (o la mejor) de racionalizar el consumo.

Los sistemas de agua potable se proyectan para un determinado período de diseño y con una determinada dotación de consumo por habitante, la que luego, en la práctica, en el caso de los sistemas no medidos, repetidas veces se ve superada, tanto por consumos para otros usos que no son sólo los domésticos para los que fue proyectado el sistema, como por los derroches efectuados por los usuarios. Esto trae como consecuencia la necesidad de ampliaciones de los sistemas (de nuevas estructuras de captación, aducción, estaciones de tratamiento y redes de distribución) antes de concluir el periodo de diseño de los mismos, para poder satisfacer la demanda.

Para aprovechar las ventajas provenientes de los sistemas medidos, es necesario que los medidores instalados funcionen con la precisión adecuada, lo que sólo es posible a través de políticas correctas.

La falta de políticas de micromedición adecuadas es uno de los factores responsables de la ineficiencia operacional y comercial de los sistemas de abastecimiento de agua.

La simple instalación de medidores, sin definir correctamente el tipo de aparato a adquirir, el padrón de instalación y la consideración del mismo como parte integrante del ciclo de comercialización, llevan a la baja rentabilidad y a la inoperancia del sistema. La definición de políticas a seguir en relación a la micromedición y su implementación es la garantía de que en corto plazo se pueda lograr una mejoría operacional del sistema de distribución del agua.

4.1. BENEFICIOS QUE SE PUEDEN LOGRAR CON LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TARIFARIO BASADO EN LA MICROMEDICIÓN DE CONSUMOS

La utilización de medidores permite la racionalización de los servicios de agua y como consecuencia inmediata la de los desagües cloacales, conduciendo a beneficios técnicos, sociales, financieros y económicos

Para que ello pueda concretarse es imprescindible complementar la instalación de micromedidores con el establecimiento de una política tarifaria, basada en la medición de los consumos, que propenda la reducción de los derroches y a la correcta utilización del agua distribuida.

A continuación se analiza una serie de ventajas directamente vinculadas con la implementación del servicio medido, con su correspondiente política tarifaria, todas ellas conducen al mejoramiento y optimización de los sistemas.

Como parte de los beneficios técnicos se pueden mencionar entre otros los siguientes:

- **Abastecimiento permanente**

En los sistemas no medidos o con cantidad insuficiente de medidores, generalmente ocurre que en las zonas de mayores cotas y ubicación desfavorable, existen problemas de presión, produciendo interrupciones en el abastecimiento, con consecuencias perjudiciales.

- **Cumplimiento de los períodos de diseño de los proyectos**

Cuando se proyecta un sistema se lo dimensiona para una determinada población con una determinada dotación per capita y para un determinado período. Si en alguna zona de la localidad en cuestión se producen desperdicios mayores de los aceptables, la consecuencia directa es la reducción del período de abastecimiento proyectado.

- **Información sobre la demanda (domiciliaria, comercial, industrial y pública)**

La micromedición permite el mejor conocimiento de la demanda de agua por cada tipo de consumidor, domiciliario, comercial, industrial y públicos, generando información que permite ajustar los parámetros de diseño para desarrollar los proyectos en forma racional.

- **Eficiencia en el control de caudales**

Permite la detección de fugas, pérdidas y derroches en las instalaciones domiciliarias y asociada a la macromedición permite minimizar los desperdicios en la red de distribución.

- **Optimización de la utilización de los caudales disponibles**

Ya que, con la misma capacidad instalada hace posible abastecer a mayor cantidad de usuarios.

- **Optimización del uso de las fuentes disponibles**

Este es un hecho de importancia en localidades dónde la fuente de abastecimiento es escasa o de calidad inadecuada y para complementarlas se hace necesario ejecutar obras desde lugares alejados, lo que conlleva la construcción de reservas, grandes conducciones o costosos tratamientos.

Entre los beneficios se puede indicar:

- **Reducción del consumo**

Las reducciones en el consumo posibilitan una mayor cobertura lo que se verá reflejado financieramente, ya que con igual capacidad de producción, se podrá atender la demanda de los nuevos usuarios que se incorporen al sistema.

- Aumento de la recaudación debida a la medición

En general, si se instala medidores domiciliarios, junto con una adecuada política tarifaria y comercial habrá un mayor control de los consumos y de la facturación de los mismos con lo que puede mejorar la recaudación.

- Menores costos de operación

La reducción de pérdidas puede tener como consecuencia (dependiendo del sistema) ahorro de energía eléctrica, productos químicos e insumos en general.

- Disminución de costos financieros

Si se realiza un análisis de mediano plazo con el control del consumo suele producirse una disminución de los costos financieros debidos a la postergación de las inversiones necesarias para la ampliación de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

- Cobranza proporcional al consumo

La relación medición, tarifa de servicio medido por el agua consumida permite tener una facturación proporcional al consumo. Estableciendo una cuota fija determinada de consumo por ej. 15 m³/mes con la medición se puede favorecer al pequeño consumidor. En muchos casos se comprueba que el pequeño consumidor paga un monto mayor con un régimen tarifario de renta fija que con el de sistema medido.

- El mismo servicio para todos los usuarios

Con la micromedición y el control del consumo se puede equilibrar las presiones en las redes, evitando el abastecimiento desordenado en algunas áreas favorecidas por razones de orden técnico.

Por último entre los beneficios económicos se puede considerar:

- Reducción de costos de capital y reducción de costos de operación

La reducción del consumo de agua conlleva la reducción de los costos de capital y de operación. Para poder cuantificar los verdaderos beneficios económicos es necesario realizar un estudio que incluya los costos de lectura, procesamiento de la información, instalación, adquisición y manutención de medidores que, asociados con la reducción de pérdidas y el aumento de la recaudación, permitan realizar esta cuantificación.

4.2. CONCEPCIÓN SISTÉMICA DE LA MICROMEDICIÓN

Las condiciones necesarias para operar exitosa y eficientemente la micromedición dentro la estructura de la empresa de saneamiento, es considerar la misma como parte de un sistema integrado con todos los sistemas y subsistemas que la integran.

A modo de ejemplo se puede observar en la **Figura 12** una estructura sistémica englobando el subsistema de micromedición.

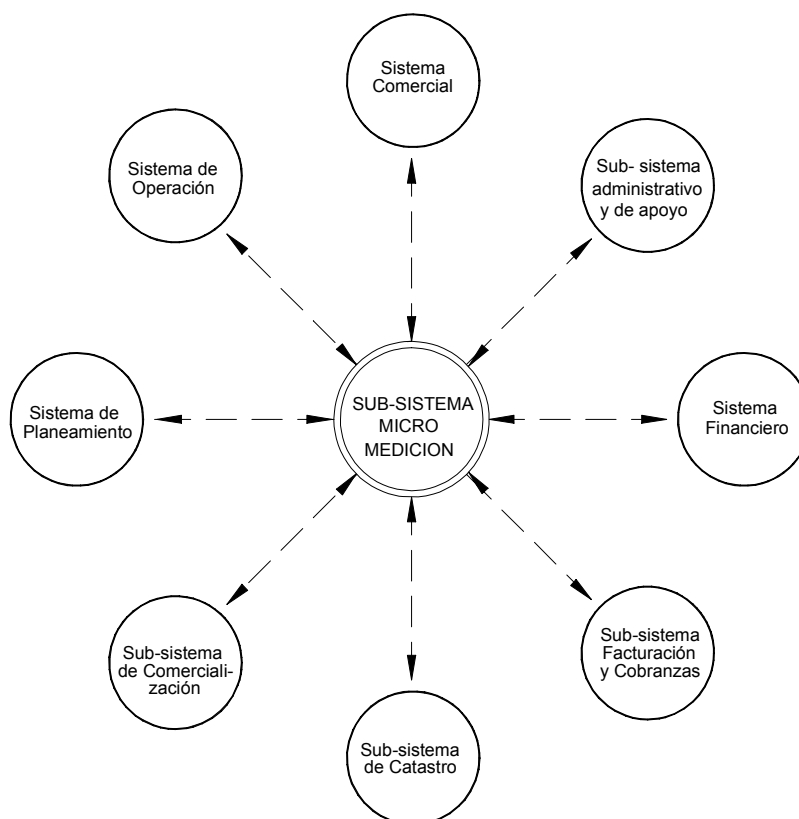


Figura 12. Subsistema de micromedición integrado a la estructura sistémica de una empresa de provisión de agua

A continuación se analizan las interrelaciones existentes entre el subsistema de micromedición y los distintos subsistemas de la empresa:

a). Dentro del sistema comercial

- Comercial

- Políticas de medición.
- Políticas de administración y mantenimiento de micromedidores.
- Planes de instalación de medidores.
- Programas de lectura.
- Normas, procedimientos e instrucciones generales.

- Medición

- Informes periódicos de ejecución e indicadores de gestión comercial.
- Investigaciones aplicadas para la obtención de parámetros orientadores de las políticas.

- Programas de instalación.
- Recursos necesarios.

b). Con los sistemas administrativos y de apoyo

- Materiales
 - Compras y Licitaciones.
- Medición
 - Estudio y evaluación de los aparatos micromedidores y equipos de control y de su adquisición.
 - Especificaciones técnicas para la adquisición de micromedidores y equipo de control.
- Control de estado de micromedidores y equipos
 - Normas y procedimientos para control.
 - Controles periódicos del estado de los medidores agrupados por características y año de fabricación.
 - Informaciones sobre el total de medidores registrados y los que se le da de baja por obsolescencia y roturas.

c). Con el sistema de planeamiento

- Planeamiento
 - Estudios de viabilidad técnico económica.
 - Proyecciones de población y de demanda.
 - Evaluación global de los resultados referentes a la micromedición.
 - Planes de expansión.
 - Informaciones necesarias para el planeamiento.
 - Proyecciones de los estados financieros.
- Medición
 - Informes periódicos e indicadores de gestión comercial.
 - Estudios de medición.
 - Informes con indicadores de gestión específicos.

d). Con el sistema de operación

- Operaciones
 - Informes de producción.
 - Informes sobre la calidad del agua.

- Características operacionales del sistema.
- Programas de ampliación.
- Medición
 - Programas de instalación de medidores.
 - Indicadores relativos.
 - Evaluación de unidades operativas con las áreas medidas.

e). Con el sistema financiero

- Financiero
 - Costos operacionales.
 - Medición.
 - Informaciones de costos.

f). Con el subsistema de comercialización

- Medición
 - Informes con indicadores de gestión gerencial.
 - Programas de instalación de medidores.
 - Estudios de medición.
- Comercialización
 - Análisis de consumo por categoría.
 - Estudios sobre costos de la micromedición.
 - Información comercial.
 - Información sobre micromedición.

g). Con el sistema de catastro

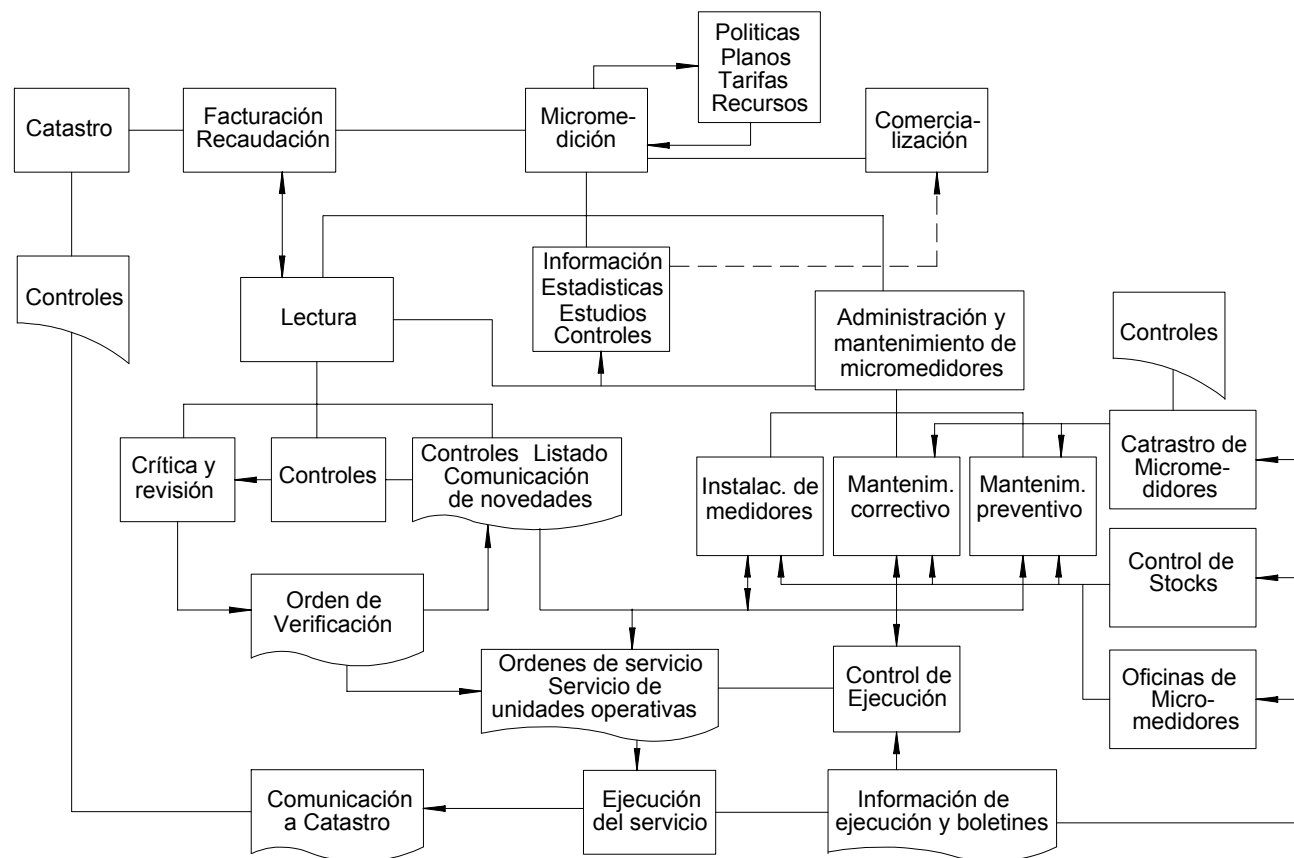
- Medición
 - Modificaciones catastrales.
 - Revisión de rutas de lectura.
 - Informes sobre conexiones clandestinas.
 - Alteraciones en los medidores.
- Catastros
 - Listados de localización de medidores, consumos medios y acumulados.
 - Listados por sector y cuadra para establecimiento de ruteo de lectura de medidores.

h). Comunicaciones con el sistema de facturación

- Medición
 - Relación de lecturas procesadas.
 - Informaciones sobre los consumos.
 - Reclamos de los usuarios.
 - Informaciones necesarias sobre micromedición.
- Listados de lecturas
 - Anormalidades en los consumos.
 - Consumos y facturación.
 - Consumos por rango.
 - Grandes consumidores, etc.

A modo de ejemplo se presenta una experiencia exitosa de implantación de una estructura organizacional sistémica realizada en la Compañía Parnambucana de Saneamiento en Brasil, a través de un convenio entre el Banco Nacional de Vivienda y la Organización Panamericana de la Salud. (**Figura 13**).

En nuestro país se han realizado numerosas experiencias de micromedición y mejoramiento de sistemas comerciales, tanto en empresas estatales como en las empresas de saneamiento que han sido privatizadas y también en Cooperativas que prestan Servicios de Provisión de Agua Potable.



Fuente: Organización sistémica de la Cía. Pernambucana de Saneamiento Compesa

Figura 13. Subsistema de micromedición, estructura operacional

4.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS

Desde el punto de vista del control del consumo puede establecerse que lo ideal será tener instalados micromedidores en la totalidad de las conexiones a la red.

En la práctica, por problemas económicos y operativos esto no siempre es factible. En muchos casos se puede demostrar que es posible atender los requerimientos técnicos y financieros del sistema, y socioeconómicos de la población servida con un índice de medición inferior al 100%.

Al elaborar un plan de micromedición teniendo en cuenta las restricciones de orden técnico, financieras, económicas y sociales, surge la necesidad de que, conjuntamente con su ejecución e implementación, se tenga en cuenta la forma de obtener un rápido retorno de las inversiones. Si el plan se desarrolla considerando las prioridades es posible en muchos casos el autofinanciamiento del mismo.

La fundamentación de la selección de un área de micromedición debe basarse en aspectos comerciales y operacionales. En algunos casos la elección de áreas prioritarias es sencilla, en particular cuando las áreas están bien diferenciadas, no así cuando entre las mismas existe cierto equilibrio y es en estos casos donde se hace necesario utilizar una metodología de análisis efectiva:

4.3.1. Método Comparativo

Este método se basa en una serie de indicadores que reflejan el estado de situación del sistema de abastecimiento de agua potable en estudio, algunos de ellos se han analizado al describir el estudio de demanda. Entre otros se pueden mencionar.

- Tamaño de la localidad

Se deberá analizar la relación entre conexiones de agua y unidades de consumo. Ver Capítulo II – Estudios Previos Numeral 5 “Estudio del Mercado y de la Demanda de Agua Potable” de la presente Fundamentación.

- Grado de micromedición existente

Muchas veces ocurre que la instalación de medidores no obedece a un planeamiento previo. Se colocan arbitrariamente sin un previo análisis global. Hay localidades similares con grados de micromedición muy diferente. Es de interés conocer el grado real de micromedición es decir número de medidores funcionando y leídos en cada sistema.

- Cantidad de medidores que registran excedente

Se puede analizar si existen medidores instalados ociosos, es decir, donde prácticamente no se miden excesos y donde puede ser conveniente trasladar la medición de los pequeños a los grandes consumidores evitando inversiones y costos operativos superfluos.

Como ejemplo en la **Tabla 6** se muestran los resultados, de un estudio realizado en la Ciudad de Garanhuns, Brasil en agosto de 1978. En esta se puede observar que el 70,42% de los medidores registran excedente dado que el consumo base es de 10 m³/conexión mes, de acuerdo al régimen tarifario vigente al momento de realizar el estudio.

Clase m ³ / mes	N° de conexiones domiciliarias			Volumen m ³		
	Totales	Frecuencia %		Total medido	Frecuencia %	
		Parcial	Acumulado		Parcial	Total
0 - 5	582	16,71	16,71	989	0,90	0,90
6 - 10	448	12,87	29,58	3.622	3,29	4,19
11 - 15	503	14,45	44,03	6.609	6,01	10,20
16 - 20	464	13,33	57,36	8.265	7,51	17,71
21 - 25	319	9,16	66,52	7.312	6,64	24,35
26 - 30	276	7,93	74,45	7.721	7,02	31,37
31 - 40	315	9,05	83,50	11.102	10,09	41,46
41 - 50	171	4,91	88,41	7.716	7,01	48,47
51 - 70	185	5,31	93,72	10.825	9,84	58,31
71 - 90	77	2,21	95,93	6.071	5,52	63,83
91 - 150	69	1,98	97,91	7.857	7,14	70,97
151 - 210	19	0,55	98,46	3.294	2,99	73,96
211 - 300	21	0,60	99,06	5.290	4,81	86,38
301 - 600	20	0,57	99,63	8.380	7,61	91,23
601 - 900	7	0,20	99,83	5.339	4,85	94,07
901 - 1.500	3	0,09	99,92	3.124	2,84	100,00
1501 - 3.000	3	0,09	100,00	6.539	5,94	
3000 - 5.000						
5001 - 10.000						
TOTAL	3.482	100,00	-	110.055	100,00	-

Tabla 6. Frecuencia de consumo de la Ciudad de Garanhuns - Agosto 1978

Las conexiones que registran excedente son todas aquellas con consumo superior a 10 metros cúbicos por mes. De allí surge que pueden existir muchas zonas con medición innecesaria. Si por ejemplo se verificara que en una zona esta experiencia se repite durante un período considerable (por ejemplo un año), se podría eliminar la micromedición en la misma.

Si se grafica los valores acumulados de conexiones domiciliarias y volúmenes medidos acumulados indicados en la **Tabla 6** agrupando por fajas las conexiones de mayor consumo en forma decreciente, se obtiene la **Figura 14**, la que puede ser construida a partir de una base de datos de lectura de medidores.

La curva que muestra la evolución de la inversión (costo de los equipos de medición mas costos de instalación) tiene en su comienzo un crecimiento mas pronunciado que refleja las instalaciones de medidores de costo más elevado para registrar los mayores consumos.

En la Figura puede observarse que con el 40% de las conexiones con medición se controla aproximadamente el 81% del consumo. Asimismo incrementando la medición en

áreas adecuadamente seleccionadas, cuando el porcentaje de micromediciones es reducido, se aumenta notablemente el volumen medio (en el caso de la figura pasando del 10 al 20% de micromedidores instalado se controla un 15% mas de volumen).

En cambio esa misma inversión cuando el número de medidores es elevado, produce un reducido aumento del volumen medido (en el caso de la figura al pasar del 70 al 80% de medidores instalados se aumenta aproximadamente un 3% el volumen medido).

Como conclusión se puede afirmar que los beneficios no son lineales que se debe seleccionar, en primer término instalar micromedidores en zonas con altos consumos con lo que con menor cantidad de micromedidores y menor costo de lectura y mantenimiento se controla un alto porcentaje del caudal.

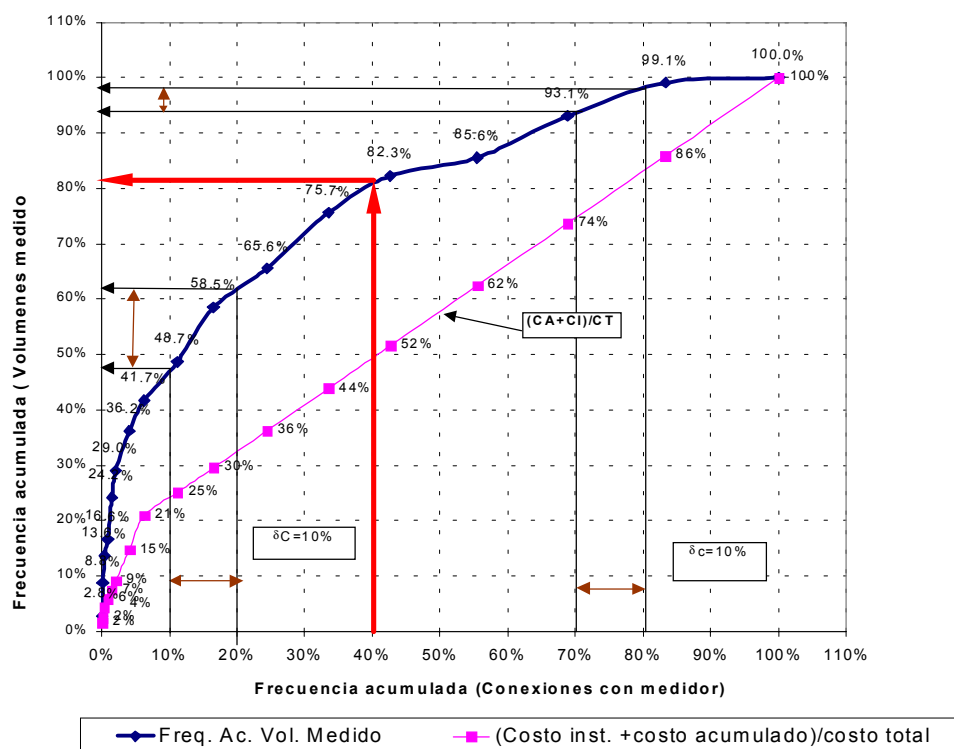


Figura 14. Evolución de los volúmenes medidos en función de los medidores instalados

Si se analiza, el porcentaje de incremento de la micromedición con respecto al porcentaje de incremento de los costos permite conocer la eficiencia de la inversión.

Consumo por habitante

Un elevado consumo per capita es un indicador prioritario para la instalación de la micromedición y de un sistema tarifario que promueva la reducción de los derroches y del consumo.

Capacidad del sistema

Se debe analizar si el sistema está funcionando a capacidad plena o tiene capacidad ociosa. Cuando el sistema tiene capacidad ociosa la decisión respecto a mantener un mayor número de horas funcionando las instalaciones o colocar medidores debe ser, en cada caso, el resultado de un estudio técnico - económico.

Necesidad de aumentar la cobertura

Si con la micromedición se reduce el consumo, permite el aumento del porcentaje de población servida, sin aumento de producción.

Costo de producción

Depende de cual sea la fuente de abastecimiento se pueden producir serios ahorros en producción de agua, en particular en los sistemas donde se necesita bombear a grandes distancias y en varias ocasiones.

Características del agua

En los casos de mala calidad del agua se deberá considerar, si vale la pena o no la instalación de medidores porque un agua de elevada turbiedad puede reducir rápidamente la precisión de los aparatos.

Por otra parte en casos especiales la temperatura del agua puede generar restricciones para la instalación de medidores en particular en el caso de pozos profundos con agua a altas temperaturas.

Recursos hídricos escasos

En los casos de gran escasez del recurso, puede justificar un 100% de micromedición.

La **Tabla 7** presenta información sobre sistemas con micromedición en algunas ciudades de Brasil pertenecientes al Estado de Pernambuco.

4.3.2. Método Numérico

Este método que se aplica muy frecuentemente consiste en trabajar con indicadores, tanto para casos en los que no existe el servicio medido y se desea implementar el mismo luego de hacer experiencias piloto por zona o bien en aquéllos casos en que se desea mejorar el servicio medido existente.

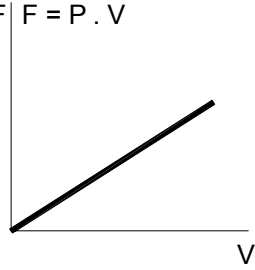
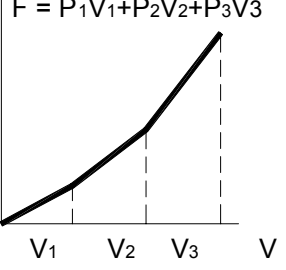
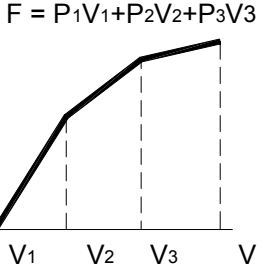
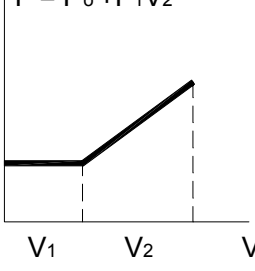
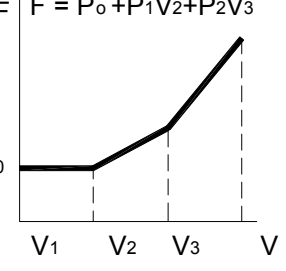
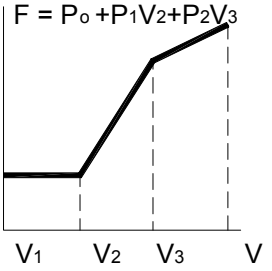
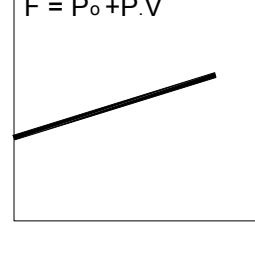
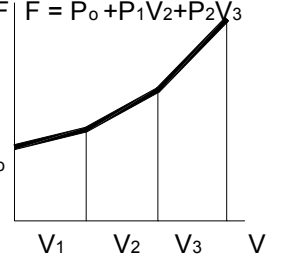
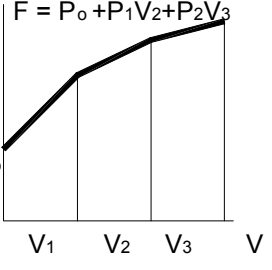
Se puede analizar los indicadores por zona que reflejen distintos aspectos técnicos y se puede incorporar también otros como los sociales, económicos y financieros, permitiendo clasificar las áreas en estudio.

En este método no se puede dejar de tener en cuenta como análisis básico, desde el punto de vista económico, el tipo de régimen tarifario vigente. En la **Tabla 8** se muestran regímenes tarifarios típicos.

Ciudades	Conexiones en funcionamiento	Conexiones con medidor	Conexiones con medidor	Medidores con excedente	Volumen producido	Volumen registrado con medidor	Volumen medido	Volumen facturado	Volumen facturado por volumen producido	Población	Población servida
	[N°]	[N°]	[%]	[%]	[m³/mes]	[m³/mes]	[%]	[m³/mes]	[%]	[hab]	[%]
Recife	124.390	74.487	59,88	78,52	6.840.000	3.127.585	45,72	4.772.400	69,77	1.344.381	60,85
Carpina	4.354	2.333	53,58	32,92	85.320	45.010	53,28	76.780	89,99	36.395	59,81
Arcoverde	4.879	1.118	22,91	42,29	232.552	31.345	13,45	90.895	39,08	51.876	46,99
Cabo	3.262	1.243	38,10	39,98	136.800	38.495	28,14	71.417	52,20	49.820	32,78
Limoeiro	3.189	909	28,50	48,84	146.799	27.706	18,87	259	59.159	40,30	37.530
Timbauba	2.952	640	21,68	45,31	78.915	15.235	19,30	153	53.395	67,66	35.148

Fuente: Medição de Água e Control de Perdas, Adalberto Cavalcanti Coelho

Tabla 7. Cuadro Analítico sistema medido de algunos sistemas de abastecimiento en el Estado de Pernambuco. Brasil, Junio 1977

Sistemas tarifarios	Precio único	Precio creciente con bloques de consumo	Precio decreciente con bloques de consumo
Sistema monomio sin mínimo de consumo	F $F = P \cdot V$ 	F $F = P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3$ 	F $F = P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3$ 
Sistema monomio con mínimo de consumo	F $F = P_0 + P_1V_2$ 	F $F = P_0 + P_1V_2 + P_2V_3$ 	F $F = P_0 + P_1V_2 + P_2V_3$ 
Sistema binomio	F $F = P_0 + P \cdot V$ 	F $F = P_0 + P_1V_2 + P_2V_3$ 	F $F = P_0 + P_1V_2 + P_2V_3$ 

Fuente: Gestión del Agua Urbana, Daniel V. Fernández Pérez, Colegio de Ingenieros y Caminos, Canales y Puertos, Colección Senior N°14, Asociación Española de Agua y Saneamiento.

$$F = P_0 + P \cdot V$$

Donde:

F = total facturado

V = volumen facturado en m³/mes

P_0 = cuota de servicio

P = cuota de consumo en \$/m³

Tabla 8. Sistemas tarifarios medidos típicos

Por ejemplo si se da el caso de un régimen tarifario en que una vivienda puede tener un consumo hasta un límite determinado, fijado por el régimen tarifario en vigencia pagando un cargo fijo, y ese límite de consumo es alto con relación a la dotación de consumo típica de la zona, es probable que ocurra que nunca se puedan medir consumos excedentes en relación a la base fijada.

En muchos casos se conoce previamente que no tiene sentido colocar medición de consumos domiciliarios. Si se da la situación que es de interés aplicar el sistema medido para controlar los consumos en casos de escasez de agua se deberá pensar en la modificación de dicha base autorizada dentro de la cuota fija.

Por ejemplo si la base con cargo fijo es 25 m³/mes, correspondería a una dotación por habitante de 208,33 l/hab.día en el caso de una vivienda tipo con cuatro habitantes. Como se puede observar esta dotación es alta y desde el punto de vista comercial al ser el excedente mínimo no se producirán grandes diferencias en la facturación, ocasionando, sin embargo, un costo importante de lectura mantenimiento de micromedidores, emisión de facturas, etc.

Luego de realizado este análisis se puede llevar a cabo un estudio por zonas de la siguiente manera:

Se seleccionan parámetros que puedan reflejar los aspectos técnicos de mayor interés y se los pondera según su importancia relativa, clasificando así las áreas definidas para el estudio.

En función de esta primera clasificación se puede decidir descartar totalmente la colocación de medidores en un área para esa etapa de desarrollo del servicio, la que puede incorporarse posteriormente si se modifican condiciones y se comprueba la conveniencia de instalar micromedidores en dicha zona.

En la **Tabla 9** se ejemplifican algunos de los indicadores a analizar. Los mismos deben estar en correspondencia con las características particulares de cada sistema y zona.

Variables a tener en cuenta						
Calificación	V1	V2	V3	V4	V5	V6
	Rangos de cantidad de conexiones	L/hab.día	% de medición actual	Población atendida, capacidad	Tipo de sistema	Tipo de calidad de agua
1	Hasta 1000	Menor de 100	Mas del 80%	Mas del 80 %	Gravedad	Agua cruda
2	1000-3000	100-200	80%-60%	50- 70%, capacidad ociosa	Gravedad con tratamiento	Decantación
3	3000-5000	200-300	60%-40%	50-70 %, capacidad plena	Bombeo	Filtración
4	5000-10000	300-400	40%-30%	50-70% deficitaria	Bombeo + tratamiento	Tratamiento especial
5	Mas de 10000	Mas de 400	Menos de 30 %	Menos de 50%, deficitaria	Tratamiento + desagües	Subterránea
Ponderación %/100	0.20	0.13	0.20	0.17	0.16	0.14

Tabla 9. Ejemplo de indicadores establecidos para el análisis de un caso de selección de áreas prioritarias para micromedición

Para ordenar los resultados se puede elaborar una tabla similar a la **Tabla 10** dónde C_i es el resultado de multiplicar la calificación asignada a la variable V_n por la ponderación de la misma.

Zona de la localidad	C_1 = Calificación V_1 . Ponderación de V_1	C_i = Calificación V_n . Ponderación V_n	Ordenamiento de prioridades por zona
	Calificación		
Zona 1			
Zona 2			
Zona 3			
Zona n			

Tabla 10. Cómputo de la puntuación del área a seleccionar

A continuación se desarrolla un ejemplo para una localidad determinada, la **Tabla 11** muestra las características de cada una de las zonas a analizar:

Zona de la localidad	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Variable a calificar			
Cantidad de conexiones	1000	5600	6000
L/hab.día	200	250	150
% micromedición existente	20	30	0
Capacidad de abastecimiento de la zona	50%	70%	80
Tipo de sistema	Bombeo sin tratamiento	Gravedad + tratamiento	Tratamiento + desagües
Calidad del agua	Subterránea	Filtración	Filtración

Tabla 11. Características de las zonas a analizar

La **Tabla 12** muestra el orden de prioridades de las zonas a implementar la micromedición, lógicamente las variables y las ponderaciones correspondientes deben ser cuidadosamente seleccionadas.

En nuestro país se han aplicado diferentes criterios para realizar la selección de áreas prioritarias. En algunos casos como por ejemplo la ciudad de Puerto Madryn, se realizó una experiencia piloto y para la selección de zonas se utilizaron variables socio económicas. El desarrollo de esta experiencia se puede consultar en el documento Técnico n° 2 año 1993 del Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios “Jornadas sobre micromedición de consumos de Agua Potable”.

Zona de la localidad	V1 = Cantidad de conexiones	
	Calificación	Resultado
Zona 1	1	0.20
Zona 2	4	0.80
Zona 3	4	0.80
Zona de la localidad	V2 = Dotaciones	
	Calificación	Resultado
Zona 1	2	0.26
Zona 2	3	0.39
Zona 3	2	0.26
Zona de la localidad	V3 = % de micromedición existente	
	Calificación	Resultado
Zona 1	5	1
Zona 2	4	0.80
Zona 3	5	1
Zona de la localidad	V4 = Población atendida, capacidad	
	Calificación	Resultado
Zona 1	3	0.51
Zona 2	4	0.68
Zona 3	1	0.17
Zona de la localidad	V5 = Tipo de sistema	
	Calificación	Resultado
Zona 1	3	0.48
Zona 2	2	0.32
Zona 3	5	0.80
Zona de la localidad	V6 =Tipo de calidad de agua	
	Calificación	Resultado
Zona 1	5	0.70
Zona 2	3	0.42
Zona 3	3	0.42
Zona de la localidad	Resultados	
	Sumatoria de resultados	Orden de prioridades
Zona 1	3.15	3°
Zona 2	3.41	2°
Zona 3	3.45	1°

Tabla 12. Orden de prioridades de zonas para micromedición

4.4. DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE MICROMEDICIÓN

A continuación se describe la secuencia de aplicación de un programa de micromedición realizado en la Empresa SABESP (Companhia de Saneamento Básico del Estado de Sao Paulo).

El trabajo se basó en la hipótesis de que el comportamiento de los consumos en las zonas con conexiones medidas puede ser considerado como una muestra para evaluar el comportamiento de los consumos en toda la población abastecida.

Para ello se consideró de importancia tener en cuenta que:

- 1). El nivel de micromedición existente fuera representativo con relación al número total de conexiones.
- 2). La localización de los medidores domiciliarios existentes no fuese arbitraria.
- 3). Los micromedidores instalados funcionaran adecuadamente y los resultados de sus lecturas fueran confiables.

En base a la información trimestral existente en la empresa sobre los principales indicadores relativos a la operación del servicio, se analizó su evolución y se eligieron los mas apropiados para la evaluación de los sistemas.

Por otra parte se elaboraron los histogramas de consumo para observar el comportamiento de los consumos por bimestre.

4.4.1. Etapas del Estudio

El estudio se desarrolló en las siguientes etapas:

PRIMERA ETAPA

Análisis del comportamiento los distintos sectores de producción, facturación y consumo de cada sistema evaluando los indicadores físicos como:

- Capacidad nominal.
- Volumen producido.
- Volumen medido.
- Volumen total facturado.
- Volumen facturado en las conexiones con medidor.
- Volumen excedente.
- Volumen de los consumidores medios y grandes (considerados como todas aquellas conexiones que poseen consumo mayor que el mínimo).
- Número total de unidades de consumo
- Número de conexiones de agua medidas.

- Número de conexiones de desagües.

Los nueve indicadores de interés para el análisis se pueden observar en la **Tabla 13**.

Los indicadores permiten conocer y trazar un panorama de las distintas situaciones existentes en el sistema en estudio. A continuación se describe la utilidad de los mismos.

- I₁ Muestra las condiciones de trabajo del sistema, puede ser utilizado para la toma de decisiones en relación a la ampliación del mismo. Es muy importante que la capacidad instalada del sistema haya sido medida con macromedición, para no sacar conclusiones equivocadas.
- I₂ Muestra indirectamente lo que la Empresa está produciendo pero no está facturando es decir las pérdidas comerciales, por pérdidas en las redes, falta de micromedición u otras causas.
- I₃ Es un indicador que en conjunto con I₄, da una idea sobre el comportamiento del consumo de la población. No fue utilizado aislado en la evaluación.
- I₄ Si se compara con el nivel de medición muestra la influencia de la micromedición en la facturación. La diferencia de (I₄-I₃) muestra el porcentual del volumen no consumido que está siendo facturado en las conexiones medidas (Caso de tarifación por volumen máximo fijo).
- I₅ Este indicador asociado con I₆ muestra el volumen que la Empresa está facturando por sobre el volumen mínimo fijado por la estructura tarifaria, realizando una evaluación sobre el comportamiento del consumo de la población
- I₆ Muestra el porcentual del volumen facturado en las conexiones con medidor, correspondiente al volumen excedente. Puede ser utilizado para análisis de Estructura Tarifaria (Este es el caso de tarifación por volumen mínimo fijo). No fue utilizado aislado para el análisis.
- I₇ Muestra la influencia de los consumidores medios y grandes en el volumen medido, siendo importante la decisión que se tome sobre la micromedición.
- I₈ Asociado a I₂ puede indicar si las pérdidas ocurren en las conexiones domiciliarias o en las redes.
- I₉ Utilizado para verificar el grado en que las viviendas conectadas a la red de desagües tienen servicio medido de agua.

Símbolo	Indicadores de operación	Unidades	Factor analizado	Límites de evaluación	Evaluación
I_1	Volumen producido / capacidad nominal	%	Producción	$I_1 < 80 \%$ $80\% < I_1 < 95 \%$ $I_1 \geq 95 \%$	Holgada Normal Sobrecargada
I_2	Volumen facturado / volumen producido	%	Pérdidas	$I_2 > 80 \%$ $70\% \leq I_2 \leq 80 \%$ $I_2 < 70 \%$	Baja Media Elevada
I_3	Volumen medido total / Volumen facturado total	%	Comportamiento del consumo de la población: Volumen medido	--	Indicador ilustrativo, no utilizado en la evaluación
I_4	Volumen facturado por conex con medidor / Vol. Facturado total	%	Comportamiento de consumo de la población: Influencia de la micromedición en la facturación	$I_4 > \text{Nivel de medición } (*)$ $I_4 = \text{Nivel de medición } (*)$ $I_4 < \text{Nivel de medición } (*)$	La Micromedición es favorable a la facturación La Micromedición no influye en la facturación La Micromedición perjudica la facturación
I_5	Volumen excedente / vol. Facturado total	%	Comportamiento del consumo de la población: Volumen excedente	$I_5 < 15 \%$ $15\% < I_5 \leq 25 \%$ $I_5 \geq 25 \%$	Bajo Razonable Elevado
I_6	Volumen excedente / Volumen facturado en las conexiones con medidor	%	Comportamiento del consumo de la población: Volumen excedente	--	Indicador ilustrativo, no utilizado en la evaluación
I_7	Volumen medido de medios y grandes consumidores / Volumen medido total	%	Comportamiento del consumo de la población: Volumen medido de los consumidores medios y grandes	$I_7 < 30 \%$ $30\% \leq I_7 \leq 70 \%$ $I_7 > 70 \%$	Bajo Razonable Elevado
I_8	Volumen total facturado/Número total de unidades de consumo	m ³ / conexión	Comportamiento del consumo de la población: Volumen facturado por unidad de consumo	$I_8 < 20 \%$ $20\% < I_8 \leq 25 \%$ $26\% \leq I_8 \leq 40 \%$ $I_8 > 40 \%$	Bajo Normal Elevado Excesivo
I_9	N° de conexiones de desagües/ número de conexiones de agua medidas	%	Nivel de micromedición en relación al las conexiones de desagües	$I_9 > 100\%$ $I_9 \leq 100\%$	Deficiente Probablemente normal

Fuente: Modelo de desenvolvimiento de um programa de micromedicação, Vera Lucia Pinto Albuquerque, Jairo Andrade Silva, Revista DAE N° 126

(*) Nivel de medición: porcentaje de conexiones con medidor respecto al total de conexiones.

Tabla 13. Indicadores utilizados en el programa de micromedición

SEGUNDA ETAPA

Análisis de los consumos medidos y simulación para las unidades de consumo no medidas.

De los Histogramas de Consumo de cada sistema se obtuvieron los siguientes datos:

- Número de unidades de consumo por rango de consumo y por categoría.
- Número total de conexiones medidas.
- Número total de conexiones.
- Volumen medido por rango o faja de consumo y categoría.

A partir de estos valores se calculó para cada faja de consumo dentro de cada categoría (residencial, comercial, industrial) lo siguiente:

- Número de unidades de consumo.
- % de volumen medido.
- Volumen real facturado.
- Consumo medio por mes obtenido de dividir el volumen medido de cada faja de consumo por el número de unidades de consumo.
- Nivel de medición dividiendo el número de conexiones medidas por el número total de conexiones.

Este último se calculó para el menor rango de consumo de cada categoría multiplicando el número de unidades de consumo por el volumen correspondiente del límite superior de cada faja de consumo. Para los demás rangos el volumen real facturado es el propio volumen medido.

Estos valores indican el comportamiento del consumo de la población referente a esas unidades de consumo, en términos de distribución en las fajas de consumo. Considerando que ese comportamiento es válido, también, para las unidades de consumo no medidas (lo cual es de esperar especialmente cuando el nivel de medición existente es significativo), se realiza una simulación para éstas teniendo como resultado final el cálculo del “Volumen Facturable Medio Perdido de Agua” por unidad de consumo, que corresponde al volumen que la Empresa está dejando de facturar debido a la inexistencia de la micromedición.

El número de unidades de consumo no medidas, por categoría, se obtuvo de los Histogramas de Consumos.

De la misma forma, el “Volumen Medio Facturable Perdido” de desagües cloacales se calculó a través de la misma simulación realizada para las unidades de consumo no medidas, en base a las unidades de consumo medidas de agua, una vez que, a efectos de la tarifa, los volúmenes de desagües cloacales recolectados corresponden a los volúmenes de agua consumidos en el período.

La instalación del micromedidor en una conexión se considera viable si la factura adicional resultante de la facturación de los “Volúmenes Facturables Medios Perdidos” (Agua y Cloaca) cubren por lo menos los gastos de instalación, operación y mantenimiento de los medidores.

En el análisis de factibilidad de la instalación del medidor, se consideró la situación más desfavorable en términos de facturación por conexión, o sea:

- Sólo una unidad de consumo en cada conexión.
- La unidad de consumo no dispone de conexión de cloaca.

De este modo la facturación adicional provendrá solo de la cobranza del “Volumen Facturable Medio Perdido de Agua por Unidad de Consumo”.

En el cálculo de esta factura adicional se utilizó la cobranza por el más bajo costo del metro cúbico excedente dentro de la Estructura Tarifaria aplicada para el caso de estudio.

El aumento en el gasto mensual por conexión, consecuente de la implementación de la micromedición, se calculó considerando los siguientes ítems:

- Servicio de Deuda proveniente del préstamo para compra de los aparatos.
- Gastos de Explotación.
- Depreciación.

Se consideró que para que haya un equilibrio financiero entre facturación y egresos, deberá ser satisfecha la siguiente ecuación:

- “Volumen Facturable Medio Perdido de Agua” x “Costo Mínimo de Metro Cúbico Excedente” \geq Aumento en el gasto mensual por conexión.

Conocido el aumento en el gasto mensual por conexión se define el menor “Volumen Facturable Medio Perdido” (VFP min) capaz de satisfacer la condición descrita anteriormente. Ese volumen comparado con el “Volumen Facturable Medio de Agua Perdida” (VFP Medio) permite justificar la recomendación a formular sobre el número de micromedidores a instalar en las conexiones existentes.

Para el análisis final se adoptaron los siguientes criterios:

- Si VFP medio fuese mayor o igual al VFP min, la micromedición deberá extenderse a todas las conexiones (100%).
- Si VFP medio fuese menor que el VFP min, la micromedición quedará en el nivel que está, excepto en las conexiones industriales existentes sin medidor, para las que se consideró la obligatoriedad de su instalación, como figura en el reglamento de la Empresa.

El Programa, mientras tanto, no consideró solo las conexiones actualmente existentes. Se analizó el crecimiento vegetativo de los últimos meses en cada comunidad así como las disponibilidades de producción de cada sistema. A las necesidades inmediatas se aumentaron los medidores previstos para atender ese crecimiento en los próximos dos años, obedeciendo obviamente al criterio expuesto anteriormente.

Para las ciudades que ya poseen un nivel de medición del 100% se verificó la factibilidad de instalación del micromedidor en las conexiones futuras a instalar, considerándose como volúmenes esperados los volúmenes medidos actuales.

TERCERA ETAPA

Análisis económico-financiero de la inversión

Se analizó la cantidad de medidores prevista por ciudad, comparando la facturación adicional con el gasto adicional.

Para el cálculo del importe de la factura proveniente de la medición, en las viviendas con conexión de cloaca se consideró el menor costo del metro cúbico excedente en el esquema tarifario. En el cálculo del “Volumen Facturable Perdido” de agua dentro de la previsión de 24 meses se utilizó el “Volumen Facturable Medio Perdido” de cada ciudad.

Esta metodología fue aplicada en localidades con micromedición implementada, pero la misma podría ser extendida a localidades sin micromedición siempre que:

- Se elija una muestra dentro de las conexiones existentes que luego será utilizada para el análisis del comportamiento y su posterior simulación para las demás conexiones.
- Una vez definido el tamaño de la muestra de las conexiones no medidas, el paso siguiente sería escoger aquellas conexiones a incluir en la misma.
- Es conveniente realizar este trabajo con colaboración de profesionales que conozcan la localidad, sus niveles socio-económicos y el sistema de distribución. Una de las variables más importantes a considerar es el comportamiento de los consumos. Se puede, para ello, instalar algunos medidores, aisladamente, tipo estudio piloto.
- Definidas las áreas y escogidas las conexiones a ser medidas, es recomendable realizar un seguimiento durante por lo menos un año para la verificación del comportamiento y evolución de los consumos. En el desarrollo del estudio puede ocurrir que se deba agrandar la muestra o también que la misma sea representativa de los consumos de la población con lo cual se podría aplicar la metodología descripta.

5. REHABILITACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE

Desde hace algunos años se denomina con la expresión rehabilitación o reconstrucción aquéllas actividades que modifican el estado de algún tramo o red existente de servicio público. Esta modificación puede corresponder a su estructura, ubicación, material, dimensión, estado, etc.

Se entiende así por rehabilitación toda aquella intervención en el sistema existente a través de la cuál con métodos apropiados se puede satisfacer la demanda sin llegar al reemplazo de las instalaciones. Lo que en la práctica significa un aumento de eficiencia comparado con el estado existente antes de la ejecución de los trabajos.

5.1. ANÁLISIS DE LAS CAUSAS QUE ORIGINAN LA REHABILITACIÓN

Se pueden distinguir las siguientes causas como origen de la rehabilitación:

- Causas que dependen del servicio.
- Causas que no dependen del servicio.

En la **Tabla 14** se resume las distintas causas por las que se puede decidir la rehabilitación de un sistema existente:

Causas relacionadas con el servicio

Como muestra la **Tabla 14**, a este tipo de causas pertenecen el envejecimiento técnico y el deterioro, los que en conjunto representan el valor de uso de un determinado elemento de la red.

Entre las causas mencionadas sólo el desgaste y en parte el envejecimiento técnico se pueden estimar previamente para un determinado elemento de la red. La corrosión interna y externa se puede determinar desde el punto de vista de la vida útil del elemento. En la realidad la situación no es tan sencilla, dado que existen muchas variables que pueden incidir sobre esta última.

Entre ellas se puede mencionar las siguientes:

- El material de la cañería.
- El suelo que rodea la conducción y su influencia sobre la cañería, agresividad de la napa freática, influencia de heladas en lugares muy fríos.
- Influencia de las fuerzas exteriores.
- Calidad de los trabajos durante la ejecución de la obra.
- Las condiciones del servicio, presiones, golpes de ariete etc.
- Utilización inadecuada en relación a las normas de uso vigentes.

Causas independientes del servicio

Generalmente en aquéllas localidades donde la construcción de redes de servicios no está totalmente coordinado con el desarrollo del crecimiento urbano puede ocurrir que se presente la necesidad de reconstrucción de algunos tramos de dichas redes o que la ampliación de una red de algún servicio público traiga aparejado la rehabilitación de otra.

En el ítem “Otros” de la **Tabla 14**, se incluyen problemas de explotación del servicio en los casos de reconstrucción de cañerías maestras, o principales o bien construcción o reconstrucción de instalaciones de otros servicios, así como también exigencias de normas referentes a distancias mínimas y máximas por ejemplo de obras a edificios, etc.

Causas para la reconstrucción / rehabilitación			
Relacionadas con el servicio		Independientes del servicio	
Envejecimiento técnico	Deterioro	Ordenamiento Urbano	Otros
Aumento de los consumos específicos de agua	Corrosión externa	Reconstrucción de áreas urbanas	Reconstrucción de otro tipo de obras
Aumento de la cantidad de viviendas	Corrosión Interna	Modificación de las funciones del área urbana	Exigencias de cumplimiento de distancias mínimas entre obras subterráneas y/o de servicios públicos y edificios
Modificación de la normativa vigente	Aumento de las cargas externas	Reconstrucción de calles o cruces	
	Modificaciones en las condiciones del subsuelo	Construcción de obras subterráneas, como túneles, subterráneos, etc.	
	Operación incorrecta o comportamiento inadecuado de los usuarios		

Tabla 14. Causas de reconstrucción y rehabilitación

5.2. VIDA ÚTIL DE LAS REDES

La vida útil de las redes de distribución es finita. Con el envejecimiento, las conducciones gradualmente pierden la capacidad de transporte y cada vez se hacen más propensas a las roturas. De este modo llega el momento donde resulta más económico el cambio de la cañería que continuar realizando reparaciones.

En particular en ciudades dónde existen sectores de redes antiguas aumenta día a día el número de roturas en las mismas.

En relación con la vida útil de las tuberías se han realizado numerosas experiencias pero en muchos casos no se ha podido generalizar las conclusiones debido a los vacíos de información de los datos históricos.

Hoy en día se considera que entre la edad de los elementos de una red y la cantidad de roturas existe una relación, lo que se puede describir con una función lineal o exponencial.

Algunas investigaciones realizadas concluyeron que:

- Las curvas que representan la vida útil de cañerías de distintos materiales son variables, es decir para cada material se puede trazar una curva diferente.
- En casos de cañerías de idéntico material pero diferente diámetro se justifica la construcción de curvas de vida útil diferentes.
- En casos de falta de datos, se puede construir una curva de vida útil por tipo de material independizándose del diámetro.

Las investigaciones realizadas en el caso de hierro fundido pueden sintetizarse en el diagrama siguiente (**Figura 15**).

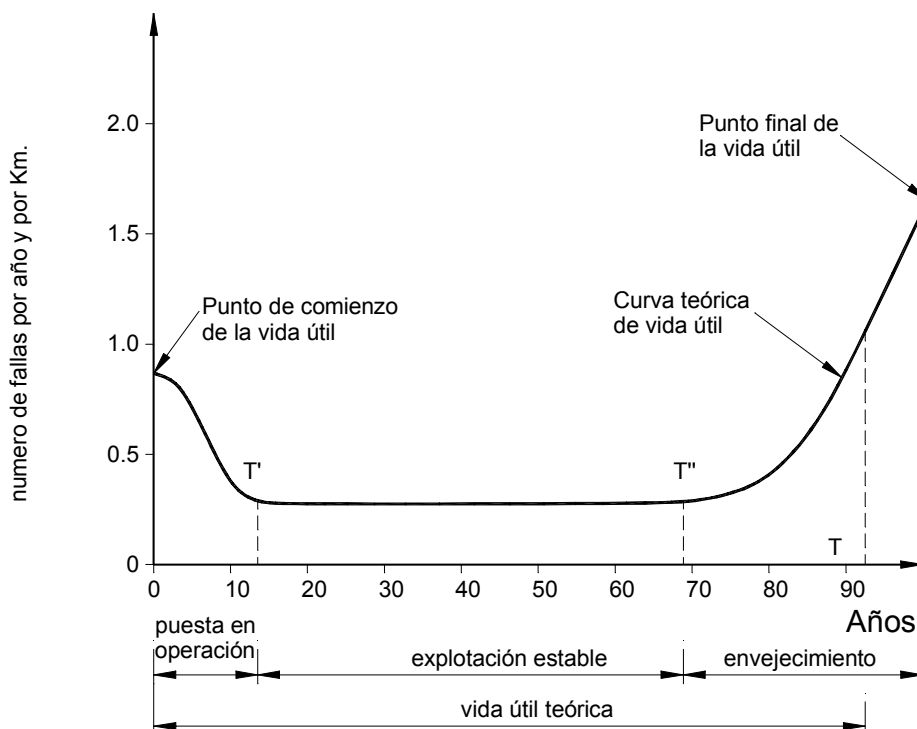


Figura 15. Vida útil teórica de cañerías de hierro fundido

5.3. PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE REDES

De estudios realizados en Inglaterra planteados en el Congreso Internacional del Agua en 1978 en Kyoto, se puede resumir las siguientes conclusiones:

- En casos de redes nuevas es necesario proyectar pensando a largo plazo la posibilidad de la renovación y de la rehabilitación.
- El período de explotación económica de una red de agua potable es el período durante el cual los costos anuales de reparación y del agua perdida son más bajos que el monto de amortización anual de la inversión necesaria para el cambio de la conducción.
- El momento de la renovación o reemplazo se puede determinar con cálculos teóricos.
- Hay un momento en el que a causa de las pérdidas por filtraciones debidas a corrosión roturas etc. la única manera de satisfacer la demanda es aumentando la velocidad del agua y el rendimiento del bombeo con lo que, a su vez, por el aumento de presión se incrementan las pérdidas).

Según trabajos realizados en Alemania, existen dos elementos determinantes para la toma de decisiones en cuanto a la rehabilitación:

- El estado técnico de la instalación entendiendo este en relación a la estructura de la instalación y su estado.
- El análisis de la capacidad hidráulica de la red para atender las demandas luego de la reconstrucción, es decir se debe estudiar si existe capacidad remanente porque puede ser conveniente no rehabilitar el sistema por su falta de capacidad o bien, modificar la selección de la tecnología de forma total que permita la ampliación del mismo.

En un caso práctico y concreto para la determinación del estado técnico se evaluaron tres variables a saber:

- a). La edad de la red.
- b). El valor de uso.
- c). La tasa de fallas.

La edad de la red, es el tiempo transcurrido entre la fecha de construcción (cuando fue instalada la cañería nueva) y el momento de análisis (la fecha actual).

Como valor de uso se, entiende la proporción entre la edad de la instalación y la vida útil estimada de la misma.

La tasa de roturas, también denominada tasa de fallas, es un valor que se define como la cantidad de roturas producidas por cada kilómetro de instalación (en este caso la red), por año.

Combinando estas tres informaciones básicas éste método propone el cálculo de un cuantificador técnico de valor de uso, definido como:

$$C_{vuso} = A + B + C$$

Dónde:

A = resultado del indicador calculado según ítem A de la **Tabla 15**.

B = resultado del indicador correspondiente al valor de uso del elemento, según ítem B de la **Tabla 15**.

C = resultado del indicador que representa la tasa de roturas según el ítem C de la **Tabla 15**.

Item	Componentes del valor de uso	Valor de ponderación	Multiplicador por peso o importancia	Indicador resultante
A	Fecha de Construcción*			
	ANTES DE 1900	0	0.1	0
	1900-1920	1	0.1	0.1
	1921-1945	2	0.1	0.2
	DESPUES DEL 1945	3	0.1	0.3
B	Valor de uso en [%]			
	< 25	0	0.3	0
	25-50	1	0.3	0.3
	51-75	2	0.3	0.6
	> 75	3	0.3	0.9
C	Relación de roturas [N° de fallas/km/año]			
	1	0	0.6	0
	0.51-1	1	0.6	0.6
	0.25-0.50	2	0.6	1.2
	< 0.25	3	0.6	1.8

Fuente: Reconstrucción de redes de servicios de agua, Universidad Técnica de Budapest, Instituto de Posgrado (Año 1982).

Tabla 15. Indicadores de valoración de los componentes del valor de uso

Se le ha dado un valor a cada ítem denominado valor de ponderación y luego un factor de peso y el indicador surge de multiplicar los dos factores anteriores. Según los valores que tome $C_{v,uso}$ se puede determinar si el estado es apropiado, suficiente, bueno, etc. Según la siguiente clasificación:

$C_{vu} \leq 0.75$ Insuficiente [-]

$0.76 \leq C_{vu} \leq 1.50$ Suficiente [+]

*Corresponde al ejemplo estudiado se deberá adecuar a cada caso en particular.

$1.51 \leq C_{vu} \leq 2.25$ Bueno $[++]$

$2.26 \leq C_{vu} \leq 3.00$ Muy bueno $[+++]$

El ejemplo puede completarse si se considera la demanda actual y futura. Desde este punto de vista y dependiendo del período de diseño fijado se puede calificar la capacidad como:

Suficiente $[+]$

Insuficiente $[-]$

La **Figura 16** muestra la evaluación de las conducciones de agua según su estado y capacidad y las posibles decisiones a tomar:

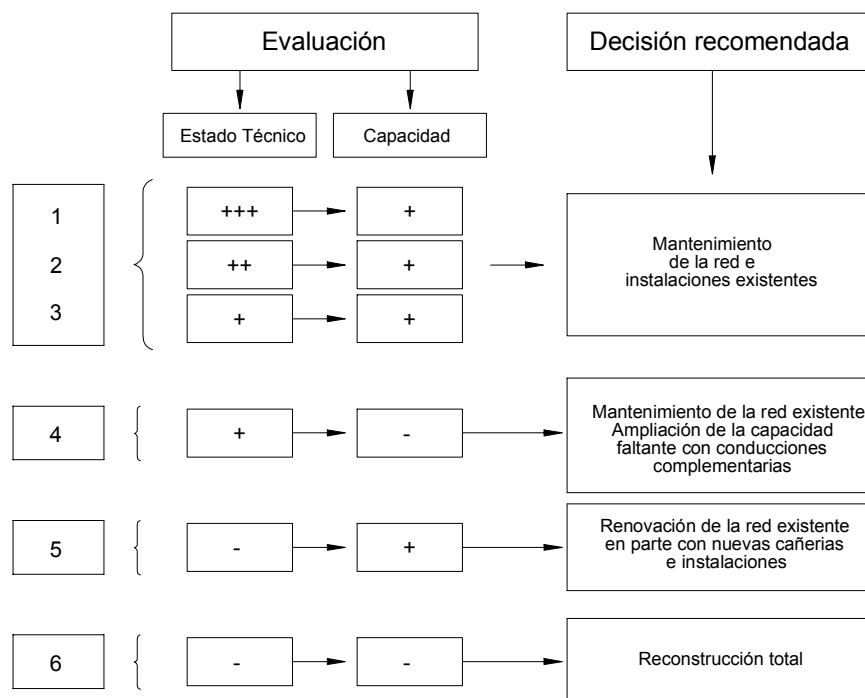


Figura 16. Evaluación de las conducciones de agua según su estado y capacidad

En los tres primeros casos, se muestran situaciones dónde el estado técnico es Muy bueno(+++), Bueno(++) y Suficiente(+) respectivamente y con relación a la capacidad de las cañerías en los tres casos es suficiente. La solución recomendada para los tres es mantener la red y las instalaciones.

En el cuarto caso se plantea una situación para la que el estado técnico es suficiente y la capacidad insuficiente, en consecuencia la solución planteada es mantener la instalación existente y construir nuevas instalaciones complementarias para alcanzar la capacidad necesaria para cubrir la demanda proyectada a futuro.

En el quinto caso se da la situación de estado técnico inapropiado o deficiente para el funcionamiento y capacidad suficiente. En estos casos es recomendable la rehabilitación de la instalación en los sectores que corresponda, ya que se puede prolongar la vida útil de la instalación y aprovechar la capacidad instalada existente.

En el último caso se da que ni el estado técnico (estructural) es apropiado, ni la capacidad suficiente. En dicho caso es conveniente la reconstrucción total.

Otro método, desarrollado en USA, se ha utilizado para la programar el cambio de cañerías.

En base a los datos de las fallas o roturas de una o varias cañerías de igual características (material, edad, etc.), o una red completa se puede plantear una ecuación que represente en forma apropiada la aparición de fallas a lo largo del tiempo.

Esta ecuación se expresa de la siguiente forma:

$$N_{(t)} = N_{(t_0)} \cdot e^{A(t-t_0)}$$

donde:

t = Fecha para la cual se efectúa la estimación

t_0 = Año de inicio del análisis (o el año de construcción de la red o el primer año desde el que hay datos)

$N_{[t]}$ = Cantidad de fallas calculado sobre 100 metros de longitud de la cañería en el año t

A = Constante de crecimiento de la cantidad de fallas ocurridas en el tiempo (dimensión = 1 (año))

Un ejemplo práctico llevado a cabo por SHAMIR y HOWARD, quienes demostraron que en la práctica se comprueba una correlación compleja y que las fallas crecen en forma exponencial **Figura 17**.

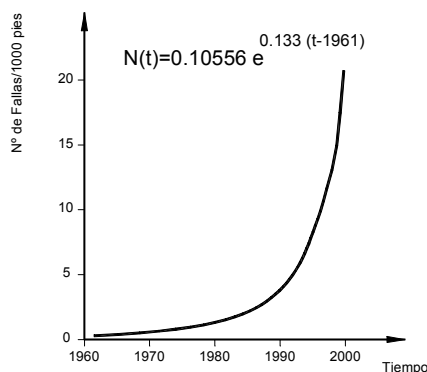


Figura 17. Análisis realizado por Shamir y Howard

Otro método de análisis en base a indicadores se describe en la **Tabla 16**. En este método se tiene en cuenta las fallas, el ordenamiento y agrupación de las mismas y luego se plantean recomendaciones sobre las redes y su calificación.

Evaluación				Indicador	
				Grupo	
Grupo	Modo	Categoría	Puntaje	Máximo	Mínimo
ESTADO	Resultado de análisis y mediciones	Excelente	3	10	3
		Suficiente	2		
		Aceptable	1		
		No aceptable	0		
	Edad en porcentaje en base a la vida útil teórica	0-20 %	4		
		21-70%	2		
		71-120%	1		
		>120%	0		
	Valor de la tasa de roturas o fallas n°/km/año	<0.1	3		
		0.1-0.5	2		
		0.51-1.5	1		
		>1.5	0		
APTITUD TÉCNICA	Técnica de explotación	En 100%	3	12	9
		Si	2		
		No	0		
	Prueba de presión	SI	2		
		NO	0		
	Técnicas de seguridad	SI	2		
		NO	0		
	Estabilidad	SI	2		
		NO	0		
	Satisface las normas	Totalmente	3		
		Con limitaciones	2		
Después de 5 años		1			
NO		0			
APTITUD PARA EL SERVICIO	Seguridad	Largo plazo >1.0	3	7	5
		>10	2		
		0.8-1.0	1		
		<0.8	0		
	% de molestias	Aceptable	4		
		No aceptable	0		
UBICACIÓN ACEPTABLE		A largo plazo	3	3	2
		Actualmente	-		
		SI	2		
		NO	0		

Fuente: Reconstrucción de redes de servicios de agua, Universidad Técnica de Budapest, Instituto de Posgrado.

Tabla 16. Método de evaluación por medio de indicadores

Si se suman los valores correspondientes el valor del indicador [M], se pueden clasificar según la **Figura 17**.

Rango del indicador					Calificación
32	>	M	> =	27	Muy satisfactorio
27	>	M	>	20	Satisfactorio
20	>	M			No satisfactorio

Tabla 17. Rangos de calificación del indicador suma0

5.4. ANÁLISIS DE CAPACIDAD HIDRÁULICA

Se entiende por análisis de capacidad de la red o elementos de la red a ser evaluados la comparación entre la capacidad de las instalaciones existentes y las que se requieren para atender la demanda calculada de acuerdo a los consumos fijados en las normas o eventualmente a los consumos calculados en base a datos reales.

Normalmente estos cálculos hidráulicos se realizan con la ayuda de modelos matemáticos, simulando diferentes estados de funcionamiento y analizando, en cada caso, la respuesta de la instalación. El desarrollo del manejo de este tipo de modelo se puede encontrar en el Capítulo XII Redes de Distribución de las presentes Fundamentaciones.

- El modelo matemático de la red es de fundamental importancia para la correcta asignación de recursos destinados a la ejecución de obras, para aumentar la presión, incrementar la capacidad de suministro, reducir el nivel de pérdidas en particular y de agua no contabilizada en general. Permite estudiar la conveniencia de instalar nuevas cañerías para reforzar el sistema y adoptar la solución óptima, ya sea para satisfacer nuevas demandas o cumplimentar con las existentes.
- El análisis del sistema ayuda a identificar donde existe riesgo de bajas presiones y dónde las posibles mejoras brindarán mayores beneficios a los usuarios. También permitirá identificar áreas de gran consumo, lo que puede guiar el trabajo de detección de pérdidas. Esto será particularmente ventajoso cuando se use como una herramienta para complementar la información obtenida con la macromedición en un distrito pitométrico y el monitoreo de presiones.
- Los modelos permiten determinar el potencial de las redes existentes. Es conveniente que el modelo matemático se emplee como una ayuda permanente a este trabajo, bajo la supervisión de personal capacitado.
- La exacta modelación depende, en primera instancia de la confiabilidad de los registros gráficos de los sistemas de distribución. Estos registros se deben complementar con otros sistemas de manejo de datos que pueden ser usados buscando obtener el máximo provecho de las capacidad gráfica del modelo. Cuando estén disponibles, se deben incluir las edades y materiales de cada cañería modelada.

5.5. ANÁLISIS DEL ESTADO ESTRUCTURAL

El estado estructural se determina estableciendo en que período de su vida útil se encuentra la instalación en estudio. Para ello es necesario conocer:

- La vida útil.
- La tasa de fallas.

Para el análisis del estado estructural se recomiendan tres métodos:

- 1). Teórico.
- 2). Con análisis comparativos de los materiales.
- 3). A través de diagnósticos específicos.

1). Teórico

Consiste en determinar el punto final de la vida útil en base a cálculos económicos. El método busca establecer cuando se hace conveniente el reemplazo de una instalación, planteando que tal situación se puede definir como el momento en que los costos para mantener en funcionamiento continuo el sistema alcanzan o superan el monto de la inversión para ejecutar una obra nueva.

2). Análisis de los materiales

En este caso es necesaria la recopilación de datos y consiste en lo siguiente:

En mapas correspondientes a las características del suelo y napa freática se debe dibujar la traza de las redes. Simultáneamente, en caso de redes nuevas, se debe enviar al laboratorio para su análisis un trozo de tubería a ser colocada, que se tomará como patrón. Posteriormente cada vez que sea necesario realizar reparaciones en la instalación se cortará y remitirá al laboratorio un trozo de tubería para estudiar como varían sus características por comparación con el tubo patrón. Se señalará en los planos la exacta ubicación de los lugares donde se obtuvieron las sucesivas muestras.

Lógicamente este método se puede realizar a partir de cualquier momento durante la vida útil de la instalación.

Como comentario se puede recordar que en nuestro país y a partir de las obligaciones asumidas por los concesionarios de los servicios de saneamiento, en ciudades donde se ha efectuado el diagnóstico del estado de las redes como etapa previa a la ejecución de trabajos de rehabilitación se han tomado muestras para determinar el estado de grafitación e incrustación en las tuberías de redes de agua potable.

3). Diagnósticos

En los últimos años se han desarrollado instrumentos para examen de redes de distintos materiales, lo que da una gran posibilidad de análisis. Uno de los métodos más utilizados para el diagnóstico son los sistemas de auscultación por TV que se describen brevemente a continuación en el numeral 6.5.8. Inspecciones, Observación, Instrumentación.

El sistema de auscultación por cámara de TV puede ser de innegable utilidad en otras unidades del sistema, tales como estaciones de bombeo, componentes de la planta de tratamiento, etc.

Es necesario que se realicen diagnósticos precisos para conocer el tipo, ubicación y características de la falla que se presenta en la cañería. A continuación se clasifican después de ellos en función de la dimensión y de la tecnología disponible para corregirlos.

5.6. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE FALLAS

Los defectos en las tuberías son de distinto origen y muy variados, por este motivo se pueden clasificar de distintas formas.

Si se los agrupa según el método de rehabilitación se los puede dividir en:

- Fallas solucionables sin excavaciones con tecnologías, que se aplican cuando la estructura original es aún utilizable.
- Fallas cuyas reparación requiere excavar y descubrir la cañería para su reparación.

Las fallas pueden ser clasificadas según la **Tabla 18** en:

Tipo de fallas corregibles con tecnologías sin excavaciones			
Fallas en línea	Corrosión externa	Fallas localizadas	Fisuras locales circunferenciales
	Corrosión interna		Uniones irregulares
	Desgaste de las paredes de las tuberías		Juntas permeables
	Fisuras en la pared de la tubería longitudinales		
Tipo de fallas corregibles con tecnologías que exigen realizar excavaciones			
Fallas en línea	Falta de capacidad	Fallas localizadas	Derrumbes o quiebres puntuales
	Depresiones extendidas a lo largo de la cañería		Juntas deformadas
	Derrumbes a lo largo de una línea		Uniones irregulares

Tabla 18. Clasificación de posibles fallas

5.7. PROCEDIMIENTOS DE REHABILITACIÓN DE REDES

De acuerdo a lo anterior los métodos de rehabilitación y reconstrucción de redes se dividen para su estudio en dos grandes grupos:

- Rehabilitación con excavaciones.
- Rehabilitación sin excavaciones.

Lógicamente cada procedimiento tiene una aplicabilidad definida según el tipo de fallas que se diagnostique en las redes.

5.7.1. Rehabilitación Con Excavación

- Recambio de cañerías con modificación del tamaño, con posibilidades de modificar la traza.
- Instalación paralela de cañerías.
- Renovación de la cañería existente.

Las reparaciones tradicionales con excavación localizada se han utilizado para reparar tramos cortos insertando un caño nuevo en la línea antigua y mediante el uso de distintos tipos de collares o empalmes de tope. Estos métodos hacen perder flexibilidad en las juntas y presentan, también, problemas cuando existen pequeñas diferencias de tamaño entre la cañería existente y la nueva. El empleo de juntas tipo “Gibault” permite, en algunos casos, solucionar estos problemas.

En otros casos es posible minimizar las excavaciones necesarias para llevar a cabo reparaciones aisladas y también la longitud de nueva cañería usando manguitos compuestos de acero inoxidable y de goma con los que se puede ajustar cualquier diferencia de tamaño.

El procedimiento a seguir es, primero, excavar hasta el caño dañado y cortar el tramo a reemplazar con un cortador a disco. Se corta a medida el tramo de caño nuevo y se calzan dos manguitos en los dos extremos del nuevo caño. El caño se coloca en posición, se deslizan los manguitos sobre las juntas y se ajustan. Esta reparación es hermética y flexible. Luego, se pone el material de asiento alrededor de la reparación y se tapa la excavación. Debe tenerse cuidado con el material de asiento pues podría asentarse de distinta forma al resto de la instalación. El sistema sirve para caños de diámetros entre 0.10 m. y 2,5 metros. También se pueden conseguir encastres para salvar diferencias de diámetros externos y para conexiones defectuosas donde se emplea un accesorio hecho a medida en lugar del caño recto.

5.7.2. Rehabilitación Sin Excavaciones

En las últimas décadas se han desarrollado varios sistemas de rehabilitación sin excavaciones los que se han utilizado fundamentalmente en Europa, Japón, y más recientemente en Estados Unidos. Actualmente se han comenzado a aplicar en nuestro país, sobre todo en empresas de servicio concesionadas para optimización de los sistemas, evitando problemas en zonas densamente pobladas donde se encuentran redes antiguas.

Previo a la selección de la tecnología de rehabilitación, es de importancia realizar un diagnóstico para determinar el tipo de problema que se presenta en la instalación y luego seleccionar la tecnología apropiada.

Entre las tecnologías de rehabilitación sin excavaciones existen distintos métodos los que cumplen funciones diferentes, se podrían clasificar del siguiente modo:

- Técnicas de rehabilitación que aprovechan la estructura existente en general llamadas no estructurales porque básicamente no modifican las tuberías existentes, entre ellas se pueden mencionar:
 - Técnicas de rehabilitación localizadas (juntas, fisuras circunferenciales, etc.).
 - Técnicas de rehabilitación en línea (cuando el problema se presenta a lo largo de la cañería, incrustaciones, rugosidades no apropiadas, etc.).
- Técnicas de rehabilitación que modifican la estructura existente en general llamadas estructurales porque con su aplicación se modifica el estado técnico original de la tubería, como cuando se introduce una nueva cañería rígida o flexible dentro de la existente y ésta pasa a ser la nueva estructura.

En la **Tabla 19** se clasifican algunas de estas tecnologías.

Técnicas de rehabilitación sin excavaciones			
No estructurales		Estructurales	
Limpiezas especiales no rutinarias	Limpiezas mecánicas con raspado		
	Limpiezas hidráulicas con jet		
	Limpiezas químicas		
Localizadas	Reparación de juntas y fisuras		
	Reemplazo local de material		
	Relleno de cavidades		
	Redondeo de cañerías		
En línea	Revestimiento con epoxy o mortero de cemento a lo largo de un tramo (relining)	En línea	Inserción de cañerías flexibles dentro de cañería existente sin eliminación de esta última.
	Inserción de membranas y fundas o insituform sin espesor adheridos a la pared de la cañería.		Bursting, inserción de cañerías con destrucción de la cañería anfitriona
			Inserción de cañerías rígidas dentro de la cañería existente
			Inserción de fundas con espesor adheridas a la cañería anfitriona

Tabla 19. Clasificación de tecnologías de no excavación

Técnicas de Limpieza de Instalaciones

Existen algunos tipos de limpieza no rutinarios, especiales que alguna bibliografía las considera como métodos de rehabilitación no estructurales y en otros casos como métodos de renovación, por ese motivo se mencionan en este numeral.

- Hidráulicos.
- Mecánicos.
- Químicos.

Procedimientos hidráulicos

Se realizan con limpiezas entre válvulas, con equipos de alta presión.

Procedimientos mecánicos

Se suele utilizar un equipo que puede trasladarse longitudinalmente por el interior de la cañería y mediante un movimiento circular transversal utiliza espas provistas de rascadores en sus extremos que despegan las incrustaciones.

Este procedimiento se utiliza en tuberías de gran diámetro, superior a 400 mm., es un sistema mas utilizado en cañerías de conducción que en las de distribución.

Procedimientos químicos

Estos procedimientos consisten en la introducción de líquidos para poder eliminar las incrustaciones. La composición química del líquido debe determinarse de acuerdo a las características de las incrustaciones adheridas a la tubería.

Para la eliminación de incrustaciones de oxido, puede utilizarse un desincrustante a base de ácido clorhídrico. Con concentraciones del 15% y una permanencia de actuación de cinco horas, se logran desincrustaciones de 60%.

En caso de incrustaciones debidas a la presencia de hierro o manganeso es posible su remoción utilizando ácido cítrico. Experiencias realizadas en la Provincia de Corrientes, en redes de PVC en la localidad de Saladas y hierro fundido de Esquina mostraron promisorios resultados.

Sellado de juntas y reparación de fisuras

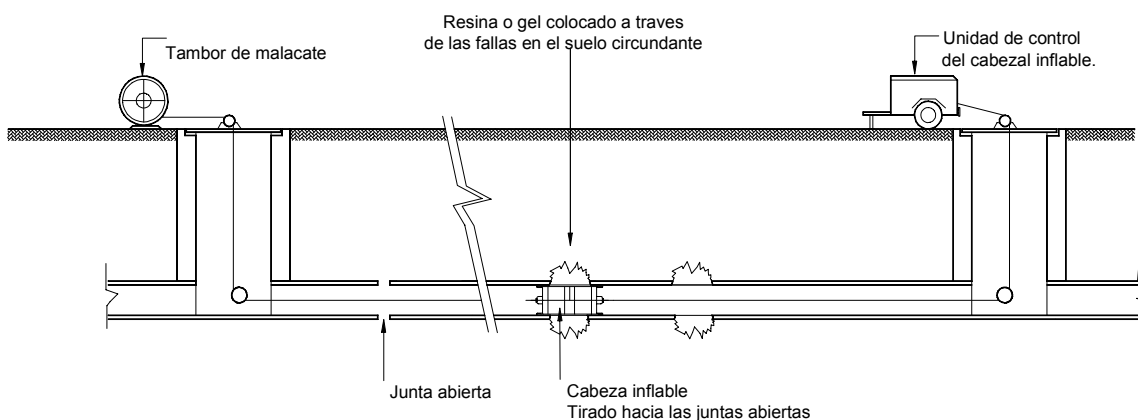


Figura 18. Esquema aplicación localizada de resina

Esta es una técnica localizada no estructural que consiste en inyectar una lechada química en el lugar de la falla y en el suelo adyacente. La lechada no debe ser tóxica y se suele utilizar donde el ancho de la brecha es menor a 50 mm. Se trata de ubicar el dispositivo por desincrustamiento en el lugar apropiado, donde se muestra en la **Figura 18** se puede observar un esquema del dispositivo empleado. El proceso es monitoreado por cámara de TV.

En la **Figura 19** se observa el proceso de reparación de una junta desde el interior de la cañería.

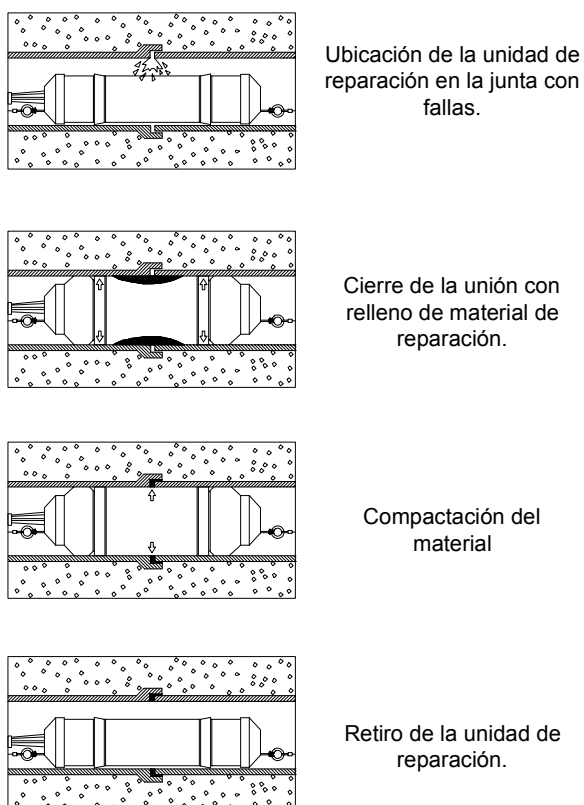


Figura 19. Sellado de juntas

Redondeo de cañerías

Con esta técnica se puede medir el grado de deformación de un tramo de cañería, luego se expande un anillo estructural en el sitio de la deformación, llevando nuevamente al caño a su posición nominal. Se trata de volver a tener una sección transversal circular. Este método localizado se puede observar en la **Figura 20**.

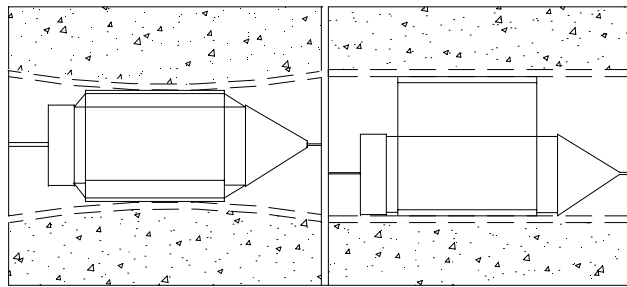


Figura 20. Redondeo de cañerías

Técnicas de revestimiento localizado por inserción

Esta técnica es como si se realizara un remiendo local, se aplica un revestimiento sólo en el tramo dañado, dónde se lo expande hasta que se acomoda y compacta.

Se transporta un cabezal inflable hasta el lugar en que se ha producido el deterioro, mediante el mismo se coloca un tramo corto de tubo contra la pared del caño.

En la mayoría de las técnicas se requiere añadir mortero en forma anular, de lo contrario, el cabezal sellaría el caño de los extremos de la sección deteriorada.

Existen robots capaces de aplicar resina en las zonas deteriorada.

También se puede utilizar técnicas con participación humana para las reparaciones locales, según el diámetro de las conducciones.

En general la forma y dimensión de los cabezales limitan la utilización de los métodos.

En la **Figura 21** se puede observar el esquema del dispositivo empleado.

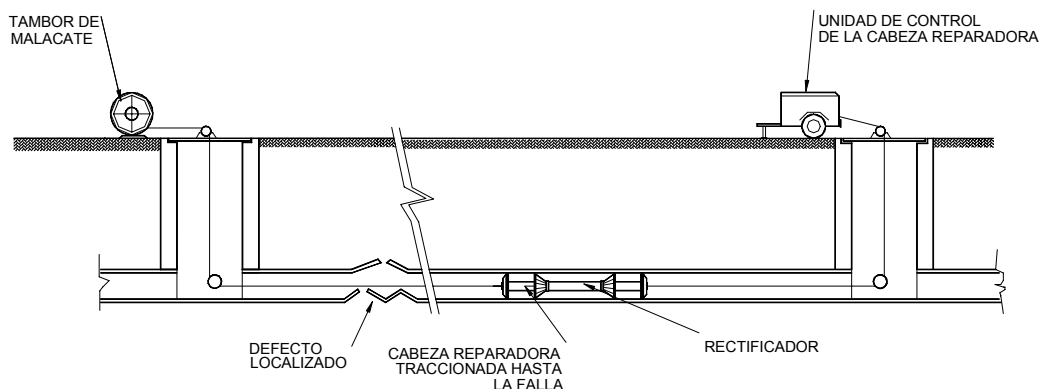


Figura 21. Revestimiento interior de cañerías (lining-relinig)

Técnicas de revestimiento localizado con rociador

Se rocían capas de bitumen de un espesor predeterminado a las paredes de la cañería. Para las fisuras y orificios de gran tamaño, antes del rociador, se instala primero, un molde compacto y luego se llenan y lechan los huecos externos.

Este sistema se aplica con dos tipos de equipos, uno de ellos es una cabeza rociadora sin aire de tracción neumática colocado sobre un transportador de cuatro ruedas. El otro está constituido por un motor de aire que tracciona un rociador centrífugo.

Teóricamente no hay límite de aplicación, habitualmente se realiza cada 30 metros, aproximadamente en capas de 1-2 mm de espesor.

Para la aplicación de este método es muy importante que la cañería esté limpia.

Entre las ventajas se puede mencionar que se puede utilizar en caso de que existan ramales y la disminución del diámetro no es significativa.

Las desventajas son:

Sólo se puede rehabilitar tramos cortos. Para eliminar problemas de gustos y olores se debe dejar la cañería fuera de servicio por un tiempo. No es conocida su vida útil real y al igual que en el método siguiente no se garantiza cobertura de 100%. (**Figura 22**).

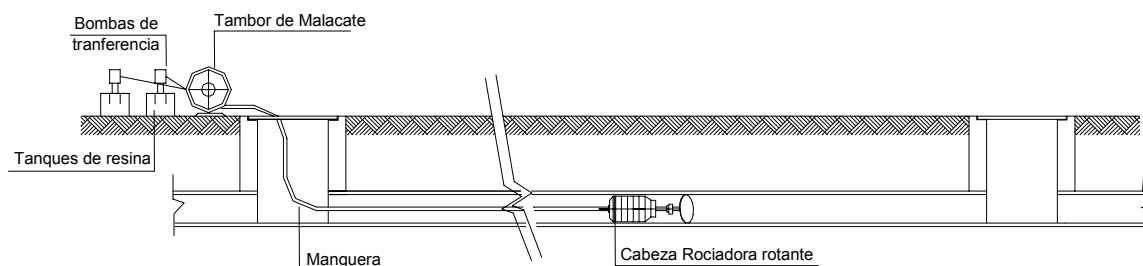


Figura 22. Corte de cañería con cabezal rociador

Revestimiento interior de cañerías

Para el reacondicionamiento de conducciones de agua potable se aplica interiormente revestimientos de mezcla de cemento o resina epoxy. Los caños con diámetros entre 75 mm. y 150 mm. se revisten, por lo general, con resina epoxy, mientras que los caños de mayor diámetro se revisten con mezcla de cemento. Los tramos cortos de caño (unos 150 m.) se aíslan y salen de servicio durante un máximo de 36 horas para efectuar el proceso de revestimiento. Se realiza el descamado interior del caño usando medios mecánicos y se aplica un revestimiento en su superficie interna. Este proceso provoca inconvenientes inevitables a los usuarios ya que carecerán de suministro durante los trabajos.

Las ventajas de este método es que la disminución de diámetro es mínima y se puede rehabilitar un tramo relativamente largo en cada operación.

Entre sus desventajas se puede comentar que en el caso de existir vibraciones durante la colocación de la resina puede resbalar el revestimiento y ocasionar problemas, y que no se garantiza el recubrimiento en un 100 %.

Este método es muy útil cuando se pueden realizar tramos largos. En la **Figura 23** se puede ver el esquema de uno de los dispositivos utilizados, estos han ido cambiando a medida que avanza el desarrollo tecnológico, de igual modo ocurre con los tipos de revestimientos.

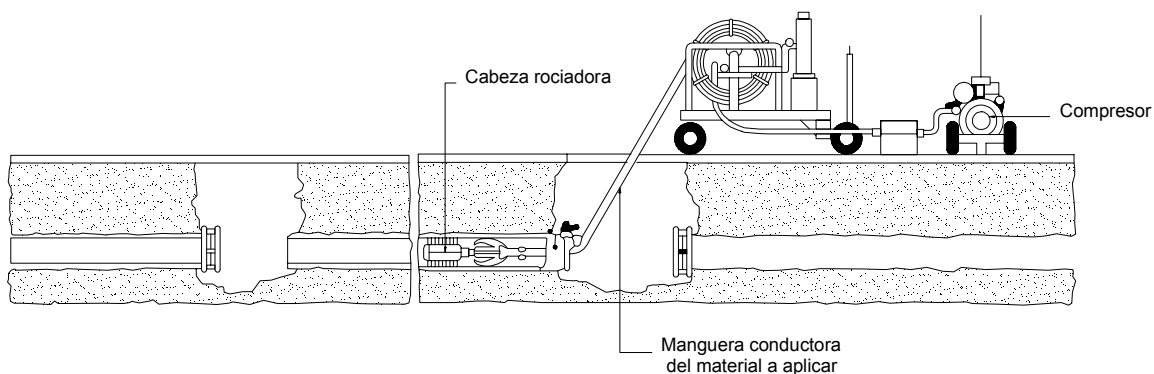


Figura 23. Esquema del sistema de aplicación de resina

En la siguiente **Figura 24** se puede observar una cañería con revestimiento aplicado de mortero de cemento y las variaciones del coeficiente de rugosidad antes y después de la aplicación del mismo.

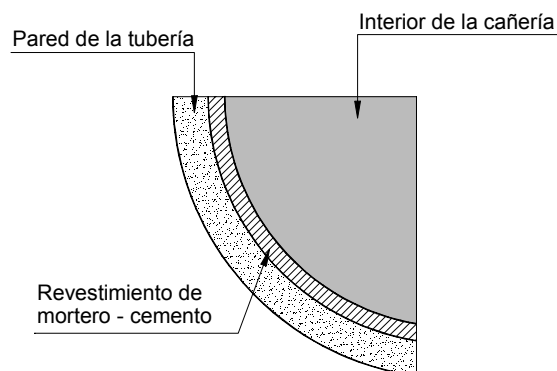


Figura 24. Detalle de una cañería revestida con mortero de cemento

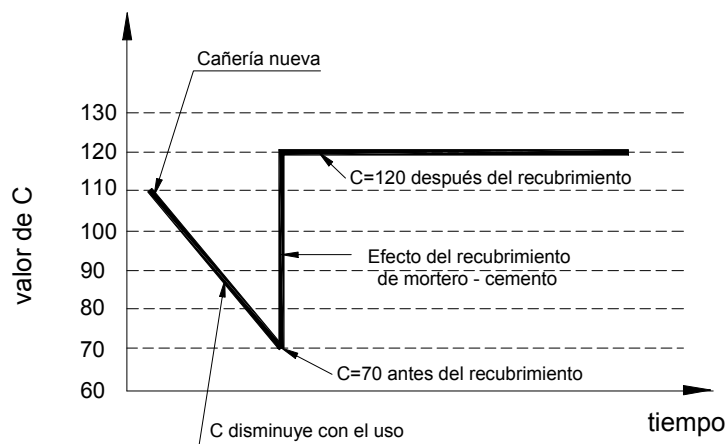


Figura 25. Variación de coeficiente de fricción

Procedimiento de inserción de membranas

Este método originalmente creado en Inglaterra en 1971 y denominado Insituform consiste en la colocación de una membrana de nylon, externamente empapada con resina epóxica, la que luego será expandida contra la pared del caño. Con este método se puede revestir hasta 250 m en una etapa. En este caso la membrana trabaja conjuntamente con la estructura de la cañería.

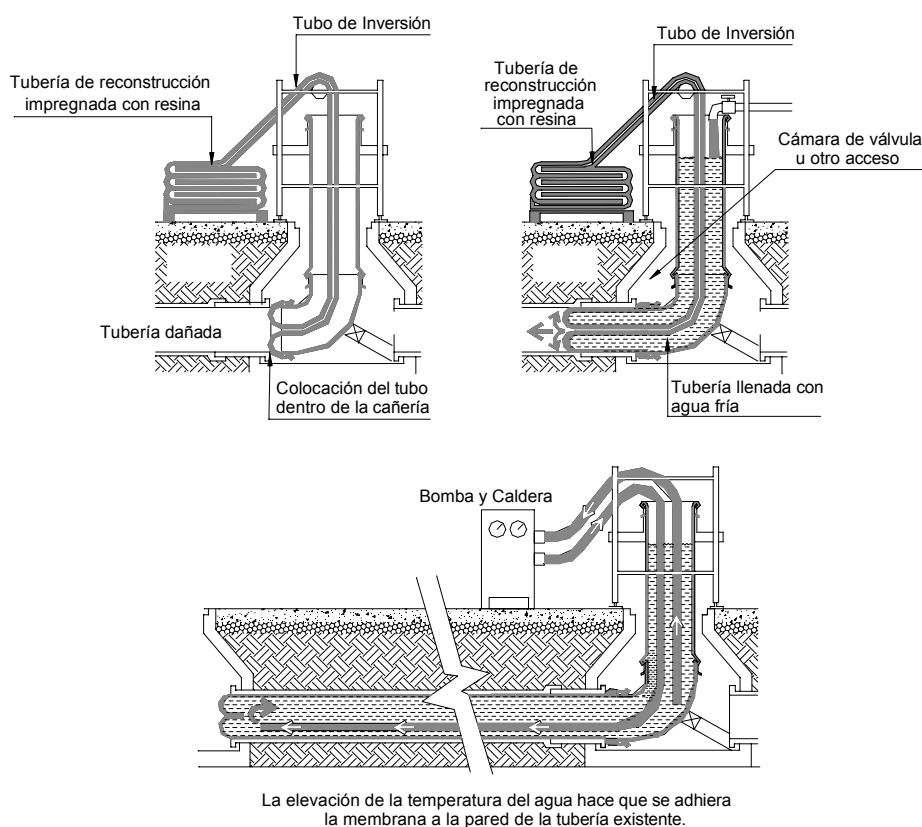


Figura 26. Método de inserción de membranas

El procedimiento se puede dividir en tres etapas, preparación de la conducción, la ubicación de la funda y la colocación propiamente dicha.

La ventaja importante es que el diámetro interior de la cañería no se modifica de manera considerable, generalmente con este procedimiento el espesor del revestimiento interno de la cañería es del orden 1 mm.

La mayor desventaja que presenta es que en algunas ocasiones puede producirse alguna rugosidad de la superficie, esto como es de esperar, baja el valor del coeficiente C.

El procedimiento Insituform muy difundido desde hace ya algunos años, consiste en introducir en la cañería una especie de media cosida y plegable de poliuretano, la que se impregna en fabrica con resina epóxica o bien poliéster.

Se limpia la cañería donde se introducirá la funda mencionada, luego se bombea agua por la abertura que quedó en esa especie de bolsa, lo que obliga a la funda a introducirse en el caño dándola vuelta y haciéndola avanzar dentro de la cañería. Posteriormente se conduce agua a 65-80 °C de temperatura, se mantiene el calor por cerca de 4-6 horas.

Ventajas:

La resistencia a la rotura	24 Mpa
Resistencia a la Compresión	140 Mpa
Módulo de elasticidad	3.7 GPa

En los últimos años se ha desarrollado una nueva versión de este tipo de fundas que tienen espesor y puede ser dimensionada con resistencia estructural. Particularmente cabe señalar que en nuestro país actualmente se ofrece una tecnología similar donde se puede dar espesor a la pared interior de las cañerías dependiendo de que tipo de falla se trate.

Este procedimiento es costoso. Puede ser de utilidad y más económico cuando existen problemas de corrosión en determinados tramos, y si no existen problemas estructurales y la cañería esta en condiciones de absorber las presiones de servicio.

Introducción de cañerías en el caño existente

Este método consiste en introducir un tubo de polietileno o PRFV adentro de la cañería existente, para ello es necesario realizar una excavación donde se inicia la reparación y otra donde se concluye la colocación del caño para la introducción de los mismos. Este tipo de método reduce la dimensión interna del caño existente, pero posee la ventaja de ofrecer resistencia estructural. Es un método costoso y es de utilidad cuando la estructura de la cañería se encuentra comprometida. Estos métodos dependen de las características del material a introducir

• *Caso en que la cañería es flexible y continua*

En los casos de introducción de cañerías flexibles el pozo de arranque es de tamaño menor que el de cañerías rígidas, por las características del material, y se utilizan

sistemas de soldado para la unión de los tramos como se ve en la **Figura 27** siguiente, también es posible introducir la tubería a través de válvulas o hidrantes.

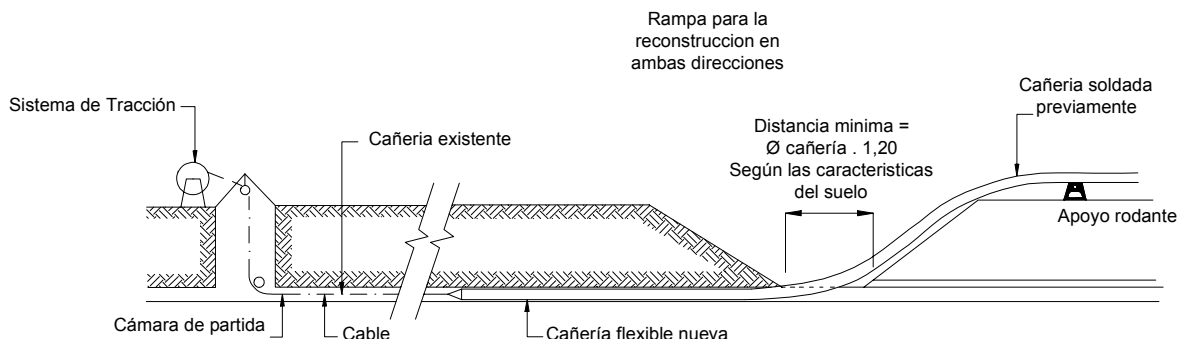


Figura 27. Caso de cañería flexible y continua

- **Caso de cañería rígida y compuesta por elementos**

Como se puede observar en la **Figura 28** y la **Figura 29** es necesario introducir el caño nuevo dentro del antiguo a través de algún mecanismo de empuje. Generalmente se coloca un cabezal en el extremo de la cañería a introducir el que es tirado por un aparejo desde el pozo de recepción o llegada. Por ejemplo si el caño es de PRFV que no es flexible el pozo de arranque depende del largo del caño mas la distancia necesaria para su manipuleo dentro del tramo excavado. Una vez introducida la secuencia de caños, con la alineación correspondiente, se rellena el espacio existente entre el caño anfitrión y el caño nuevo con una mezcla generalmente de mortero de cemento.

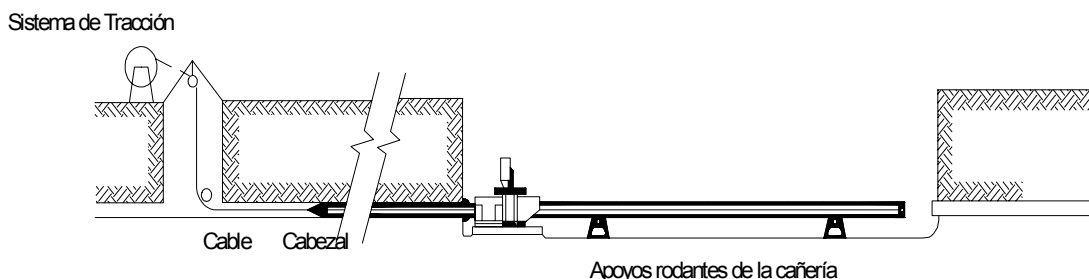


Figura 28. Introducción de cañerías de material rígido

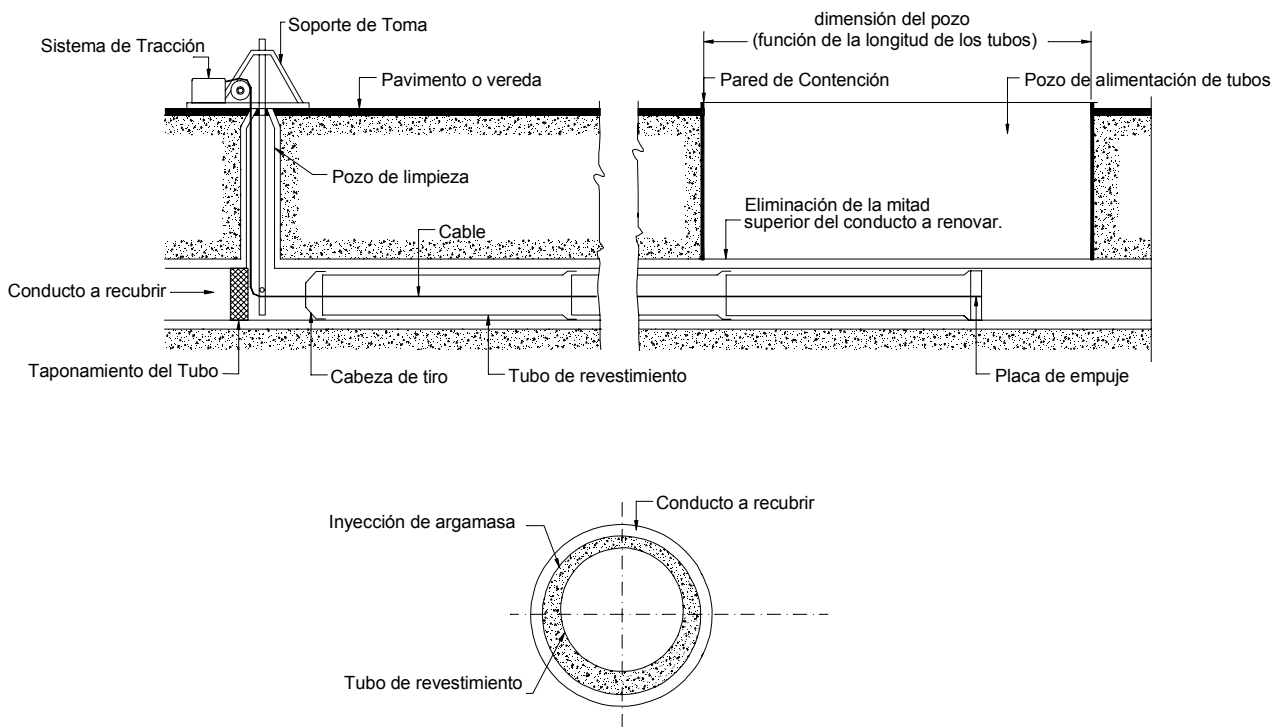


Figura 29. Esquema de acoplamiento de los caños

Recientemente han aparecido en el mercado nuevos desarrollos tecnológicos que permiten introducir con mayor facilidad en la instalación existente la tubería de reemplazo.

En tal sentido se puede mencionar el proceso que deforma la tubería de la manera que muestra la **Figura 30**. Se mantiene esta deformación mediante zunchos uniformemente distribuidos a lo largo del tubo.

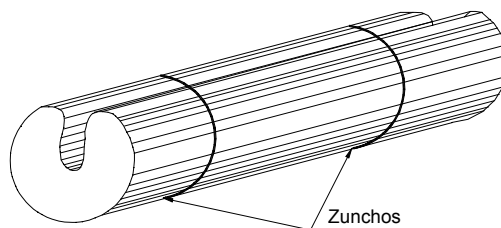


Figura 30. Tubería preparada para ser introducida en otra existente

Dada la reducción del diámetro que se logra resulta simple colocar la cañería de reemplazo dentro de la existente en tramos relativamente largos. Una vez en su posición definitiva se tapan sus extremos, se introduce agua a presión con la que se rompen los

zunchos y la tubería, que posee resistencia estructural toma nuevamente la forma cilíndrica original llenando totalmente el hueco de la cañería primitiva. El procedimiento es aplicable para una amplia gama de diámetros a partir de 100 mm.

Otro de los procesos disponibles consiste en disminuir el diámetro exterior de caños de plástico mediante un sistema de rodillos que lo comprimen diametralmente. Una vez alcanzada la medida que permite su fácil introducción y desplazamiento en el interior de la instalación deteriorada y alcanzada su posición definitiva se obturan sus extremos y se le introduce agua caliente a presión. Utilizando la propiedad que poseen los plásticos (memoria térmica) se logra que la cañería recupere sus dimensiones originales quedando adosada al conducto a reparar. También en este caso la nueva cañería posee resistencia estructural.

Estallido de caños (Bursting)

Este método corresponde al reemplazo más que a la rehabilitación mediante la inserción de una nueva cañería y simultánea destrucción de la cañería existente. En este proceso, el caño anfitrión o existente ha completado por lo general su vida útil o no es adecuado para la demanda a la que está expuesto. (Falta de capacidad). Aquí, el caño original se usa como orificio en el suelo a través del cual se pasa una máquina moledora neumática, rompiéndolo a medida que avanza. Se introduce un nuevo caño entero. Por lo tanto, se instala de esa manera un nuevo caño con un mínimo de excavación. Este sistema es particularmente ventajoso pues se puede insertar un tubo nuevo, más grande que el antiguo, la única limitación en cuanto al mayor tamaño son las condiciones del suelo que rodea al caño que será estallado. Esto resulta de utilidad cuando el caño existente fuese demasiado pequeño.

El proceso permite el retiro del material de la conducción antigua y, cuando es necesario, de la tierra en exceso.

En el caso de la técnica de bursting (ver **Figura 31**), se tiene la ventaja de poder introducir cañerías de mayor diámetro que el de la cañería anfitriona dando la posibilidad de aumentar la capacidad. Tiene en cambio como desventaja que se destruye parte de las conexiones ya instaladas, las que deben volver a instalarse.

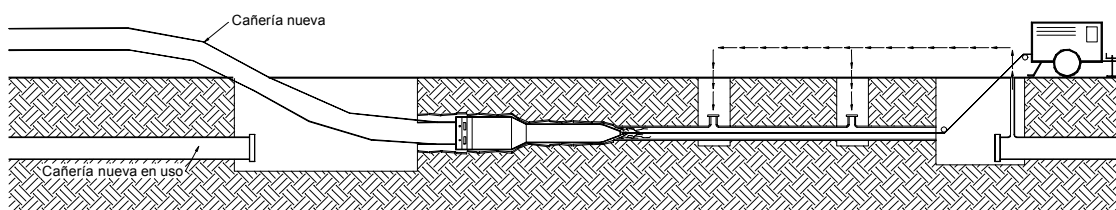


Figura 31. Inserción de cañería nueva con tecnología de bursting

La principal ventaja de estas técnicas "de no excavación" son las menores tareas de excavación y restauración de superficie y también la velocidad con que se hace la tarea. Unos 800 metros de caño podrían, normalmente, revestirse o cambiarse en una semana dependiendo del método a utilizar.

Al planificar tareas de este tipo, se deben comparar los costos de cambio o rehabilitación, previo a seleccionar la técnica.

Las técnicas de reparación sin excavación ofrecen una alternativa específica viable para algunos casos en relación con los métodos de rehabilitación con excavaciones. Estas técnicas, actualmente disponibles son efectivas y confiables.

Se debe tener en cuenta el tipo y dimensión de la falla y ubicación de la instalación a ser rehabilitada.

El uso de estas técnicas preferentemente puede ser aplicado en zonas donde se puede ahorrar costos y reducir impactos sobre los usuarios minimizando molestias que habitualmente ocasiona una reconstrucción total.

En la **Tabla 20** se resume los rangos de aplicabilidad de las técnicas localizadas de reparación.

Método (3)	Sellado de fisuras / juntas	Reparación de fisuras	Redondeo localizado	Revestimiento localizado con rociador	Revestimiento localizado por inserción
Rango de los diámetros de la cañería (mm.)	100 - 900	200 - 800	150 - 750	200 - 1000	150 - 750
Fisuras circunferenciales	Si	Si	Si	Si	Si
Fisuras longitudinales	Ver nota 1	Ver nota 1	Ver nota 1	Si	Si
Roturas circunferenciales	Si	Si	Si	Si	Si
Roturas longitudinales	No	Ver nota 1	Ver nota 1	Ver nota 2	Si
Cañerías colapsadas	No	No	Si	No	No
Infiltración / exfiltración	Si	Si	No	No	Si
Juntas Abiertas	Si	Si	Si	No	Si
Ampliación estructural	No	Si	Si	Si	Si

NOTAS:

1. Cuando se usa un cabezal de reparación, las fisuras longitudinales pueden ser reparadas si no son más largas que el cabezal de reparación.
2. La capacidad de reparación de fracturas longitudinales con revestimiento con rociador depende de la capacidad del material para sellar la fractura y transferir los esfuerzos.
3. En relación a los métodos y su aplicabilidad el proyectista deberá consultar con cada proveedor del método ofrecido y analizar la utilización en cada caso en particular.

Tabla 20. Aplicabilidad de las técnicas disponibles

En la **Tabla 21** publicada en la revista Water Engenering and Management del mes de abril del año 1990 se resume información sobre características de aplicación de las técnicas de no-excavación.

Técnica	Diámetro	Normal / típico	Tipo de cañería instalada	Precisión	Aplicaciones
Alzamiento	36" y >	Según requerimientos	Cemento reforzado, acero, hierro	Línea de cierre y nivel de tolerancia (+ - 2")	Línea de cloacas, líneas de presión y cruces
Perforación direccional	6" a 60"	200' a 3500'	Concreto, cemento, FRP, arcilla	Direccional pero impreciso (perfil de alta)	Cruces largos
Perforación guiada	2" a 10"	50' a 500'	Polietileno, acero	Direccional a moderadamente preciso	Cañerías de presión de línea, cruces de cables
Perforación barrena	2" a 60"	60' a 150'	Entibado metálico	No direccional	Cruce
Apizonamiento impacto	2" a 48"	60' a 120'	Entibado metálico	No direccional	Cruces
(No Direccional)	2" a 6"	15' a 50'	Plástico, acero	No direccional	Tubería de presión y conexiones de cables
Direccional	2" a 6"	15' a 75'	Plástico, acero	Direccional con moderada precisión	Tubería de presión y conexiones de cables

a). Nuevas técnicas de instalación

Método	Diámetro típicos	Longitudes Típicas	Removidos	Instalados	Aplicación
Excavación	12" para arriba	100' a 300'	Cemento no reforzado, arcilla y ACP	Cemento, arcilla, PRFV	Reemplazo de cloacas
Método bursting	4 " a 24"	50'a 400	Cemento no reforzado, arcilla, ACP, hierro forjado	Cemento, arcilla, PRFV PE, PVC	Reposición de cañerías maestras de presión

b) Técnicas de reemplazo en línea

Método	Diámetro	Longitudes	Tubería o línea instalada	Acceso	Aplicación
Revestimiento interno	2 "para arriba	Según requerimientos	La mayoría de tipos de tubería	Fosa, caño corto desde cámara	Cloacas y tuberías a presión
Revestimiento interno modificado, reducción de tubería, sección de cruces modificadas	3 "a 24 "	Según requerimientos	Caños de polietileno	Fosa	Tuberías a presión
	6" a 12"	50' a 300'	polietileno	Boca de inspección existente	
Revestimiento suave	2" a 60"	50' a 500	Tela impregnada de resina	Boca existente	Tuberías a presión
Rociado estructural	36" para arriba	Según requerimiento	Mortero de cemento reforzado	Boca existente	

c) Técnicas de rehabilitación on line

Tabla 21. a), b) y c) Tendido de cañerías sin ejecución de zanjas

Si se comparan los costos de las técnicas de rehabilitación y reemplazo el orden sería el siguiente:

- | | | |
|----|-------------------------------|---|
| 1° | Limpieza | |
| 2° | Rehabilitación no estructural | * Revestimiento con epoxy (relining)
* Revestimiento con mortero (relining) |
| 3° | Rehabilitación estructural | * Introducción de cañerías continuas o cadena de caños en la cañería existente, (sliplining).
* Introducción de cañerías destruyendo la cañería anfitriona (bursting). |

Para la aplicación de estas tecnologías es recomendable tener un conocimiento profundo del estado de las redes y un diagnóstico general de los problemas presentados por área y sector.

En caso de decidir la aplicación de alguna de ellas se requiere de buen asesoramiento y realización de diagnósticos con cámara de TV u otros, para conocer la causa que originó el estado de la instalación y en base a ello determinar la metodología aplicable.

6. INSPECCIONES, OBSERVACIONES, INSTRUMENTACIÓN

A fin de disponer de la información necesaria para definir la conveniencia de utilizar alguno de los métodos de rehabilitación o sustitución de tuberías descriptos en el apartado anterior es necesario efectuar una evaluación previa del estado de las instalaciones.

Entre los métodos de inspección más conocidos podemos mencionar:

- Evaluación visual.
- Prueba de presión.
- Equipos detectores de metales.
- Análisis acústico.
- Equipos de auscultación por TV.
- Equipos de detección de fugas por ultrasonido.
- Equipos de detección de corrosión por métodos magnéticos.
- Otros.

Evaluación visual

Consiste en la observación sistemática de la superficie en coincidencia con las redes de distribución. Inspecciones rutinarias a intervalos regulares.

En este caso se inspecciona el emplazamiento de la cañería pudiendo observar existencia de afloraciones de agua, cambios en la superficie del suelo, manchas de humedad, cambios en la vegetación etc.

Se deberá diferenciar si alguna de estas manifestaciones se debe a cambios climáticos.

En las inspecciones se debe tener en cuenta:

- Ubicación y accesibilidad.
- Hermeticidad.
- Eficiencia técnica.
- Calidad de agua.

Ubicación y accesibilidad

Las instalaciones que integran la red de distribución de un sistema de abastecimiento (tuberías, accesorios) deben ser accesibles y fácilmente ubicables con el objeto de facilitar la realización de los trabajos de mantenimiento. Por este motivo se deberá verificar que no se hayan plantado árboles o arbustos en las cercanías de la mismas y que se mantenga una distancia mínima fijada en las normas correspondientes.

Las tapas de cámaras de válvulas, desagües, hidrantes, señalizaciones y otras marcas deberán ser visibles y accesibles.

Hermeticidad

Generalmente cuando se verifica la hermeticidad de las tuberías, se descubren aquellos tramos de la misma o accesorios defectuosos donde se producen las fugas de agua.

Las inspecciones periódicas programadas deben incluir las siguientes medidas:

Mediciones continuas

En los casos de mediciones continuas se miden y registran los caudales y presiones y los niveles de agua de los tanques y reservas. La supervisión permanente es particularmente adecuada para monitorear partes importantes de un sistema de tuberías, líneas de conducción a largas distancias, cañerías de alimentación y troncales. Los instrumentos de medición pueden estar en centros de control.

En general este procedimiento se utiliza para detectar anomalías relativamente grandes como es el caso de roturas de cañerías en grandes conducciones.

Pruebas de hermeticidad por medio de equipos de detección de fugas

Se pueden utilizar equipos móviles de monitoreo acústicos o electroacústicos, con los que se pueden ubicar las fugas en las cañerías y válvulas, las que se describen en el apartado Análisis acústico.

Pruebas de hermeticidad por medio de mediciones de corta duración

Se puede medir el volumen de agua que ingresa a un sector aislado y suficientemente limitado del sistema de abastecimiento (zona de control) utilizando un equipo de medición adecuado como puede ser una manguera conectada a dos hidrantes en la que se intercala un instrumento de medición móvil.

Medición de consumos cero

Este procedimiento es bastante exacto pero requiere de áreas (sectores de control) más pequeñas para dar resultados exactos. Se basa en la suposición de que en una sección suficientemente pequeña del sistema ningún consumidor extraerá agua en un determinado período de tiempo. En consecuencia, la cantidad de agua que ingresa al sector en cuestión representa una fuga, siempre y cuando no exista un consumo permanente en la zona, el que en caso de ser conocido deberá ser tenido en cuenta

Ubicación de partes defectuosas

La existencia de cantidades relativamente grandes de agua no contabilizada, debe llevar a la ubicación de la posición exacta de las fugas con dispositivos de detección de fugas.

Eficiencia técnica

Además de las pruebas aplicadas a diferentes componentes también deben verificarse las condiciones externas de las piezas visibles (corrosión) así como el adecuado funcionamiento y la legibilidad indicada en los instrumentos de medición.

Válvulas de cierre

Debe verificarse que las válvulas de cierre puedan accionarse libremente y se encuentren en la posición correcta.

Las válvulas de cierre utilizadas para separar zonas de presión o de abastecimiento o dispositivos de drenaje o válvulas de cierre parcialmente cerradas deben inspeccionarse por lo menos una vez al año para asegurar su correcto ajuste.

Válvulas automáticas de aire / alivio

Las inspecciones efectuadas en válvulas de aire deben incluir un examen del movimiento del flotador y la inspección de la boquilla para ubicar obstrucciones. Todas las válvulas de cierre deben ser inspeccionadas simultáneamente.

Es habitual efectuar este tipo de inspección por lo menos una vez al año, aunque puede ocurrir que por las características y condiciones de la operación existente sea necesario aumentar la frecuencia.

Cuando una tubería es puesta en servicio o retirada del mismo, todas las válvulas de aire ubicadas en la sección aislada deben ser inspeccionadas adicionalmente.

Reductores de presión

La inspección de los dispositivos reductores de presión deben incluir la revisión de la tubería de control para ubicar obstrucciones y garantizar el valor previsto de presión de salida.

Las válvulas de cierre o de seguridad deben ser incluidas en la inspección.

La inspección debe efectuarse según lo requieran las condiciones particulares de operación, por lo menos una vez al año.

Válvulas de cierre automático

En este tipo de válvulas debe verificarse:

- La conservación de las características del cierre.
- El funcionamiento de los dispositivos de detección de fugas.
- El funcionamiento de los dispositivos activadores de cierre.
- Las pruebas que impliquen el cierre de válvulas sólo puede realizarse si no es afectada la operación normal del sistema.
- Si la válvula no posee control automático debe abrirse manualmente con la suficiente lentitud para evitar alteraciones repentinas en el caudal o la presión.

Equipos de control

La inspección de los equipos de control incluye los instrumentos de medición de presión, medidores de caudal, instrumentos de medición de nivel de agua, instrumentos de registro, dispositivos de control. En estos casos la frecuencia dependerá del tipo de equipo y de las indicaciones del fabricante.

Prueba de presión

El procedimiento consiste en llenar la tubería con agua limpia, con lentitud suficiente en el caso de estar recién construida para permitir la salida del aire de la misma. Los bolsones de aire pueden originar sobrepresiones.

La presión de prueba seleccionada debe ser realista y no necesariamente elevada. En conducciones a larga distancia, la presión de prueba debe ser de 5 bars mayor que la presión de servicio u operación, pero nunca menor que 10 bars.

En las tuberías de servicio la presión debe ser igual a 1.5 veces la presión nominal.

La temperatura puede tener influencia sobre los resultados de la medición. Por este motivo es conveniente elegir horarios con poca variabilidad de la misma. La temperatura al inicio y final de la prueba debe ser aproximadamente la misma.

La duración de la prueba depende del diámetro y de la longitud del tramo de tubería en prueba.

A continuación se da una guía aproximada para cañerías principales con longitudes mayores de 50 m:

hasta DN 400	6	HORAS
hasta DN 400 Y DN 500	12	HORAS
Más de DN 700	24	HORAS

Se considera que la cañería ha pasado la prueba si la presión no desciende perceptiblemente durante el transcurso de la misma.

Equipos detectores de metales (tuberías y cuerpos metálicos)

Existen distintos fabricantes de equipos para detectar tuberías, todos semejantes entre sí.

En general es un instrumento electrónico usado para la ubicación precisa de tubos enterrados, conductores y diversos objetos metálicos.

Se compone de dos partes principales: un transmisor y un receptor.

El transmisor produce un campo electro-magnético que rodea la tubería (objeto metálico que se desea ubicar), propagándose a lo largo de la misma. El receptor capta las ondas electro-magnéticas emitidas por el transmisor y conducidas por el objeto metálico, indicando, por la intensidad de recepción, la dirección y ubicación de la pieza buscada.

Los dos métodos de operación son por inducción o por conducción. En cualquiera de los dos casos, cargando el transmisor (inducción) o mantenimiento fijo el mismo (conducción); su posición debe ser siempre vertical y paralela a la supuesta dirección del objeto metálico que se espera ubicar.

La distancia entre el receptor y el transmisor es de verdadera importancia, pues si fuese pequeña puede haber transmisión de ondas a través del propio aire, accionando el receptor e interfiriendo en la investigación.

Luego de ubicar la red, se puede determinar su profundidad a través del proceso de triangulación.

Análisis acústico

Existen diversos equipamientos para realizar este tipo de estudio, basados todos en el mismo principio, a saber:

- Equipos no electrónicos.
 - Varillas.
 - Geófonos mecánicos.
- Equipos electrónicos.
 - De detección directa.
 - De detección indirecta.

El tipo de equipamiento a utilizar depende de las posibilidades económicas del operador.

Varillas de sondeo

Varillas de sondeo son equipos muy simples, destinados a la localización de fugas. La investigación de la fuga se realiza colocando un extremo de la varilla contra el suelo, o directamente en el tubo, y el otro (que dispone de un auricular) contra el oído del operador, siendo posible de esta forma escuchar el ruido de una eventual fuga.

Los modelos más sofisticados son denominados estetoscopios industriales o hidrófonos, y se fabrican en varios tamaños.

Geófonos mecánicos

El geófono mecánico (Globe Geophone) es un equipo compacto, robusto, simple y preciso, destinado a detectar y localizar fugas invisibles, a través de la auscultación del suelo bajo el cual existe una tubería enterrada (**Figura 32**). El geófono pesa cerca de 4.3 Kg. y se transporta en una pequeña caja. Consta de dos cilindros pesados, conectados a través de mangueras a un auricular, del mismo tipo que el utilizado en los estetoscopios médicos. En el interior de cada cilindro existen dos membranas finas de bronce, separadas por un anillo pesado de plomo, lo que forma una caja de resonancia. Cuando el cilindro se coloca en el suelo, capta las vibraciones emanadas de la fuga, lo que hace que vibre la membrana inferior y la membrana superior. Esta vibración es luego transmitida al operador, a través de la propagación de las ondas sonoras a lo largo de las mangueras y el auricular.

Debido a la sensibilidad del equipo, éste debe utilizarse sólo en el período nocturno, cuando no existe el movimiento del tráfico y el ruido de las personas transitando. Además, hay dificultad para utilizarlo cuando hay viento fuerte ya que las mangueras del geófono captan el ruido del viento que pasa a su alrededor.

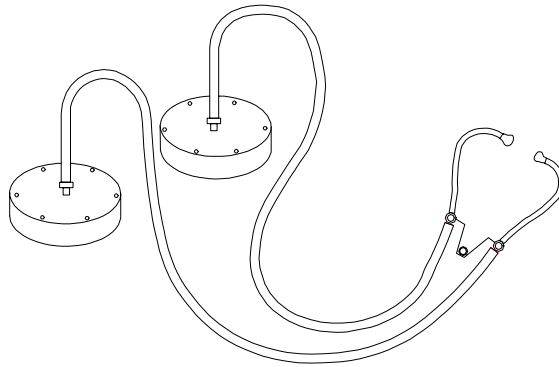


Figura 32. Geófono mecánico

El geófono capta prácticamente todos los ruidos del medio tales como pasos de personas que se aproximan, ruidos de vehículos, motores de refrigeradoras industriales, etc., quedando en el operador la tarea de distinguir de entre los ruidos que llegan a su oído aquel que es causado por fuga.

El ruido de la fuga se asemeja al ruido del vapor, o de un torrente de agua, siendo más grave o agudo y más intenso o menos intenso, dependiendo de condiciones tales como presión de agua, tamaño de la fuga, tipo de suelo, tipo de pavimento, profundidad, material del tubo, etc. La audibilidad del ruido, por otro lado, puede variar de operador a operador. Algunos operadores tienen mayor facilidad para identificar ruidos agudos, y otros los graves.

Los sensores del geófono debe ubicarse sobre el suelo, distantes uno del otro tanto como sea posible; luego se colocan los auriculares en los oídos, y en caso de no escuchar ruidos se pasa para otro punto de la tubería. El geófono debe colocarse cada cinco metros a lo largo de la tubería. En caso de tuberías de asbesto cemento o PVC, debe escucharse cada dos metros de tubería.

En el caso del geófono mecánico, el ruido que se escucha en un oído no tendrá la misma intensidad del captado en el otro oído, debiendo entonces avanzarse a lo largo de la tubería hasta que los ruidos alcancen la misma intensidad en los dos oídos. En este momento, la fuga estará a media distancia entre los dos cilindros.

La operación del geófono, a pesar de ser simple y económica, es bastante incómoda y causa cansancio, no siendo posible por lo tanto, trabajar en forma continua con el equipo durante muchas horas en una misma noche.

Equipos electrónicos de detección directa de fugas

Los localizadores electrónicos de detección directa de fugas son instrumentos cuyo funcionamiento consiste en captar las vibraciones emanadas de una fuga, transformar esas vibraciones en impulsos electrónicos, ampliar la señal, separar la señal de las demás señales que interfieren, y nuevamente transformar esa señal resultante en señales sonoras, audibles por un operador. Estos detectores se caracterizan por determinar el lugar exacto de la fuga en el momento en que el aparato se encuentra en el terreno, exactamente sobre la misma; o sea, cuando la señal captada generada por la fuga, es la más alta posible.

Los detectores electrónicos, normalmente constan de las siguientes partes:

- Micrófono.
- Amplificador.
- Filtro de frecuencia.

La salida del amplificador puede alimentar audífonos, altoparlantes, indicadores de señal, o aún la combinación de estos tres elementos.

Es bastante usual y de cierta eficiencia, la remoción de ruidos indeseables usando filtros de frecuencia.

El indicador de señal es un dispositivo utilizado para medir la intensidad total del ruido recibido por el micrófono, y es bastante útil para determinar el punto exacto en el que se encuentra la mayor intensidad de ruido provocado por la fuga. Su precisión puede ser mayor que la precisión de los detectores mecánicos, ya que estos últimos dependen mucho más de la habilidad del operador.

Las características del ruido de una fuga varían, dependiendo del lugar en el que se efectúa el sondeo, bien sea directamente en la tubería o en la superficie del terreno.

Equipos electrónicos de detección indirecta de fugas

Los equipos electrónicos de detección indirecta de fugas se caracterizan por su propiedad de localizar fugas sin que los sensores de vibración se encuentre directamente sobre la misma. Su principio de funcionamiento consiste en captar señales vibratorias emanadas de fugas, en puntos de la tubería distantes de la fuga. Estas señales se propagan a lo largo de la tubería, en direcciones opuestas a partir de la fuga, siendo captadas por sensores estratégicamente colocados en contacto con la tubería o con accesorios de la misma.

Las señales captadas, así como la distancia del conducto entre los sensores alimentan un microprocesador que, en función de estos datos, da la localización exacta de la fuga.

Existen tipos distintos de equipos, uno de ellos el de correlación acústica merece una descripción especial.

Estos equipos constan básicamente de tres partes:

- Emisor – receptor.

- Sistema de transmisión
- Dispositivo de procesamiento.

El principio en el que se basan es que el escurrimiento, en condiciones normales, en una conducción en presión genera una frecuencia sonora natural o de base. Si se introduce una perturbación controlada, es posible mediante la superposición de frecuencias y los tiempos de respuesta, conocer la localización de perturbaciones, representadas por anomalías en el escurrimiento.

El equipo dispone de un emisor de frecuencias, que genera las perturbaciones y un captor. Ambos se localizan a una distancia aproximada a 150/250 m, sobre elementos metálicos de la conducción, tales como válvulas o hidrantes. El dispositivo de procesamiento, cuenta con una pantalla de cristal líquido, reticulada y una organización interna tal que introducida como dato la distancia entre emisor y captor genera automáticamente la escala horizontal de trabajo en base a la equivalencia de:

$$\text{Distancia Emisor-Captor} = \text{Longitud de Pantalla}$$

La frecuencia natural de la conducción queda establecida como frecuencia base, siendo posible realizar una adecuada separación y anulación de frecuencias externas perturbadoras, tales como ruido de tránsito, ruidos de fondo, etc. La introducción artificial de una frecuencia perturbadora, adecuadamente generada produce sumatorias, adelantamientos y retardos en la recepción de las frecuencias por el captor, lo que correctamente interpretado posibilita detectar:

- Fugas o escapes de agua, los que son visualizados con una escala tal que permite conocer su grado y magnitud relativa. Así, pequeñas fisuras en las cañerías se muestran en pantalla como ondas de pequeña longitud y gran altura, mientras que importantes pérdidas son representadas por ondas chatas y de gran ancho.
- Otras perturbaciones en el escurrimiento, como importantes incrustaciones localizadas.
- Fallas sistemáticas de juntas, cuando en pantalla el gráfico indica la localización secuencial de pérdidas a una distancia fija entre puntos.

El sistema de transmisión puede ser radial o por cable, presentándose equipos que pueden hacer uso indistinto de ambas metodologías según las facilidades locales que se presenten.

Adicionalmente, se cuenta con una memoria para guardar la información, lo que luego permite la repetibilidad de la misma mediante un programa específico para PC.

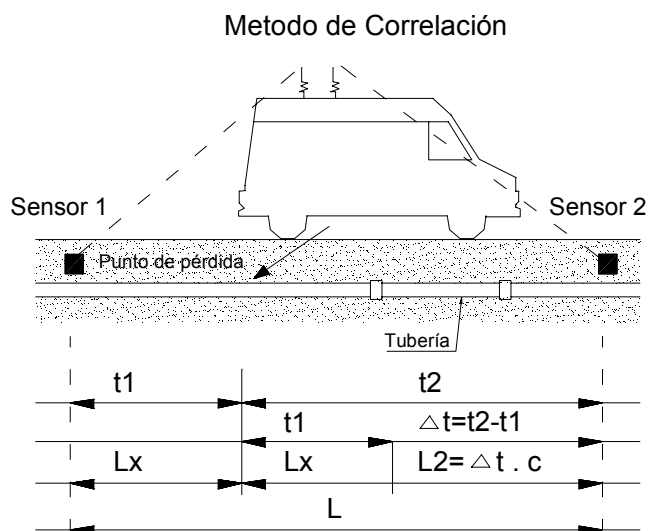
El equipo se alimenta con baterías recargables y su operación debe estar a cargo de cuadrillas capacitadas integradas por dos personas.

El significativo número de frecuencias ciudadanas en uso, con la posibilidad de interferencias, hace que se deba elegir cuidadosamente el tipo de equipo a utilizar.

Los móviles pueden contar además con aviso sonoro de llamada, ya que es esperable que no siempre el personal de los mismos se encuentre dentro del móvil, ya que pueden estar dedicados a sus tareas, las que se desarrollan fuera de los mismos. La experiencia

en tal sentido hace aconsejable disponer de una frecuencia de llamada compartida por todos los móviles y frecuencias adicionales de comunicación. De esta manera, otros móviles pueden captar la llamada y alertar al destinatario sobre la misma, en caso de que el personal no estuviere en las proximidades de la unidad.

El sistema de comunicaciones intenta conferir agilidad a las operaciones, control sobre las mismas y un adecuado uso de los medios, evitando inútiles desplazamientos con la consecuente pérdida de efectividad. La **Figura 33** muestra gráficamente el funcionamiento.



L = Distancia entre sensores

Lx = Distancia de la pérdida al sensor

c = velocidad de la propagación de la fuga

$$L_x = \frac{L - \Delta t \cdot c}{2}$$

Δt = retraso medido en tiempo de propagación del rumor de la pérdida.

t_1 y t_2 = tiempo de propagación del rumor de la pérdida.

Figura 33. Disposición típica del equipo de correlación acústica en relación a la tubería

Equipos de observación directa por TV

Desde hace mas de 10 años el mercado ofrece la tecnología de observación directa de cañerías por TV.

Alemania, Inglaterra, Japón y Austria son los países lideres en esta tecnología, la que se ha difundido en su uso hacia el resto del mundo.

La notable efectividad dada por la calidad de imagen obtenida y consecuentemente exacta localización y tipo de falla detectada, los han convertido en un inmejorable auxiliar

para situaciones difíciles, en las que el equipamiento tradicional y/o la experiencia del personal no consiguen determinar la falencia.

Básicamente constan de los siguientes elementos:

Cámara de TV de alta sensibilidad, capaz de introducirse en secciones de diámetro igual ó mayor de 60 mm.

Carrier-robot de transporte de la cámara.

Sistema de iluminación halógena, constituida en forma de corona anular alrededor del objetivo de la cámara y con luces auxiliares para conducciones de diámetro importantes.

Sistema comando exterior del carrier y la cámara, mediante hilo-guía de fibra óptica o multicable.

Sistema de registración/filmación, operado desde una PC con software adecuado, que permite registrar en un equipo de vídeo standard lo visualizado por la cámara, copia fotostática digital de una toma de interés, registración digital y posibilidad de obtener informes gráficos.

Sistema de visualización/control, integrado por pantalla de TV, con indicación continua sobre la imagen de fecha, hora, distancia recorrida, clinómetro (inclinación), estado del zoom de la cámara y eje ideal del conducto.

La cabeza de la cámara es totalmente movable (180° en ambos planos verticales y 360° en el plano horizontal).

Los carrier cuentan con sistemas de adaptación a una variedad de diámetros, desde 60 mm en adelante, mediante distintos diámetros de ruedas y orugas y adicionalmente "tijeras" que permiten elevar la cámara y el sistema de iluminación.

El personal para operarlo debe recibir capacitación durante 15/30 días y la cuadrilla requerida es de tres personas. Un Jefe de Equipo y responsable de la operación, un Oficial Electromecánico Especializado y un Oficial.

El equipo de TV, carrier e iluminación son totalmente estancos al agua y capaces de soportar una presión exterior de 5 Kg./cm^2 .

Adicionalmente, la provisión se integra con tanque de agua y bomba de presión para limpieza de equipo, grupo electrógeno de 3 KVA y baterías de 12 V para accionamiento del equipo.

La comercialización se realiza en forma de contenedor para instalar sobre chasis de pick-up, debiéndose realizar solo las fijaciones y la conexión al sistema eléctrico de movilidad. Parte del equipamiento, como PC, videograbador, monitores, etc. puede ser incorporado en el país, reduciendo así los costos de origen.

Las cañerías están expuestas a sufrir procesos de corrosión. Hoy en día existen instrumentos que nos permiten detectar áreas con pérdidas del material de la cañería.

A continuación se describe los principios de funcionamiento y características de los siguientes equipos:

- Detector magnético de pérdidas de metal
- Detector ultrasónico de pérdidas de material

Detector magnético de pérdidas de metal

Este instrumento consiste en un cabezal que se introduce en la cañería y se puede desplazar apropiadamente a lo largo de la misma. El cabezal está formado por hileras de sensores que cubren la circunferencia completa de la sección transversal de la cañería ubicadas entre los polos de las imanes. Los sensores detectan cambios en la pérdida de flujo del campo magnético a medida que el instrumento se desplaza en la cañería. Las señales creadas por defectos en la pared de la cañería pueden ser archivados en forma digital en la memoria del instrumento.

Este método se utiliza para la localización de pérdidas de metal sobre la superficie externa o interna de la pared de la cañería.

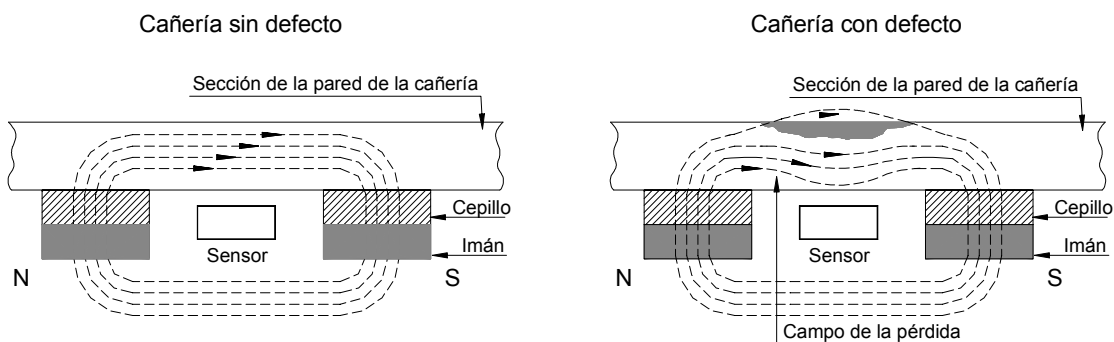


Figura 34. Principio de funcionamiento del detector magnético

A medida que la herramienta viaja dentro de la cañería los imanes permanecen acoplados a la pared de la cañería por medio de cepillos de alta densidad que inducen campo magnético en el material de la cañería.

Cuando el instrumento atraviesa por una zona donde el espesor de la pared de la cañería ha disminuido por algún desperfecto debido a la corrosión se produce una variación de flujo magnético que los sensores detectan.

Detector ultrasónico para medición de espesor de pared

La tecnología de ultra sonido permite realizar mediciones directas y muy precisas de los espesores de pared e indica si la pérdida de metal proviene de la superficie exterior o interior.

Los transductores de ultrasonido están montados en un transportador flexible que mantiene la correcta alineación entre cada sensor y la pared de la cañería. Los transductores transmiten pulsos de alta frecuencia que son reflejados por ambas paredes, la interna y la externa.

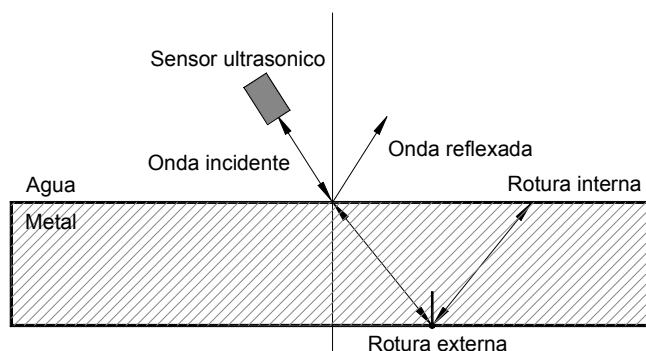


Figura 35. Principio de funcionamiento del detector ultrasónico

La técnica de onda a 45° es utilizada para medir roturas, al contrario de la perpendicular que es utilizada para medir el espesor de la pared.

7. EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS

La evaluación de una planta de tratamiento de agua comprende el análisis detallado del funcionamiento de cada una de las partes que físicamente la conforman, de su eficiencia, y de la forma en que está siendo operada, mantenida, controlada y administrada.

El objetivo de evaluar una planta es poder determinar los problemas existentes en cada uno de los aspectos mencionados y plantear las posibles soluciones en base a un diagnóstico concreto del problema.

De la evaluación de una planta, surge la definición de las etapas siguientes relacionadas con posibles ampliaciones, mejoramiento y/o optimización de sus instalaciones y organización.

En el desarrollo de la evaluación de una planta, se distinguen dos etapas principales: preliminar, y de diagnóstico. De esta última llevada a cabo integralmente, es de dónde surge luego la necesidad de efectuar un análisis para tomar decisiones significativas sobre las inversiones a realizar.

Los datos e información a recopilar y el diagnóstico a realizar se han explicitado en el Capítulo II de estas Fundamentaciones.

7.1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD INSTALADA, DÉFICIT SUPERÁVIT

Luego de realizado el diagnóstico se recomienda elaborar un estudio de capacidad de las instalaciones a fin de compararlo con el estudio de demanda como parte de la evaluación.

Se debe analizar:

- Población servida.
- Conexiones de agua potable
- Conexiones medidas y no medidas.
- Unidades de consumo.
- Cobertura de servicio de agua potable.
- Incremento de unidades de consumo por ampliaciones y por densificación en zonas con servicio.
- Estudio de las dotaciones de consumo y producción de agua potable.
- Consumos de agua potable, domiciliarios, industriales, comerciales y públicos
- Análisis de consumos no característicos del servicio de abastecimiento de agua potable.

- Coeficientes de pico.
- Déficit y Superávit de producción de agua potable de los sistemas.
- Ampliaciones modulares de producción necesarias.
- Capacidad total del sistema en los años que corresponda al estudio.

Algunos de estos puntos se analizaron en el Capítulo II de estas Fundamentaciones en consecuencia aquí se continuará el ejemplo a los efectos de analizar la capacidad instalada de planta y sus posibles ampliaciones. (ver **Tabla 22**). Los datos referentes a cobertura, población servida, conexiones y caudales se deben obtener del estudio de demanda.

			Situación Inicial.	Años del Período de Diseño																			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Capacidad instalada Total de Producción	$\frac{m^3}{día}$	3,900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900	3.900
2	Déficit / Superávit de Producción de Agua Potable [1]	$\frac{m^3}{día}$		1.031	720	589	-118	-870	-1.458	-1.723	-1.993	-2.870	-3.316	-3.804	-4.245	-4.531	-4.820	-5.161	-5.507	-5.858	-6.215	-6.577	-6.831
3	Ampliaciones de Producción [1]	$\frac{m^3}{día}$					3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200
4	Déficit / Superávit de Producción de Agua Potable [2]	$\frac{m^3}{día}$		1.031	720	589	3.082	2.330	1.742	1.477	1.207	330	-116	-604	-1.045	-1.331	-1.620	-1.961	-2.307	-2.658	-3.015	-3.377	-3.631
5	Ampliaciones de Producción [2]	$\frac{m^3}{día}$										3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200
6	Déficit / Superávit de Producción de Agua Potable [3]	$\frac{m^3}{día}$		1.031	720	589	3.082	2.330	1.742	1.477	1.207	3.530	3.084	2.596	2.155	1.869	1.580	1.239	893	542	185	-177	-431
7	Ampliaciones de Producción [3]	$\frac{m^3}{día}$																			3.200	3.200	3.200
8	CAPACIDAD INSTALADA TOTAL de PRODUCCION	$\frac{m^3}{día}$		3.900	3.900	3.900	7.100	7.100	7.100	7.100	7.100	10.300	10.300	10.300	10.300	10.300	10.300	10.300	10.300	10.300	13.500	13.500	13.500

Tabla 22. Capacidad instalada y ampliaciones por etapa

A continuación se explican las filas de la **Tabla 22**.

- Fila 1: Refleja la capacidad instalada inicial del sistema, obtenida como resultante de la información relevada.
- Fila 2: De la comparación entre los resultados de la Fila 19 (demanda máxima diaria o demanda pico) y la (capacidad instalada inicial), surge el déficit/superávit del sistema para atender la demanda pico.
- Fila 3: En esta fila se explicita el programa para atender el déficit que se detecte en la Fila 2. Se han previsto hasta tres (3) instancias de ampliación de cada sistema, los que se referencian como ampliaciones de producción [1], [2] y [3]. Para cada localidad y de acuerdo al tamaño de la misma dependiendo del déficit detectado, se hace uso de una, dos o tres instancias de ampliación de la etapa de producción.
- Fila 4: Refleja el déficit/superávit de producción luego de la primera ampliación.
- Fila 5: Corresponde a la segunda instancia de ampliación de producción, de ser necesaria.
- Fila 6: Idem Fila 2, luego de la segunda ampliación.
- Fila 7: Corresponde a la tercera instancia de ampliación de producción, de ser necesaria.
- Fila 8: Es la capacidad total instalada de producción, para cada año de análisis.

Se deben analizar además las capacidades correspondientes a cada unidad por separado de las plantas de tratamiento, como metodología para determinar cuales de ellas tienen capacidad remanente o no. En base a lo precedente se establecerá el criterio para analizar la posibilidad de optimización de las unidades existentes, dado que puede ser por ejemplo que haya exceso de capacidad de los decantadores y déficit de capacidad en los filtros, no siempre es uniforme el déficit o superávit de cada unidad.

Es importante destacar que, en la mayoría de los casos, el límite entre la definición de la posible optimización de una planta y las necesidades reales de ampliación de la misma están dados por el funcionamiento hidráulico de cada unidad, de las unidades directamente vinculadas y sus conexiones.

Un tema de vital importancia, previo a definir grandes inversiones en ampliación de los sistemas es, como se dijo anteriormente, el conocimiento real de los sistemas, dado que muchas veces se producen importantes cantidades de agua potable y se tiene un alto porcentaje de Agua no Contabilizada, que en la práctica puede llegar a elevados valores (40%, 45%).

En la **Figura 36** se muestra los posibles datos de ampliación de una planta de agua potable, dicha planta se podría ampliar en tres etapas, esto significa proyectar la ampliación de la misma por etapas que cubran las necesidades de siete a diez años siguientes, teniendo en cuenta que realizar la ampliación para veinte años puede generar capacidad ociosa de las instalaciones.

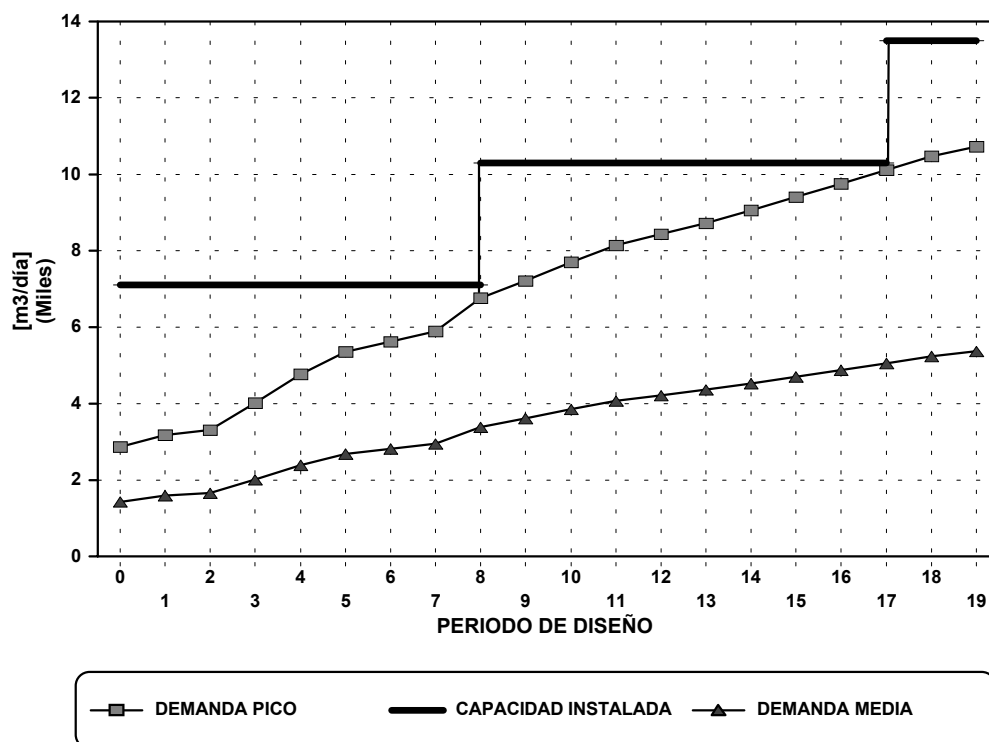


Figura 36. Capacidad instalada y ampliaciones por etapa

7.2. OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Muchos de los proyectos y trabajos a prever en los sistemas de abastecimiento de agua potable estarán relacionados con la optimización de los sistemas existentes, en relación a:

- Mayor capacidad.
- Mejor calidad de agua potable
- Mejor operación de los sistemas.
- Menores costos de operación.

Es necesario evaluar el sistema como un todo y cuestionarse críticamente las distintas soluciones. En la mayoría de los casos, hay varias formas de resolver un problema de optimización, dependiendo de los requisitos de las normativas vigentes. Es de fundamental importancia que las diferentes posibilidades sean estudiadas y evaluadas, se basen en conclusiones correctas y se transfieran a un diseño de optimización racional y confiable.

Una buena planta de tratamiento nunca es un objetivo. Es un medio necesario para alcanzar el objetivo primario como una función bien definida, o sea, cierta cantidad de agua de la calidad requerida, suministrada al costo total menor posible, es decir la suma de los costos de capital y operativos. Escogiendo un proceso fácil de operar y confiable.

7.2.1. Estructura de Optimización

Existen distintas razones por las que se requiere optimizar una planta, las que deben estar basadas en una estrategia que defina

1). Objetivo.

- Aumento de capacidad.
- Mejor calidad de agua.
- Mejor control de procesos.
- Mejoras y rehabilitación de equipos.
- Disminución de costos operativos.

2). Posibles limitaciones.

- Fondos.
- Tiempo.
- Diseño de las instalaciones existentes

3). Condiciones y requerimientos.

- Requerimientos de calidad de agua.
- Caudales afluentes y variaciones.
- Condiciones locales (ej.: características del suelo).

4). Estrategia de operación.

- Lavado de filtros y caudal.
- Dosificación de químicos.
- Control de parámetros operativos.

5). Elección del proceso.

- Evaluación de posibles alternativas.
- Adaptación práctica y flexible a las condiciones locales.

6). Diseño del proceso.

7). Soluciones prácticas.

- Integración con las instalaciones existentes.
- Distribución geográfica práctica.

7.3. OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS CONVENCIONALES

El tratamiento convencional es uno de los mas utilizados en los procesos de control microbiológico y de la turbiedad en abastecimiento de aguas superficiales. Si bien existen distintas alternativas de tratamiento, comúnmente incluyen dosificación de químicos, mezcla rápida, floculación, sedimentación filtración y desinfección.

El comportamiento de la tecnología de filtración está directamente influenciado por los procesos que la anteceden. Puede ser que alguno de los procesos mencionados requieran optimización para mejorar todo el sistema o ajustar el mismo a las expansiones necesarias.

A menudo es necesario modificar las plantas convencionales existentes de tratamiento de agua debido a:

- Cambios en la población.
- Estrechamiento financiero.
- Modificaciones en la calidad del agua cruda.
- Modificación de las regulaciones vigentes.

Estos cambios obligan a optimizar el sistema para:

- Mejorar la calidad del agua.
- Aumentar la capacidad de la planta.
- Aumentar la confiabilidad en las instalaciones.
- Reducir los costos de mantenimiento.
- Reducir los costos operativos.

Muchas veces se puede aumentar la capacidad de plantas ya construidas en 100 o 200% en relación a los parámetros de diseño originales. Cualquiera de los componentes de una planta puede ser optimizado, sólo o en combinación con otro de ellos. La siguiente **Tabla 23** resume las causas de deficiencias potenciales para cada elemento integrante del tratamiento:

Elemento o proceso unitario de tratamiento	Causas potenciales de los problemas
Dosificación de los productos químicos	Elección del producto químico. Selección de la dosificación y del pH. Control de la dosificación, comportamiento del equipamiento de dosificación. Mantenimiento de las líneas de alimentación de químicos. Flexibilidad en el sistema para modificar el punto de aplicación de los productos químicos. Secuencia de dosificación de químicos. Grado de dilución de los químicos antes de su aplicación.
Mezcla rápida	Tipo de mezcla rápida, hidráulica o mecánica. Numero de mezcladores rápidos. Método de dosificación química. Velocidad de mezcla, tiempo de permanencia.
Floculación	Tiempo de detención óptimo. Intensidad de mezcla óptima. Numero de etapas. Pantallas adecuadas para producir condiciones de flujo.
Sedimentación	Carga superficial. Corto circuitos debidos a vientos, diferencias de densidad, diseños de entradas y salidas. Velocidad de producción, cantidad y acumulación de barros. Extracción de barros.
Filtración	Hidráulica del sistema. Control de los filtros y velocidad de filtración. Pretratamiento químico del agua que pasa por los filtros. Retrolavado inadecuado.

Fuente: Technologies for upgrading existing or designing new drinking water treatment facilities, EPA.

Tabla 23. Resumen de causas de problemas operativos en el tratamiento convencional

Existen cinco categorías básicas para las técnicas de optimización de acuerdo a la operación unitaria de que se trate:

- Modificación de la dosificación de productos químicos o del tratamiento químico en sí.
- Modificación o agregado de mezcla rápida.
- Mejoramiento de la floculación.
- Mejoramiento de la sedimentación.
- Modificación del proceso de filtración.

La evaluación de instalaciones existentes comprende el análisis detallado del funcionamiento de cada una de las partes o sectores de una planta de tratamiento, de su eficiencia y su operación, mantenimiento, control y administración.

8. BIBLIOGRAFIA

- Adalberto Cavalcanti Coelho, Medição de Agua e Controle de Perdas, ABES, 1983.
- Adalberto Cavalcanti Coelho, Medição de Agua e Controle de Perdas, ABES, 1997.
- Al Crouch, Richard Anglissano and Mohamed Jaarah, Quantitative field evaluation of magnetic-flux leakage and ultrasonic in- line inspection, The Pipeline Pigging Conference, Houston Texas, 1996.
- Antonio Linus Rech, Agua Micromedicação e Perdas. Edição DMAE, 1992.
- AWWA Journal, Distribution Systems, Comittee Report: Water Accountability.
- AWWA, Manual M36 Water Audits and Leak Detection, 1980.
- AWWA, Manual M5, Water Utility Management, 1980.
- AWWA, Manual M6 Water Meters Selection, Installation Testing and Maintenance.
- Bjorn Rosén and Stig Morling, A Systematic Approach to Optimal Upgrading of Water and Waste Water Treatment Plants, Wat. Sci. Tech. Vol 37 N°9 pp9-16, 1998.
- BONEX, Método de Rehabilitación de Cañerías, Editorial de la Facultad de Ciencias Económicas, Budapest, 1987.
- Cetesb-Abes, Técnica de Abastecimiento e Tratamento de Agua , Tomos 1 y 2, 2da Edición.
- D.B. Field, Controle de Perdas e Detecção de Vazamentos no Reino Unido do Water Research Centro (Inglaterra) Cetesb Biblioteca.
- Daniel V. Fernández Pérez, Gestión del Agua Urbana Abastecimiento y Saneamiento, Colegio de Ingenieros de Canales Caminos y Puertos, Colección Senior, N°14, Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, 1995.
- Echeverri Alejandro Augusto Estrada, Empresas Públicas de Medellín, Investigaciones sobre pérdidas de acueducto (Agua no Facturada), Medellín, Julio 1980.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Perdidas de Agua en el Sistema de Bogotá, Programa de Recuperación SGO-023/83.
- Empresas de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Rehabilitación y Expansión del Sistema de Acueducto y Alcantarillado de Santa Fe, Bogotá. Plan Estratégico, CEPIS, 1993.
- Empresas Públicas de Medellín, Gerencia de Operación, Programa para disminución de perdidas en el acueducto, Medellín, Julio 1978.
- Eng. Elysio A. Moreira da Fonseca, Manutencao da Adutoras, CETESB, Sao Paulo 1974.
- Eng. Jose M de Azevedo Netto, Eng. Eduardo Ferreira Borba Junior, Eng. Tetsuaki Misawa y otros, Cetesb, Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Basico

e de Controle de Poluicao das Aguas Projeto de Sistemas de Distribucao de Agua Sao Paulo, 1975 Capitulo 1.

- Enrique Cabrera, Miguel Andrés and Francisco Planells, Network maintenance through analysis of the cost water. Journal, AWWA, 1995.
- EPA, United States Enviromental Protection Agency, EPA /625/4-89/023, Technologies for Upgrading Existing Or Designing New Drinking Water Treatment Facilities 1990.
- Evins, C., Stephonson, G. Warren, I.C., Williams S. M. Planing the rehabilitation of water distribution systems wilte shire WRG, 1989 XIV, 272p.
- Fair, Geyer y Okun , Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales. Tomo 1, Limusa, 1997.
- Gordon M. Fair, John C..Geyer, Daniel A. Okun, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales Abastecimiento de Agua Y Remoción de Aguas Residuales, México 1968, Volumen 1.
- H.V. Fuchs and R. Riehle, Acoustical Analysis Detects Leaks, Water Engineering and Management, January 1991.
- Habibian, Ahmad Developing and Utilizing data bases for Water Main Rehabilitation, AWWA journal, Management and Operations, 84(7) 75 - 9 Julio 1992.
- Hueb José Augusto, Bento Gonzaga César Filho, Francisco Javier Rodríguez Avila, Macromedición, Manual DTIAPA N° C-9 CEPIS, Febrero, 1985.
- Hueb José Augusto, Control de Fugas en los Sistemas de Distribución de Agua Potable, Manual DTIAPA N°C-7 Cepis, Julio 1986.
- Hueb José Augusto, Control de Pérdidas en Sistemas de Distribución, Hojas de Divulgación Técnica CEPIS, Marzo 1984.
- Hueb José Augusto, Pitometría, Manual DTIAPA N° C-8 CEPIS, Diciembre, 1984.
- Hytsa Estudios y Proyectos S.A., Cofapys, Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento, Normas de Estudio, Criterios de Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales para Localidades de hasta 30000 Habitantes.
- Hytsa Estudios y Proyectos S.A., Tarifas y Regímenes Tarifarios, Curso dictado en Fentos año 1998.
- Hytsa Estudios y Proyectos, Curso de Operación y Mantenimiento de Redes de Agua y Alcantarillado, dictado en APOS, Misiones, 1998.
- Ing. Mario Edmundo Miguel Dib, Trabalho de Pesquisa e Controle de Perdas Executados na SABESP, Revista DAE.
- J. F. Bost P. Chantre A. Lowden and A Munklevt, Technologies for pipeline rehabilitation: an overview of drinking water mains, Water mains rehabilitation Water Supply, Vol 12 Nos 3/4 Zurich, pp 69-79, 1994.
- J. M. de Acevedo Netto – Guillermo Acosta Alvarez, Manual de Hidráulica, Harla, México 1976.

- Joao Alberto Favero, Mario Edmundo Miguel Dib, Pesquisa e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimiento de Agua, Revista DAE N°126.
- Joao Pessoa, Perdas de Agua na Rede de Distribucao do Altiplano Cabo Branco, 1980, Publicação Técnica Cagepa-Paraiba Serie A01 DEZ. 1980.
- José Martiniano de Azevedo Netto, Perdas, Volume nao Facturavel e Desperdicio de Agua, Revista DAE.
- Juan Maldonado Silvestre, Leonel H. Ochoa Alejo , XXII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, La Habana Cuba, 22-28 de Noviembre de 1992.
- Keller C. W. Analysis of Accounted for Water, AWWA Journal, 68644.
- M. Beller, H. Schoenmaker, Pipeline Inspection :A Turnkey Approach, 1999.
- Mangiafave B., Estudio de casos: Programación de las Obras de Desincrustación de Redes de Pequeño Diámetro. AIDIS (International Water Supply Association – Corrosión, Buenos Aires 1996 – p.115-8.
- Marcos Ubirajara de Carvalho e Camargo, Sistema de Informacoes Geográficas como Instrumento de Gastao e Saneamento, Abes 1997.
- Mario Edmundo Miguel Dib, Trabalho de Pesquisa e Controle de Perdas Executados Na SABESP, Revista DAE.
- Mészáros Pál, Solti Dezsó, Vizi Kozmúhálozátok Rekonstrucciója, BME, Universidad Técnica de Budapest, Budapest, 1985.
- Muñoz, Aurelio Hernández Colegio de Ingenieros, Canales y Puertos Colección Senior N° 6, Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M.) 1993, Abastecimiento y Distribución de Agua.
- P. Harremões, Upgrading our Tnherited Urban Water Systems, Water Science Technologies, Vol 37 N° 9 pp1-8, 1998.
- P. Scherer T. Phebey, Sistemas de Información Geográfica, Ingeniería Sanitaria y Ambiental N° 27 Agosto 1996.
- P.J. Conroy and M.J.Hall Rehabilitation and Leakage - A Joint Approach, Jwater SRT. Aqua Vol. 44 N°4 pp. 196-201, 1995.
- Palotás Laszlo, Manual del Ingeniero, Tomo III, Editorial Técnica, Budapest, 1985.
- Pipetronix, Corrosion and Pipe Protection, In Line Inspection Tools Help Maintain Pipeline Integrity, 1999.
- Prof. José Martiniano de Azevedo Netto, Perdas volume Nao Facturavel e Desperdicio de Agua, Revista DAE.
- Ricardo Alfredo Lopez Gualla. Diseño de Acueductos y Alcantarillados Segunda Edición, Alfaomega, Escuela Colombiana de Ingeniería.1999.
- Silvestre Juan Maldonado, Leonel H. Ochoa Alejo, Indicas de Fugas en Ciudades, XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, La Habana, Cuba, 1992.

- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS, Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto –1996, Modernização do Sector Saneamento-PMSS, Brasília Novembro 1997.
- Snap, Servicio Nacional de Agua Potable, Normas de Estudios Diseño y Presentación de Proyectos.
- Sola Berríos, Plan Estratégico Para el Mantenimiento de La Red de Agua Potable, Chile, XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, La Habana, Cuba, 1992.
- Taller Internacional sobre Hierro y Manganeseo – AIDIS, Buenos Aires, Noviembre 1997.
- Trenchless technology, France Lagging Behind, Hydroplus 86, Septiembre 1998.
- U. Lidman, Upgrading of Water and Wastewater System, Departament of Natural Sciences, University of Kalmar, Sweden, Pergamon.1998.
- UBA Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica, Curso sobre Operación y Mantenimiento de Redes de Desagües, 1993.
- Walski Thomas , Awwa Journal, Management and Operations, Nobiembre 1987.