



Resolución Ministerial

Nº 019-2014-VIVIENDA

Lima, 17 FEB. 2014

CONSIDERANDO

Que, mediante la Ley Nº 26338, Ley General de Servicios de Saneamiento, se declara a los servicios de saneamiento como servicios de necesidad y utilidad pública y de preferente interés nacional, cuya finalidad es proteger la salud de la población y el ambiente;

Que, el artículo 2 de la citada Ley establece que la prestación de los servicios de saneamiento comprende la prestación regular de servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial y disposición sanitaria de excretas, tanto en el ámbito urbano como en el rural;

Que, el literal a) del artículo 11 del Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo Nº 023-2005-VIVIENDA, prevé que corresponde al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento formular, normar, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar la política nacional y acciones del sector en materia de saneamiento y evaluar permanentemente sus resultados, adoptando las correcciones y demás medidas que correspondan;

Que, la Ley Nº 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece que es competencia del Ministerio formular, aprobar, ejecutar y supervisar las políticas de alcance nacional aplicables en materia de vivienda, construcción, saneamiento, urbanismo y desarrollo urbano, bienes estatales y propiedad urbana; para lo cual, dicta normas de alcance nacional y supervisa su cumplimiento;

Que, de acuerdo con lo indicado en el artículo 4 del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo Nº 002-2002-VIVIENDA, este Ministerio es el Ente Rector de los asuntos de vivienda, urbanismo, desarrollo urbano, construcción de infraestructura y saneamiento, para lo cual formula, aprueba, dirige, evalúa, regula, norma, supervisa y ejecuta las políticas nacionales en estas materias;

Que, del mismo modo, el artículo 32 de la norma mencionada, prevé que corresponde a la Dirección Nacional de Saneamiento del Viceministerio de Construcción y Saneamiento, proponer los lineamientos de política, planes, programas y normas concernientes a los servicios de saneamiento básico;

Que, mediante Informe Nº 023-2013-VIVIENDA/VMCS-DNS-DN, la Dirección de Normas de la Dirección Nacional de Saneamiento, propone la aprobación de la "Guía de Métodos para Rehabilitar o Renovar Redes de Distribución de Agua Potable", la cual tiene por objetivo difundir y promover los principales criterios y métodos para la rehabilitación o renovación de las redes de distribución de agua potable; con la finalidad de contribuir al



desarrollo del sector saneamiento, dinamizar la inversión de los prestadores de servicios de saneamiento y mejorar la calidad del servicio brindado; y,

De conformidad, con la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; el Decreto Supremo N° 002-2002-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y, el Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA, que aprueba el Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Aprobar la "Guía de Métodos para Rehabilitar o Renovar Redes de Distribución de Agua Potable", la cual forma parte integrante de la presente Resolución.

Artículo 2.- La Guía aprobada en virtud del artículo precedente, es de alcance nacional, y de cumplimiento para toda entidad pública o privada, involucrada directa o indirectamente en la formulación y ejecución de programas o proyectos que comprendan la rehabilitación o renovación de las redes de distribución de agua potable.

Artículo 3.- Encargar a la Dirección Nacional de Saneamiento realizar las acciones que resulten necesarias para la edición, diagramación, impresión y distribución de la Guía aprobada en el artículo primero de la presente Resolución.

Artículo 4.- Disponer la publicación de la Guía aprobada en el artículo primero de la presente resolución en el Portal Electrónico del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (<http://www.vivienda.gob.pe>), el mismo día de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Regístrese, comuníquese y publíquese.




RENE CORNEJO DIAZ
Ministro de Vivienda,
Construcción y Saneamiento

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

GUÍA DE MÉTODOS PARA REHABILITAR O RENOVAR REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	7
3. ALCANCE	7
4. DEFINICIONES	8
5. APLICACIÓN DE LA GUÍA EN EL MARCO DEL SNIP	8
5.1 FASE DE PERFIL.....	8
5.2 FASE DE FACTIBILIDAD	11
5.3 ESTUDIO DEFINITIVO	12
6. EVALUACIÓN PARA DEFINIR LA REHABILITACIÓN O RENOVACIÓN DE LAS REDES ..	13
DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	13
6.1 EVALUACIÓN DE LAS TUBERÍAS EXISTENTES.....	13
6.1.1 DETERIORO ESTRUCTURAL.....	13
6.1.2 DETERIORO HIDRÁULICO.....	14
6.1.3 DETERIORO DE LA CALIDAD DE AGUA.....	14
7. MÉTODOS DE PRIORIZACIÓN PARA APLICAR LA REHABILITACIÓN O	
RENOVACIÓN DE TUBERÍAS	15
7.1 MÉTODO POR INDICADORES DE DETERIORO.....	15
7.1.1 Método Hirner.....	15
7.1.2 Método Parsons	15
7.2 MÉTODO DE REGISTRO POR INCIDENCIAS	16
7.3 MÉTODO ECONÓMICO	18
7.4 DIAGRAMA PARA ELECCIÓN DE REHABILITAR O RENOVAR.....	19
8. PRINCIPALES MÉTODOS DE REHABILITACIÓN	20
8.1 MÉTODO DE LIMPIEZA NO AGRESIVOS	20
8.1.1 Método de descarga de agua.....	21
8.1.2 Método de arrastre por esponja	22
8.1.3 Método de arrastre por aire	23
8.2 MÉTODOS DE LIMPIEZA AGRESIVOS	24
8.2.1 Método de inyección de agua a alta presión	24
8.2.2 Método de arrastre por presión.....	25
8.2.3 Método de bala abrasiva.....	27

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

8.3	MÉTODOS DE REVESTIMIENTO NO ESTRUCTURAL	28
8.3.1	Método de mortero cemento	28
8.3.2	Método resina Epoxi	29
8.4	MÉTODOS DE REVESTIMIENTO ESTRUCTURAL	30
8.4.1	Método de entubado	31
8.4.2	Método de encamisado (adhesivo).....	32
8.4.3	Método de inserción de manguera de Geotextil (no adhesiva)	33
8.4.4	Método fragmentación de tubería.....	34
8.4.4.1	Método de fragmentación de tubería dinámica	35
8.4.4.2	Método de fragmentación de tubería estática	36
9.	PRINCIPALES MÉTODOS DE RENOVACIÓN	37
9.1	MÉTODO CON ZANJA.....	37
9.1.1	Método de zanja convencional	37
9.1.2	Método de zanja estrecha.....	38
9.2	MÉTODO SIN ZANJA.....	39
9.2.1	Método de perforación horizontal dirigida.....	39
9.2.2	Método de hincado de tuberías.....	40
9.2.3	Método de cincel (Topo)	42
10.	CONEXIONES DOMICILIARIAS.....	42
	Anexo I.....	42
	Anexo II.....	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Aplicación del SNIP	8
Cuadro 2: Valores recomendados de fugas de agua específicas	14
Cuadro 3: Valores guía recomendados	14
Cuadro 4: Criterios del método de registro por incidencias	15
Cuadro 5: Valores orientativos de los parámetros que intervienen en el análisis económico ...	17
Cuadro 6: Métodos de limpieza no agresivos	19
Cuadro 7: Ventajas y desventajas del método de descarga de agua	19
Cuadro 8: Ventajas y desventajas del arrastre por esponja	20
Cuadro 9: Ventajas y desventajas del método de arrastre por aire	21
Cuadro 10: Ventajas y desventajas del método de limpieza agresivos	22
Cuadro 11: Ventajas y desventajas del método de inyección de agua a alta presión	23
Cuadro 12: Ventajas y desventajas del método de arrastre por presión	24
Cuadro 13: Ventajas y desventajas del método bala abrasiva	25
Cuadro 14: Ventajas y desventajas del método de revestimiento no estructural.....	26
Cuadro 15: Ventajas y desventajas del método mortero cemento	27
Cuadro 16: Ventajas y desventajas del método resina epoxi	28
Cuadro 17: Ventajas y desventajas del método revestimiento estructural	29
Cuadro 18: Ventajas y desventajas del método de entubado	30
Cuadro 19: ventajas y desventajas del método de encamisado (adhesivo)	31
Cuadro 20: Ventajas y desventajas del método de inserción de manguera de geotextil	32
Cuadro 21: Ventajas y desventajas del método de rotura de tubería	33
Cuadro 22: Ventajas y desventajas del método de fragmentación de tubería dinámica	34
Cuadro 23: Ventajas y desventajas del método de rotura de tubería dinámica	34
Cuadro 24: ventajas y desventajas del método de zanja convencional	35
Cuadro 25: Ventajas y desventajas del método de zanja estrecha	36
Cuadro 26: Ventajas y desventajas del método de técnica sin zanja	37
Cuadro 27: Ventajas y desventajas del método de hincado de tuberías	39
Cuadro 28: Ventajas y desventajas del método de cindel.....	39

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tiempo óptimo de renovación de tuberías	16
Gráfico 2: Diagrama de flujo rehabilitación o renovación de la tubería de agua potable	18
Gráfico 3: Descarga de agua	19
Gráfico 4: Arrastre por esponja	20
Gráfico 5: Arrastre por aire	21
Gráfico 6: Inyección de agua a alta presión	23
Gráfico 7: Arrastre por presión	24
Gráfico 8: Bala abrasiva	25
Gráfico 9: Revestimiento con mortero cemento	27
Gráfico 10: Revestimiento con resina epoxi	28
Gráfico 11: Métodos de entubado	30
Gráfico 12: Métodos de encamisado	31
Gráfico 13: Revestimiento con manguera geotextil	32
Gráfico 14: Métodos de fragmentación de tubería	33
Gráfico 15: Métodos de fragmentación de tubería dinámica	34
Gráfico 16: Métodos de rotura de tubería estática	35
Gráfico 17: Zanja convencional	36
Gráfico 18: Zanja estrecha	37
Gráfico 19: Perforación horizontal dirigida	38
Gráfico 20: Hincado de tuberías	39
Gráfico 21: Método de cincel	40



Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua potable en las localidades urbanas superan los 60 años de antigüedad, se estima que las redes de distribución de agua potable de nuestro país son diseñadas para estar operativas entre 30 y 50 años. Durante todo este tiempo estas tuberías sufren incrustaciones aumentando su rugosidad, reduciendo su diámetro o incrementando su diámetro (por desgaste de la tubería) e incluso produciendo fatiga del material, lo que ocasiona frecuentes interrupciones del servicio por roturas y/o pérdida de agua por grietas. Por otra parte, la falta de estanqueidad se puede traducir en posibilidad de contaminación del agua que se transporta.

Esta situación es preocupante para los prestadores de servicios de saneamiento, toda vez que el mantenimiento, rehabilitación y renovación de las tuberías con muchos años antigüedad, es parte de la sostenibilidad del servicio.

En general, esto conlleva a obras de rehabilitación de redes de agua potable en diferentes zonas de las principales ciudades del país, con el fin de mejorar la infraestructura, en la que presentan constantemente problemas en las redes de agua potable como: roturas de tuberías de la red pública y/o en la conexión domiciliaria, causando pérdidas de agua y aniegos, lo que origina:

1. Problemas que en algunos casos afectan a terceros, ocasionando incrementos de reclamos operacionales y comerciales, que cada vez son más frecuentes, que de acuerdo a los indicadores de la Sunass la magnitud del problema es grave.
2. Incremento en gastos de pólizas, primas y deducibles.
3. Incremento de gastos por mantenimiento correctivo.
4. Detrimento de la imagen de la entidad, lo que genera falta de credibilidad.
5. Deterioro del medio ambiente, debido a las incidencias operativas durante la realización de los trabajos para restituir el servicio.
6. Malestar del sector privado principalmente por parte del sector inmobiliario, toda vez que la factibilidad del servicio muchas veces está condicionada a la rehabilitación de redes y al no conocer los métodos de rehabilitación; lo más probable es que opten por la apertura de zanjas, que en zonas de alto tránsito genera un problema social, cuyos costos en nuestro país, aún no está valorado.
7. Riesgo en la salud de la población, tanto directa como indirectamente afectada.
8. Deterioro de las vías públicas, por la reposición parcial del pavimento, cuya reposición no siempre cumple las expectativas de las municipalidades.

Un ejemplo de ello ocurrió en los Estados Unidos (1995), que a través de la Oficina del Agua Potable de la Environmental Protection Agency (EPA) se elaboró un informe sobre la necesidad de renovar los sistemas de distribución de agua para los próximos 20 años. El monto global de las inversiones requeridas ascendía a 138 mil millones de dólares. Utilizando el número de habitantes como factor de equivalencias entre Estados Unidos y Perú (aproximadamente 1/11), se estima que para este último ascendería a 12,500 millones de dólares (32,618 millones de Nuevos Soles).

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

Cualquier prestador que desee mantener la calidad óptima de los servicios de agua potable debe rehabilitar o renovar sus sistemas de distribución. Nuestro país no escapa de ello, las 50 Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento-EPS, que son fiscalizadas y supervisadas por Sunass, han previsto en sus Planes Maestros Optimizados (PMO), inversiones por miles de millones de nuevos soles, para rehabilitación de redes para los próximos 5 años.

Por otro lado, con una planificación apropiada es posible realizar la sustitución de las tuberías antes que empiecen a fallar, que permita asegurar los recursos financieros y la mano de obra calificada para rehabilitar las tuberías. Este enfoque reduce al mínimo las interrupciones del servicio, ya que se limita al tiempo usado en sustituir la tubería.

Lo mencionado en los párrafos precedentes, conlleva a establecer una metodología de evaluación del estado de los componentes de una red de distribución de agua potable, así como determinar los mecanismos de análisis, pues todo ello, es fundamental para poder decidir sobre su rehabilitación o renovación.

Es por ello, que la Dirección Nacional de Saneamiento (DNS) en base a la información existente en el país y de otros países, a fin de contribuir al desarrollo del sector saneamiento, con el objetivo de dinamizar la inversión de los prestadores de servicios de saneamiento, ha efectuado la sistematización de la información bibliográfica existente, sobre opciones tecnológicas para la rehabilitación o renovación de las redes de agua potable; y, sobre la base de experiencias validadas y lecciones aprendidas, pone a disposición del sector el presente documento denominado “Guía de métodos para rehabilitar o renovar las redes de agua potable”, esperando que sea de utilidad para los diversos programas y proyectos que se ejecuten en el país.

Esta guía constituye el marco normativo que establece la metodología para que el prestador pueda optar por rehabilitar o renovar las redes de distribución de agua potable, y delinea criterios fundamentalmente económicos para conocer el momento más adecuado para llevarlo a cabo. El contenido de esta guía se precisa a continuación: en primer lugar, se analizaron la información y experiencias que aconsejan rehabilitar o renovar las redes de distribución de agua potable y si las decisiones que se adopten se encuentren apoyadas en el historial de accidentes y/o incidentes de las redes; en segundo lugar, se presenta la metodología de criterios económicos para la rehabilitación o renovación de redes. Finalmente, se presentan las principales metodologías de rehabilitación y renovación de las redes de distribución de agua potable.

2. OBJETIVOS

- Difundir los principales criterios y métodos que permitan tomar decisiones a fin de priorizar las opciones de rehabilitar o renovar las redes de distribución de agua potable.
- Dar a conocer las diferentes metodologías de rehabilitación y renovación de redes de distribución de agua potable.

3. ALCANCE

Esta guía es de alcance nacional y de cumplimiento para toda entidad pública o privada, involucrada directa o indirectamente en la formulación y ejecución de programas o proyectos que incluyan la rehabilitación o renovación de las redes de distribución de agua potable.

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

4. DEFINICIONES

Para el caso de la presente guía, se tendrá en cuenta las siguientes definiciones:

Rehabilitación: Intervenciones orientadas a la recuperación de la capacidad normal de prestación del servicio, con acciones realizadas en las redes existentes, trabajando en el interior de las mismas.

Renovación: Intervenciones orientadas a la recuperación de la capacidad normal de prestación del servicio, con acciones de cambio de las redes existentes por redes del mismo o diferente diámetro o material.

5. APLICACIÓN DE LA GUÍA EN EL MARCO DEL SNIP

La rehabilitación o renovación de redes de agua potable, dependiendo de la magnitud, está enmarcada dentro del ciclo de un proyecto de inversión pública (PIP), tal como lo indica el Sistema Nacional de Inversión Pública.

En ese sentido, es necesario precisar que la aplicabilidad de esta guía, en los casos que corresponda, debe cumplir los lineamientos del SNIP, por lo que se propone para cada etapa lo siguiente, sin carácter limitativo:

Cuadro 1: Aplicación del SNIP

FASE DEL SNIP Y NIVEL DE INFORMACIÓN	NECESIDAD DE REHABILITACIÓN DE REDES
PERFIL - PRE INVERSIÓN	En función a estadísticas de cada entidad
FACTIBILIDAD - PRE INVERSIÓN	En función a muestras de inspección de tuberías (Puede ser a través de videos)
ESTUDIO DEFINITIVO - INVERSIÓN	En función a muestras por tipología muestreos de inspección de tuberías. (Puede ser a través de videos)
EJECUCIÓN DE OBRA - INVERSIÓN	Procedimientos constructivos
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO - EX POST	Inspección de tuberías y rehabilitaciones parciales (Puede ser a través de videos)

5.1 FASE DE PERFIL

Se deberá efectuar en primer lugar una evaluación integral de la situación del sistema de agua potable y el plan de mejoras del área de influencia del proyecto, la que debe contener como mínimo:

1. Diagnóstico del sistema de agua existente, describir la forma de abastecimiento y áreas de servicio en lo que se refiere al agua potable.
2. Análisis y propuesta de solución para las redes de agua potable existentes: Mejoramiento y/o Rehabilitación, según SNIP.
3. Planeamiento para mejorar la sectorización existente.



Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

4. Contribución con la actualización del catastro técnico y comercial en agua potable.

a) Elaboración del diagnóstico

Para el caso de la presente guía se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- Evaluación de todos los componentes de la infraestructura de agua potable, estado físico, antigüedad, capacidad y régimen de funcionamiento actual, tanto a nivel de redes primarias como secundarias, para lo cual se desarrollará los siguientes planos temáticos:
 - Redes primarias y/o secundarias de agua potable según el tipo de material de las tuberías.
 - Redes primarias y/o secundarias de agua potable según la antigüedad de las tuberías. Redes primarias y/o secundarias de agua potable según la entidad ejecutora de la obra Plano de presiones de servicio de agua potable.
 - Plano de horarios de abastecimiento.
 - Plano de cobertura de micromedición.
 - Plano de abastecimiento de agua potable según el tipo de tarifas.
 - Plano de incidencias operativas de roturas y fugas en tuberías desde el año ___ al ___ (Dependerá del nivel de información de cada Entidad).
 - Plano de incidencias operativas de roturas y fugas en conexiones domiciliarias (Accesorios y tubería) desde el año ___ al ___ (Dependerá del nivel de información de cada Entidad).
 - Plano de incidencias operativas de roturas y fugas desde año ___ al ___ (Dependerá del nivel de información de cada Entidad); según la antigüedad de las tuberías.
 - Plano de incidencias operativas de roturas y fugas desde el año ___ al ___ (Dependerá del nivel de información de cada Entidad); según la entidad ejecutora de obra.
 - Plano de incidencias operativas de roturas y fugas desde el año ___ al ___ (Dependerá del nivel de información de cada Entidad); según el tipo de material.
 - Plano de incidencias operativas de roturas y fugas desde el año ___ al ___ (Dependerá del nivel de información de cada Entidad); en tuberías con antigüedad de 10 a 25 años y por tipo de material.
- Evaluación del sistema de distribución de agua potable.
- Estado operativo de las válvulas y accesorios en las redes, medición de caudales y presiones, funcionamiento hidráulico de los sistemas actuales.
- Estado situacional y evaluación del funcionamiento actual de la infraestructura de redes de agua, detallando las condiciones operativas y de mantenimiento de las mismas.
- Situación y desarrollo de los programas de vivienda en la zona de influencia del estudio y el efecto en las proyecciones de demanda de agua potable.
- Análisis del proceso de densificación y del uso de suelo en la zona de influencia del estudio.

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

b) Análisis y propuesta para solucionar los problemas identificados.

Para el caso de la presente guía se deberá tomar en cuenta lo siguiente:



Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

- Elaboración de estudio técnico, económico, hidráulico que sustente tanto la necesidad y oportunidad de cambio de las redes de agua potable en función a su antigüedad e índice de incidencias operativas identificadas en el diagnóstico. Los estudios deberán tener una metodología sustentada de tal manera que sean aceptados por las unidades evaluadoras.
- En base al estudio descrito anteriormente se planteará las correcciones necesarias a las deficiencias y problemas encontrados: mejoramiento y/o rehabilitación según plantea el SNIP, para poder satisfacer los requerimientos solicitados por la población.
- Programa de actividades por etapas para el mejoramiento y/o rehabilitación de redes de agua potable.

5.2 FASE DE FACTIBILIDAD

Además de lo identificado en el ítem 5.1, se debe efectuar una inspección de las redes de agua potable que podrá ser a través de un video u otra técnica disponible.

Dependerá de cada entidad fijar los porcentajes de una muestra representativa. Se recomienda entre un 35% a 45% repartido en todos los diámetros de las redes existentes.

Inspección de tuberías

Inspección de tuberías con video

Esta actividad permite inspeccionar el estado del interior de las tuberías, lo que ayudará a determinar su estado de operación, así como sus posibles fallas o roturas, o conexiones o cualquier otro detalle relevante.

Como parte de los trabajos de inspección del sistema y su diagnóstico, deberá proporcionar el resultado de cada inspección, mediante la entrega de un archivo y un informe técnico que describa las características del tramo inspeccionado identificando las deficiencias técnicas internas, información catastral del tramo (diámetro, sentido de flujo, etc.), información catastral de la conexiones conectadas al tramo (de existir); tipo de sedimento encontrado (arena, cascajo, piedras, etc.). Asimismo, deberá considerarse que algunas de las inspecciones podrán hacerse en tramos de tubería que tengan una longitud mayor de 100 m.

Los trabajos de inspección y diagnóstico formarán parte de las actividades o acciones del proyecto, por lo que los costos asociados a su ejecución se considerarán incluidos en los términos de referencia de cada proyecto.

Modelamiento y cálculo hidráulico de los sistemas de agua potable

A este nivel se debe realizar el cálculo hidráulico de las redes principales y secundarias de agua potable con ayuda de los programas que considere la entidad, presentando los cálculos y los planos. Deberá realizarse el modelamiento de los sistemas de agua potable, considerando las obras generales y secundarias proyectadas y existentes que formarán parte de la alternativa de solución para el SNIP.

El modelo hidráulico deberá presentar entre otros, cálculos:

1. De cada uno de los sectores conformados, incluyendo las tuberías de aducción existentes y/o proyectadas.



Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

2. De las tuberías de conducción de agua existentes y/o proyectadas y/o tanques de regulación proyectados hasta los diferentes tanques de almacenamiento.
3. De las tuberías de impulsión existentes y/o proyectadas desde las estaciones de bombeo hasta los tanques de almacenamiento.

El modelamiento se deberá realizar en varios escenarios considerando el análisis estático y dinámico, para el inicio y final del periodo óptimo de diseño, de cada uno de los modelos hidráulicos planteados.

El modelamiento hidráulico deberá ir acompañado de un informe técnico, donde se describa la metodología empleada, datos utilizados, la presentación, análisis e interpretación de los resultados, debiendo contener como mínimo:

- a) Objeto y alcance del proyecto
- b) Metodología del proyecto
- c) Hipótesis de cálculo
- d) Información básica utilizada
- e) Resultados de cada uno de los modelos hidráulicos
- f) Análisis e interpretación de resultados
- g) Planos (planta, perfiles hidráulicos)
- h) Conclusiones y recomendaciones.

5.3 ESTUDIO DEFINITIVO

Además de lo identificado en el ítem 5.2, se debe efectuar nuevas inspecciones de las redes de agua potable que podrá ser a través de un video u otra técnica disponible.

Para la muestra representativa en esta etapa, se recomienda un mayor número de muestras que las elegidas en el estudio de factibilidad, es decir, deberá ser mayor que 35% - 45% repartido en todos los diámetros de las redes existentes y con una ubicación en tramos diferentes de los realizados en el estudio de factibilidad.

La razón de tomar un muestreo mayor, es lograr una muestra más representativa, del tipo de problemas que se pueden encontrar en las redes de agua potable; sin embargo es recomendable aplicarla de forma exhaustiva tendente, de ser posible, a toda la red, para contar con un mapa preciso de fallas y requerimientos en toda la infraestructura.

El proceso de revisión integral demanda tiempo que deberá ser administrado por la Entidad, porque a partir de un diagnóstico a detalle se podrá recomendar el tipo de tecnología para rehabilitar, debido a que cada método tiene su aplicación que se traduce en costos de inversión y se tiene que optimizar los recursos económicos.

Inspección de redes

Inspección de tuberías con Video

Tener en cuenta lo indicado en el ítem similar en el punto 5.2.

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable***Modelamiento y cálculo hidráulico de los sistemas de agua potable en el área de influencia del proyecto.**

Sobre la base del modelamiento desarrollado en la etapa de pre inversión en el estudio de factibilidad, se actualizará el modelo a la luz de la actualización del diagnóstico.

6. EVALUACIÓN PARA DEFINIR LA REHABILITACIÓN O RENOVACIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Tomando un caso real, las redes de distribución de agua potable de la ciudad de Lima datan de aproximadamente 80 años de antigüedad y muchas de ellas están aún operativas (El sistema de agua potable de Lima tiene tuberías que están en servicio desde el año 1930), lo que demuestra que las redes pueden superar la vida útil estimada. Durante ese largo período algunos tramos pueden deteriorarse y fallar, ocasionando pérdidas del agua producida, interrupción del servicio, disminución de la confiabilidad del sistema, incrementos en los costos de operación, además del alto costo económico resultante de reparar la tubería rota.

Es casi imposible renovar al mismo tiempo todas las redes de distribución de agua potable que han cumplido su vida útil. Consecuentemente, existe la necesidad de encontrar métodos que puedan ayudar a programar la rehabilitación o la renovación progresiva de las redes de distribución, conforme a la disponibilidad presupuestal de los prestadores de servicio.

6.1 EVALUACIÓN DE LAS TUBERÍAS EXISTENTES

La decisión sobre la rehabilitación o renovación es sensible a la aparición de acontecimientos imprevistos (roturas, fugas, entre otros) ligados al deterioro de las tuberías. Este deterioro se puede clasificar en los siguientes tipos:

1. Deterioro estructural;
2. Deterioro hidráulico; y,
3. Deterioro de la calidad del agua.

6.1.1 DETERIORO ESTRUCTURAL

Se manifiesta por una rotura de la tubería, fuga o el hundimiento de la calzada o pista. Se trata de un deterioro físico vinculado al envejecimiento.

Las elevadas pérdidas de agua en una red de distribución de agua potable, ocupa el primer lugar de las causas fundamentales que pueden aconsejar la rehabilitación o renovación de tuberías. Para que el prestador tome la decisión correcta, se debe apoyar en el historial de deterioro de la tubería, lo cual se analiza a través de tres indicadores básicos:

1. El número de defectos por unidad de longitud y año que se generan. Cabe distinguir entre ellas:
 - a. Roturas importantes de inmediata detección.
 - b. Fisuras generadoras de fugas de no inmediata detección.



Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

2. Volumen de agua fugado por unidad de longitud y tiempo, generalmente en m³/Km y hora.
3. El crecimiento anual de roturas o fugas.

Además, resulta de gran interés conocer estos índices en función del material, diámetro, edad, tipo de rotura y hasta tipo de suelo.

6.1.2 DETERIORO HIDRÁULICO

Se manifiesta por una disminución de presión y del caudal debido al estrechamiento de la sección interna (diámetro) de las tuberías, causado por depósitos de sedimentos y/o la corrosión.

La segunda causa que recomienda la rehabilitación o renovación de las tuberías es la falta de capacidad en la conducción, que se manifiesta por una disminución de la presión y del caudal en el sistema de distribución. Con el paso del tiempo, las redes deben satisfacer mayores demandas que pueden ser debido al aumento del número de usuarios, aumento de la demanda de agua o a la superposición de ambos factores.

Uno de los criterios utilizados para decidir si se debe rehabilitar o renovar la tubería por problemas hidráulicos es la presión de suministro en la red de distribución¹.

El abastecimiento debe garantizar en la acometida del usuario, como mínimo y en las horas punta de máxima demanda, 10 metros de columna de agua como presión útil².

Este criterio nos indica que debemos renovar aquellas tuberías que no permiten alcanzar la presión mínima mencionada en los lugares más alejados de la red, lo que no involucra necesariamente renovar de manera automática todas aquellas tuberías que no cumplen con la presión mínima antes señalada.

Si es necesaria la renovación de la tubería, deberá ser por otra de diámetro mayor, toda vez que la rehabilitación puede ser insuficiente para satisfacer un notable aumento de la demanda.

6.1.3 DETERIORO DE LA CALIDAD DE AGUA

Se manifiesta a través de la disminución de la calidad de agua provocada por las infiltraciones de sustancias o materias en las tuberías.

La tercera causa que puede impulsar la rehabilitación o renovación de las tuberías es la imposibilidad de cumplir con los criterios de calidad del agua, que fundamentalmente se manifiestan a través de un aumento de la turbidez, elevadas concentraciones de fierro y manganeso generadas por viejas tuberías de fundición y por un excesivo incremento bacteriológico.

Un caso que nos puede servir de ejemplo, aunque no ocurrió en el país, pero expresa la magnitud de los problemas que se generarían, es el incidente acontecido en la capital de los Estados Unidos, Washington D.C., en el año 1993³, donde en una determinada zona del país, el agua suministrada no alcanzaba los estándares de calidad exigidos por la normativa, por lo que hubo que prevenir a los ciudadanos acerca de ello, indicando la necesidad de hervir el agua para utilizarla para el consumo humano. El costo adicional ascendió a la suma de 24 millones de dólares, obtenido a partir

¹ Hirner W. "Maintenance and rehabilitation policies for urban watersystems". Water Management International 1997.

² Norma Técnica OS.050 "Redes de Distribución de Agua para Consumo Humano" aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006VIVIENDA, por medio del cual se Aprueban 66 Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). ³ EPA 1997.

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable*

de una estimación conservadora. La principal lección a aprender fue que tal dinero de nada sirvió, puesto que al final hubo que renovar por completo la red.

De las tres causas antes señaladas: i) problemas estructurales, ii) problemas hidráulicos y, iii) la falta de calidad del agua suministrada, la última es la más prioritaria, porque pone en riesgo la salud de la población obligando a los prestadores de servicios a dar una atención inmediata.

7. MÉTODOS DE PRIORIZACIÓN PARA APLICAR LA REHABILITACIÓN O RENOVACIÓN DE TUBERÍAS.

A continuación se presentan los métodos usados que ayudarán al prestador del servicio a tomar una decisión de rehabilitar o renovar una red de tubería.

7.1 MÉTODO POR INDICADORES DE DETERIORO

7.1.1 Método Hirner

Ese método propone una forma de medir el deterioro de la tubería a través del indicador $m^3/Kmhora$, que representa el caudal perdido por unidad de longitud.

Con el objeto de comparar el valor obtenido para la toma de decisiones y realizar la rehabilitación o renovación de las redes, Hirner³ propone éste método que proporciona valores guías, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Cuadro 2: Valores recomendados de fugas de agua específicas

Tipo de Suelo	Indicador específico de las pérdidas en $m^3/km - hora$	
	Valor Guía Inferior	Valor Guía Superior
Conglomerados	0.10	0.30
Arenoso	0.05	0.15
Rocosos	0.02	0.60

Fuente: Hirner W.

Con la antigüedad de las tuberías, este índice de fugas va en aumento y las roturas deben ser reparadas con mayor frecuencia. Por lo tanto, no se puede hablar en un sentido estricto de que la vida de una tubería tiene un determinado número de años, sino que debemos considerar su comportamiento.

7.1.2 Método Parsons

Un método alternativo al señalado anteriormente, es el propuesto por Parsons, 1997⁴, el cual es utilizado por la Water Services Regulation Authority (OFWAT) del Reino Unido, que propone una forma de medir el deterioro de la tubería a través del número de roturas por unidad de longitud (en Km) y durante un periodo de cuatro (04) años, de acuerdo a la siguiente escala:

³ Hirner 1997, Hirner W. "Maintenance and rehabilitation policies for urban watersystems". Water Management International 1997. Basadas en Normas Alemanas.

⁴ Parsons D.P. "Managing benefits of mains rehabilitation through structures surveys". Actas de IWSA workshop of Performance indicators and distribution systems. LNEC. Lisboa. 5-7 Mayo 1997.

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable***Cuadro 3: Valores guía recomendados**

Escalas	Rango (valores guía)
Índice 1 (comportamiento excelente)	Menor a 0,25 roturas/km.año.
Índice 2	Entre 0,25 y 0,5 roturas/km.año.
Índice 3	Entre 0,5 y 1,0 roturas/km.año.
Índice 4	Entre 1,0 y 2,0 roturas/km.año.
Índice 5 (comportamiento inaceptable)	Más de 2,0 roturas/km.año.

7.2 MÉTODO DE REGISTRO POR INCIDENCIAS

Actualmente, muchos prestadores establecen una serie de criterios para planificar de manera automática y con independencia del estado de la red, la renovación de las diferentes tuberías.

Cuadro 4: Criterios del método de registro por incidencias

CRITERIO

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable*

	Consideraciones generales	PUNTOS
	Edad de la tubería	
1.-	Más de 80 años de servicio	4
2.-	Entre 51 y 80 años de servicios	3
3.-	Entre 21 y 50 años de servicios	1
4.-	Hasta 20 años de servicios	0
	Historial de fugas y roturas	
5.-	Mínimo 2 por año o 3 en 5 años	2 por fuga
	Profundidad de la tubería en el interior de la zanja 6.-	
	Discrepancia con relación a la profundidad estándar	5
	Aspectos hidráulicos	
	Pérdida sección (envejecimiento) con relación al diámetro inicial	
7.-	Sección útil 3 o más diámetros normalizados con relación al inicial	3
8.-	Sección útil 2 diámetros normalizados con relación al inicial	2
9.-	Sección útil 1 diámetro normalizados con relación al inicial	1
	Diámetro insuficiente	
10.-	4" de diámetro en tubería sirviendo a un hidrante contra incendios	4
11.-	2" o menor, en tubería de suministro	3
12.-	3" en tubería de suministro	2
13.-	4" en tubería de suministro	1
	Capacidad de transporte (coeficiente C de Hazen Williams "C")	
14.-	Inferior a 70	4
15.-	Entre 70 y 79	3
16.-	Entre 80 y 89	2
17.-	Por encima de 90	1
	Aspectos relativos a la corrosión	
	Corrosión en la tubería, al menos de 5" de longitud de la conducción	
18.-	Orificios superiores al 75% del espesor de la pared.	5
19.-	Orificios entre el 50 y 75% del espesor de la pared.	3
20.-	Orificios inferiores al 75% del espesor de la pared.	0
	Resistencia del suelo en ohm-cm	
21.-	Inferior a 1000	3
22.-	Entre 1000 a 2000	1
23.-	Superior a 2000 Tubería galvanizada	0
		2
	Consideraciones Especiales	
	Presión en la zona	
24.-	Inferior a 40 psi (27 m.c.a)	4
25.-	Superior a 40 psi (27 m.c.a)	0
	Presión en la zona	
26.-	50 psi (34 m.c.a)	8
27.-	40 psi (27 m.c.a)	5
28.-	30 psi (20 m.c.a)	3
29.-	20 psi (13 m.c.a)	1
	Cambios de presión a introducir en los contornos de la zona	
30.-	6 meses	8
31.-	1 año	4

En el cuadro 4, se detallan los criterios utilizados para planificar la renovación de las tuberías propuesta por la American Water Works Association⁵, la cual plantea lo siguiente:

- a) En el caso que una tubería alcance los 10 puntos, esta deberá ser renovada o permanecerá en la lista de candidatas para renovación hasta que se haya llevado a cabo su sustitución.

⁵ AWWA (American Water Works Association), 1986 "Water Main Evaluation for Rehabilitation/ Replacement". AWWA Bookstore, Denver Colorado. USA.

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

- b) La tubería de mayor puntuación tendrá prioridad.
- c) El valor numérico asumido responde a los criterios y consideraciones de los mismos prestadores, que pueden ser asumidos inicialmente como punto de partida.

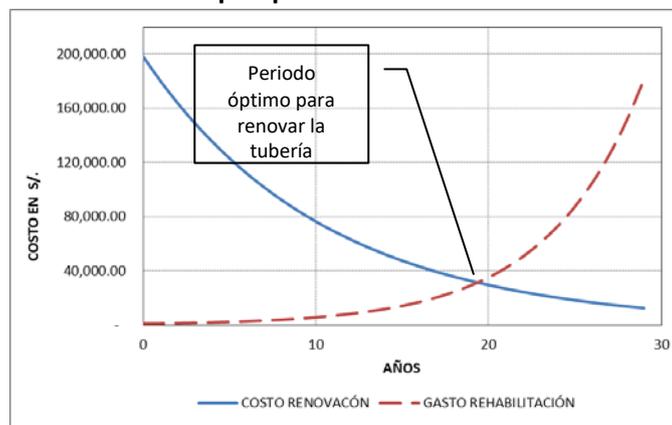
7.3 MÉTODO ECONÓMICO

A medida que las tuberías van envejeciendo el número de roturas que presentan por unidad de longitud aumenta⁶. Si se procede a la rehabilitación de todas las roturas que se van generando, los costos del mantenimiento de la distribución de agua aumentan con el tiempo, por lo que en algún momento será más conveniente renovar las tuberías, considerando únicamente criterios económicos.

De lo anteriormente señalado, resulta que el año más conveniente para renovar una tubería es aquel en que la suma del costo de rehabilitación resulta ser igual al costo de renovación, tal como se muestra en el gráfico 1.

La AWWA, propone una ecuación simplificada en función de la ecuación de Shamir y Howard que se presenta en el Anexo 1 y se puede aplicar directamente.

Consiste en determinar el número roturas que advierte la necesidad de renovar la tubería. Tal momento coincide, cuando el costo de rehabilitación C_r de todas las roturas se iguala al costo de renovación de la tubería C_s que se expresa con la siguiente ecuación:

Gráfico 1: Tiempo óptimo de renovación de tuberías

$$C_r = C_s$$

En donde:

$$C_r = N \times U \times P(i, j, n)$$

Siendo:

⁶ Shamir U., Howard C. (1977) - "An Analytic approach to scheduling pipe replacement". Journal of the American Water Works Association. Mayo 1979.

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable*

N : Número de roturas por unidad de longitud y tiempo.

U : Costo unitario de reparación de cada rotura.

P (i, j, n): Término que tiene en cuenta el precio del dinero “i”, el factor anual de crecimiento de roturas “j”, y el periodo de tiempo “n” en años, para los cuales se entiende que tiene vigencia el análisis que se efectúa.

Además, P (i, j, n) es un valor que viene dado por la siguiente relación:

$$P(i, j, n) = \frac{\left(1 - \frac{i}{1+M}\right)}{M}$$

Donde la variable auxiliar M es igual a:

$$M = \frac{i}{1+j}$$

M : Variable auxiliar en función del valor del dinero “i”, el factor anual de crecimiento de roturas “j”.

En el cuadro 5, se presentan algunos datos de los coeficientes que intervienen en las fórmulas anteriores, aunque esperamos que con el tiempo cada prestador de servicio disponga de su propia base de datos. Los valores han sido desarrollados por Shamir y Howard y corresponden a valores usados en los diferentes países europeos, para tuberías de 200 mm.

Cuadro 5: Valores orientativos de los parámetros que intervienen en el análisis económico

Parámetro	Unidades métricas (1000 m)	
	Valor Típico	Rango
Roturas por unidad de longitud	0.33	0.03 - 0.66
Crecimiento anual de roturas (j)	0.05	0.01 - 0.15
Valor del dinero (i)	0.03	0.02 - 0.07
Costo de una reparación (Euros)	800	500 - 1000
Costo de sustitución (Euros)	100,000	(0.6 - 1.6) 10 ⁵

Nota: El valor el dinero “i” puede considerarse igual a la inflación anual del país.

El valor “i” de la tabla corresponde a los valores de inflación del País.

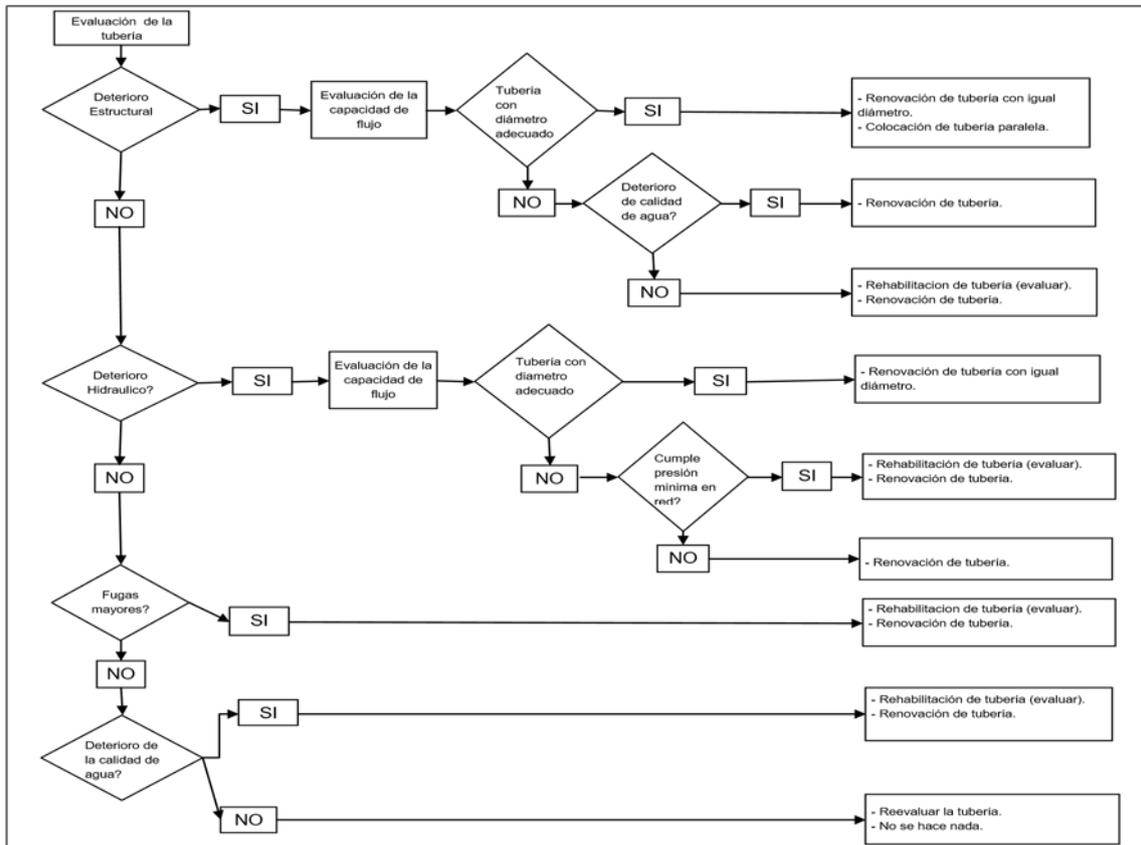
En el Anexo 2, se presenta un ejemplo para la aplicación de la metodología propuesta.

7.4 DIAGRAMA PARA ELECCIÓN DE REHABILITAR O RENOVAR

En el gráfico 2, se presenta un diagrama de flujo, de una sola entrada, donde se resumen todas las consideraciones presentadas en este capítulo y que debería ser analizadas por los prestadores de servicios a fin de determinar cuándo deben rehabilitar o renovar sus redes de distribución de agua potable.

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

Gráfico 2: Diagrama de flujo rehabilitación o renovación de la tubería de agua potable



8. PRINCIPALES MÉTODOS DE REHABILITACIÓN

8.1 MÉTODO DE LIMPIEZA NO AGRESIVOS

Estos métodos se utilizan principalmente cuando existen problemas de calidad estética del agua y se pretende eliminar depósitos sueltos o blandos de la tubería, causados normalmente por la sedimentación del agua distribuida por la acumulación de un producto de corrosión blando, que causan problemas de decoloración. También, pueden ser usados para controlar problemas de olores, entre otros.

Los principales métodos de limpieza no agresivos son:

1. Descarga de agua;
2. Arrastre con esponja; y,
3. Arrastre con aire.

Cuadro 6: Métodos de limpieza no agresivos

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

<input type="checkbox"/> La limpieza con métodos no agresivos pueden mejorar el flujo del agua cuando capas de musgo causan pérdidas de cargas importantes.	<input type="checkbox"/> Los métodos de limpieza no agresivos pueden hacer que exista un cierto deterioro de la calidad de agua transportada, durante el proceso de limpieza.
---	---

8.1.1 Método de descarga de agua

Objetivo: Eliminar depósitos sueltos de las tuberías.

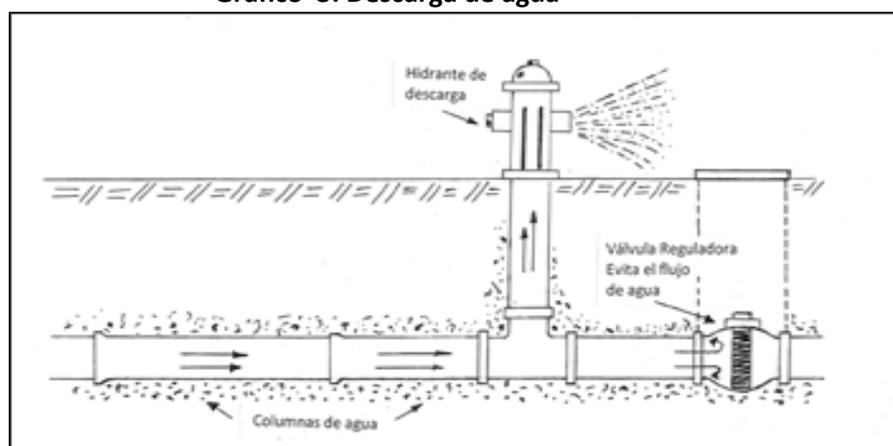
Descripción: Se trata de una técnica habitual utilizada con frecuencia, donde un hidrante o válvula de descarga es abierto hasta que un caudal adecuado descarga por la tubería. La circulación del agua provoca la suspensión y eliminación de depósitos.

Es posible limpiar grandes áreas del sistema de distribución de una sola vez; sin embargo para que el método sea efectivo, son necesarias operaciones con las válvulas a fin de dividir la red en un sistema ramificado, limpiándose el sistema de manera automática aguas abajo.

Rango de aplicación: Tuberías de pequeño diámetro (<150 mm) donde existe una presión aceptable.

Cuadro 7: Ventajas y desventajas del método de descarga de agua

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Es una operación simple que genera pocas molestias a los usuarios.• Es posible limpiar grandes áreas de una sola vez.	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> No es aplicable en redes con bajas velocidades de flujo.<input type="checkbox"/> No es eficiente para limpiar tuberías con incrustaciones.<input type="checkbox"/> Debe realizarse de manera ordenada para evitar problemas en la calidad de agua en otras partes de la red.

Gráfico 3: Descarga de agua

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable***8.1.2 Método de arrastre por esponja**

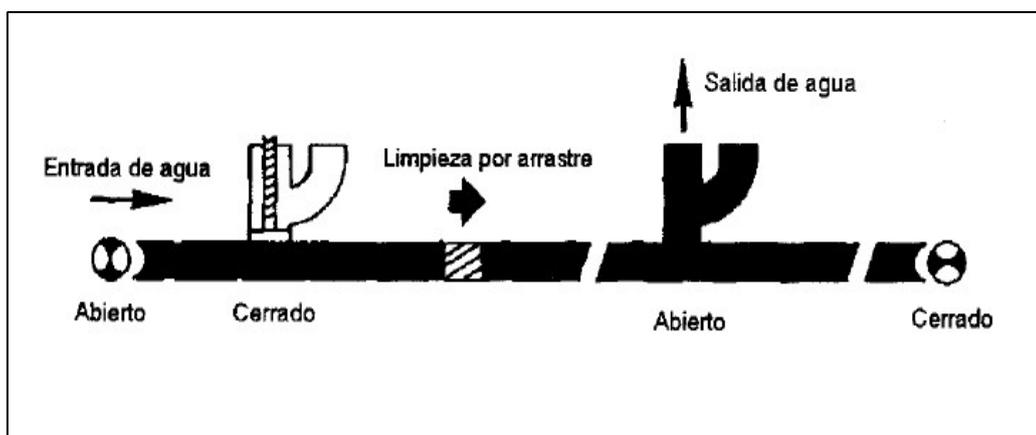
Objetivo: Eliminar depósitos sueltos en tuberías con paredes relativamente lisas, y limpiar tuberías nuevas previo a su desinfección.

Descripción: Técnica habitual donde un elemento cilíndrico de arrastre, normalmente fabricado de espuma plástica, es conducido por la presión del agua a lo largo de la tubería. Dicho elemento elimina los depósitos sueltos o blandos en su camino y elimina los elementos de mayor tamaño siempre que tenga paso libre. Se trata de una operación sencilla utilizando normalmente hidrantes existentes como puntos de inserción y de salida en tuberías de diámetros pequeños. Se pueden utilizar elementos de arrastre de diferentes durezas para propósitos distintos, pero debe tenerse cuidado en evitar dañar depósitos de corrosión duros que pueden resultar en decoloración.

Rango de aplicación: tuberías, independientemente del material, con diámetros mayores a 50 mm.

Cuadro 8: Ventajas y desventajas del arrastre por esponja

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">□ Es una operación simple que genera pocas molestias a los consumidores.	<ul style="list-style-type: none">• No debe utilizarse en tuberías con serias incrustaciones donde el arrastre es ineficiente, causando la desintegración del elemento de arrastre que puede provocar la obstrucción de las acometidas.• En tuberías de hierro existe la preocupación de que el arrastre pueda causar un deterioro temporal de la calidad de las aguas causadas por el deterioro de las incrustaciones, al mismo tiempo que puede causar el aumento de las concentraciones de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP) por el deterioro de los recubrimientos de alquitrán dañados.

Gráfico 4: Arrastre por esponja

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable***8.1.3 Método de arrastre por aire**

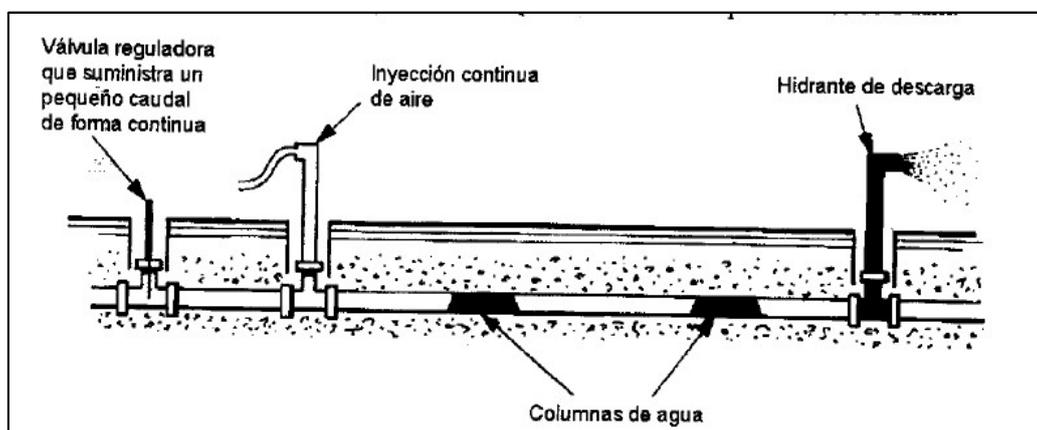
Objetivo: Eliminar los depósitos sueltos de las tuberías.

Descripción: Técnica que consiste en inyectar de manera controlada aire filtrado comprimido a través de los hidrantes en la corriente de agua, de manera que produce pequeñas masas de agua viajando a grandes velocidades. Estas columnas suspenden y eliminan depósitos sueltos. Operadores con experiencia pueden llegar a limpiar hasta 8 Km/día.

Rango de aplicación: Tuberías con diámetros comprendidos entre 75 mm y 200 mm.

Cuadro 9: Ventajas y desventajas del método de arrastre por aire

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Las molestias, suelen estar circunscritas al tramo de tubería que se está limpiando.• La longitud máxima que puede ser limpiada en una sola operación es de 1.00 Km.	<ul style="list-style-type: none">• A diferencia de las descargas de agua, los usuarios deben ser avisados y disuadidos de utilizar el servicio de agua potable durante la operación.• El método es difícil de aplicar en tuberías con pendiente contraria.• La limpieza puede causar deterioros temporales con coloración y aumentos de las concentraciones de hierro. Existe también la preocupación de que se incrementen las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

Gráfico 5: Arrastre por aire



Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

8.2 MÉTODOS DE LIMPIEZA AGRESIVOS

Pueden ser utilizados para eliminar cualquier tipo de incrustación del interior de las tuberías, retornándolas por lo tanto a su diámetro interior original. Todas estas técnicas han sido utilizadas para aliviar problemas de presiones y caudales insuficientes mediante la limpieza sin posterior recubrimiento.

La eliminación de incrustaciones sin recubrir posteriormente el interior de la tubería puede resultar en graves problemas de calidad del agua debido a la exposición de superficies corroídas cuando se eliminan las incrustaciones. Los principales problemas que se generan son: coloración, mayor actividad microbial y notables incrementos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) debido a su liberación del alquitrán de las tuberías enterradas. Mientras que la coloración puede ser solucionada mediante el uso de silicatos o polifosfatos, la calidad de agua sólo puede ser mejorada con recubrimiento o emplazamiento, a fin de cumplir con normas de calidad del agua.

El uso de estas técnicas, sin el posterior recubrimiento, debe considerarse con cuidado y pudiera restringirse a tuberías que transporten agua no potable; para el caso de agua potable, es necesario el recubrimiento.

Los principales métodos de limpieza agresivos son:

1. Inyección de agua a alta presión;
2. Arrastre por presión; y,
3. Bala abrasiva a descarga de agua.

Cuadro 10: Ventajas y desventajas del método de limpieza agresivos

Ventajas	Desventajas
<input type="checkbox"/> Alivia problemas de presiones y caudales insuficientes.	<input type="checkbox"/> Los métodos de limpieza agresivos pueden generar graves problemas de calidad de agua transportada.

8.2.1 Método de inyección de agua a alta presión

Objetivo: Eliminar todo tipo de depósitos incluyendo las incrustaciones en tuberías de fierro.

Descripción: Técnica utilizada que consiste en insertar una manguera que proporciona un chorro de agua a alta presión a través de una entrada practicada en la tubería. Dependiendo de la presión aplicada, se eliminan simplemente los depósitos blandos y sueltos o pueden eliminarse también incrustaciones duras. La técnica puede también ser utilizada para eliminar pequeños tramos de revestimiento no estructural viejo, dañado, o defectuoso antes de aplicar un nuevo revestimiento. La presión a la entrada debe estar limitada a 200 bares para evitar posibles daños a la tubería.

En tuberías de hierro la técnica puede causar importantes problemas de calidad del agua debido a la corrosión del fierro en zonas con incrustaciones, actividades microbiales intensificadas e incrementos en los niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) si los revestimientos de alquitrán se encuentran expuestos.

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

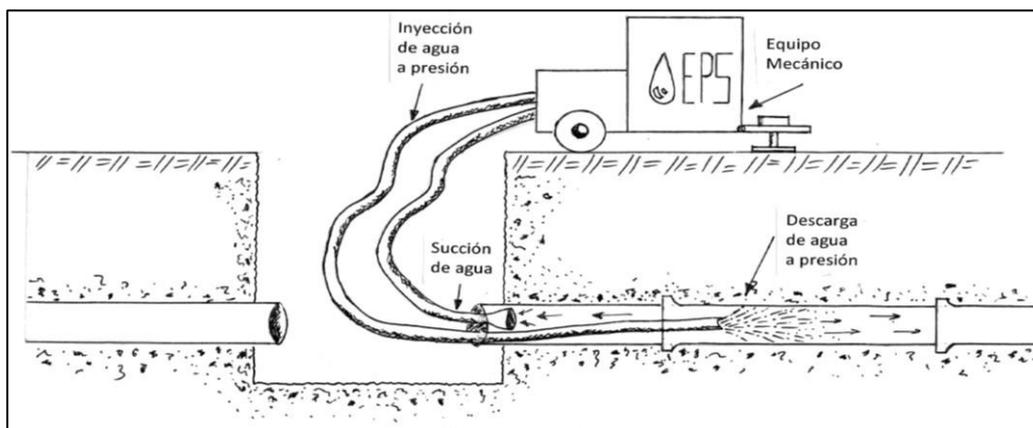
Para asegurar el cumplimiento de la normativa de calidad de agua se recomienda no utilizar la limpieza mediante inyección de agua sin el posterior recubrimiento.

Rango de aplicación: Tuberías de 75 a 200 mm de diámetro. La mayoría de los accesorios pueden ser limpiados in situ, pero los codos con ángulos superiores a los 22.5° es conveniente que sean retirados y utilizados como puntos de acceso.

Cuadro 11: Ventajas y desventajas del método de inyección de agua a alta presión

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">□ Puede conseguirse la limpieza de 200 a 300 m diarios, mediante orificios de entrada cada 100 m.	<ul style="list-style-type: none">• Los usuarios deben ser avisados y disuadidos de utilizar el servicio de agua potable durante la operación.• Los métodos de limpieza agresivos pueden generar graves problemas de calidad de agua transportada.

Gráfico 6: Inyección de agua a alta presión



8.2.2 Método de arrastre por presión

Objetivo: Eliminar todo tipo de depósitos incluyendo incrustaciones de las tuberías.

Descripción: Técnica ya conocida y ampliamente utilizada para limpieza de tuberías de gran diámetro con carácter previo a su revestimiento.

El arrastre por presión supone el empuje de una unidad de arrastre o rascado, o una bala a lo largo de la tubería utilizando la presión del agua. La unidad de arrastre consiste de un chasis cilíndrico al que se acoplan láminas de acero. Pueden acoplarse hasta quince láminas dispuestas de manera que exista una superposición considerable que permita la eliminación de las incrustaciones. El rascador ajusta sin holgura con las paredes de la tubería.

Se coloca un cierto material textil entre las láminas para construir aún más el paso del agua y por tanto incrementar la diferencia de presiones entre los extremos de la unidad de arrastre aumentado en consecuencia la velocidad de la misma.

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

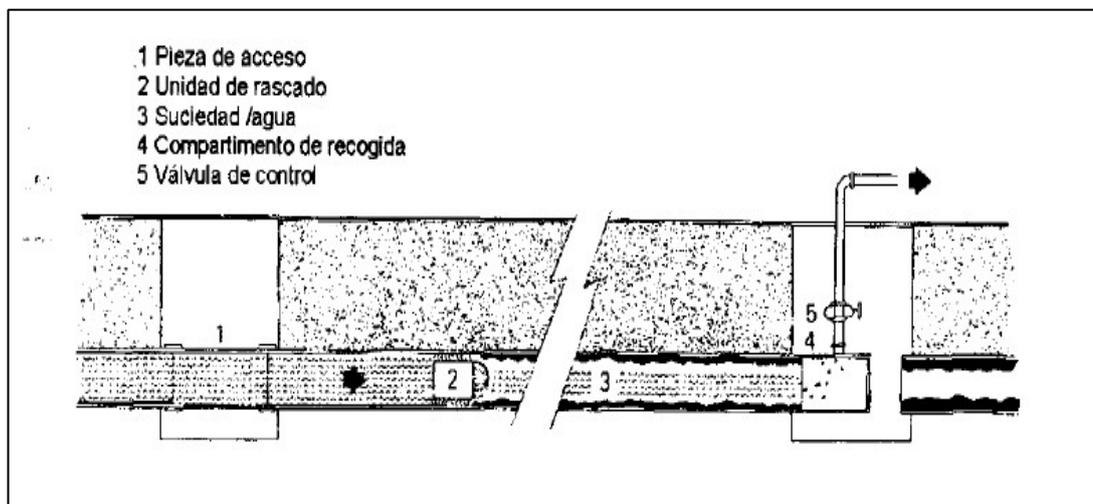
Una sección de la tubería, ligeramente más larga que la unidad de rascado es extraída para colocar la pieza en su interior. La operación de ajuste puede ser utilizada para limpiar la sección de tubería, o de manera alternativa puede ser limpiada a mano con anterioridad al ajuste de la bala. Posteriormente se coloca el tramo de tubería ajustando mediante una unión flexible. Para lograr que se mueva la unidad arrastre se abre una válvula de control aguas arriba y conforme la presión va subiendo, la unidad de rascado avanza. La velocidad ideal esta en torno a 1 Km/h y está controlada por la válvula de descarga.

Rango de aplicación: Tuberías con diámetros superiores a 450 mm.

Cuadro 12: Ventajas y desventajas del método de arrastre por presión

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• El proceso puede realizarse de noche para minimizar los posibles problemas de suministro de agua y asegurar que se disponga de los máximos caudales y presiones posibles.• El avance de la unidad de rascado, puede ser oída a lo largo de la tubería, lo que permite que el operador haga el seguimiento de su aplicación.	<ul style="list-style-type: none">• Se necesita una presión mínima de 2.1 bares ⁷ para mover la unidad de arrastre.• Teóricamente es posible limpiar varios kilómetros de tubería en una sola operación; sin embargo, esto raramente se consigue debido a las reducciones en diámetro que se dan antes y después de las válvulas de regulación, que imposibilitan el paso del rascador.• El método puede causar importantes problemas de calidad del agua.

Gráfico 7: Arrastre por presión



⁷ Nota: 2.1 bares equivale a 21.414040472536 mca (metros de columna de agua).

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable***8.2.3 Método de bala abrasiva**

Objetivo: Eliminar toda clase de depósitos incluyendo las incrustaciones de las tuberías de agua.

Descripción: Técnica posterior a las anteriores que implica el arrastre de varias balas abrasivas a lo largo de la tubería. Las balas, debido a la naturaleza flexible de su construcción pueden eliminar las incrustaciones mediante rascado o abrasión. La fuerza necesaria para moverlas es proporcionada por las diferencias de presión, ya sea de aire o de agua. En la tubería la velocidad de desplazamiento se controla para asegurar la máxima eficacia en la eliminación de incrustaciones y una mayor vida para la bala. La operación de arrastre se efectúa varias veces de manera progresiva, incrementando el tamaño de la bala, desde la sección eficaz de paso hasta el diámetro nominal de la tubería.

Una vez terminada la operación de arrastre, la tubería es frotada y desinfectada antes de volver a ser puesta en servicio. Es posible añadir compuestos químicos tales como polifosfatos o silicatos para reducir la coloración a corto plazo.

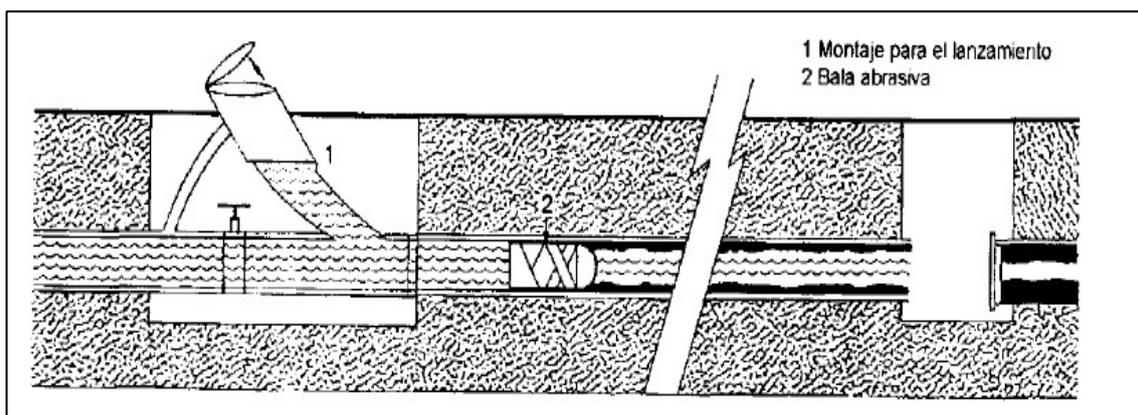
Como excepción en el uso de esta metodología, después de la limpieza del carbonato de calcio acumulado en las tuberías que transportan agua dura, se puede dejar una capa calcificada para proteger a la tubería de un deterioro posterior.

Rango de aplicación: Tuberías mayores a 75 mm.

Cuadro 13: Ventajas y desventajas del método bala abrasiva

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">□ Es posible limpiar distancias considerables en una sola operación (hasta 2 Km) con aperturas tan solo para la entrada y salida de la bala.	<ul style="list-style-type: none">• Se necesita una presión mínima de 2,1 bares para mover la unidad de arrastre.• La técnica puede causar importantes problemas de calidad del agua.

Gráfico 8: Bala abrasiva





Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

8.3 MÉTODOS DE REVESTIMIENTO NO ESTRUCTURAL

El recubrimiento no estructural implica la eliminación de todos los depósitos del interior de la tubería, seguido de la aplicación de un recubrimiento para la protección contra la corrosión. Los métodos de raspado utilizados en la preparación para el recubrimiento no estructural o recubrimiento estructural son: el taladrado, arrastre y el raspado a presión.

El recubrimiento no estructural es normalmente mucho más económico que el recubrimiento estructural y que el reemplazo de la tubería, particularmente en zonas urbanas donde también causa menores molestias. El material más usado para recubrimiento es el mortero de cemento, que proporciona protección contra la corrosión generando un entorno altamente alcalino entre los poros del cemento o del fierro que evita la corrosión.

Pese a su uso efectivo durante los últimos 60 años, el uso del cemento Portland ha empezado a cuestionarse recientemente debido a posibles mermas en la calidad del agua causadas por un incremento del pH. Una posible solución al problema, es la utilización de un material alternativo para revestimiento. El uso de resinas epoxy suelen proporcionar un revestimiento liso con una capacidad de transporte hidráulico excelente. Aplicados de manera correcta, este material proporciona protección contra la corrosión aislando la tubería del agua transportada sin ningún efecto sobre la calidad de la misma.

La elección del material de revestimiento no estructural dependerá de la calidad del agua transportada, de la vida útil esperada del revestimiento y de las condiciones hidráulicas requeridas.

Cuadro 14: Ventajas y desventajas del método de revestimiento no estructural

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> □ Los sistemas de revestimiento no estructural son más económicos comparados con los revestimientos estructurales y el reemplazo de las tuberías. 	<ul style="list-style-type: none"> □ Este tipo de recubrimiento no tiene ningún efecto sobre la corrosión externa y no proporciona mayor fortaleza estructural a una tubería ya debilitada por problemas graves de corrosión externa o interna.

8.3.1 Método de mortero cemento

Objetivo: Eliminar todos los depósitos del interior de una tubería existente y proporcionar un revestimiento suficientemente liso que lo proteja interiormente de la corrosión.

Descripción: Es una técnica que consiste en el raspado de las paredes interiores de la tubería, eliminando todos los depósitos mientras que el cemento es aplicado a modo de spray. Para tuberías de pequeño diámetro normalmente se requiere excavaciones cada 100 ó 150 m. El recubrimiento puede ser pulido para mejorar el rendimiento hidráulico. Una vez aplicado el recubrimiento debe reposar de 16 a 24 horas, para posteriormente ser clorado y lavado antes de volver a poner la tubería en servicio.

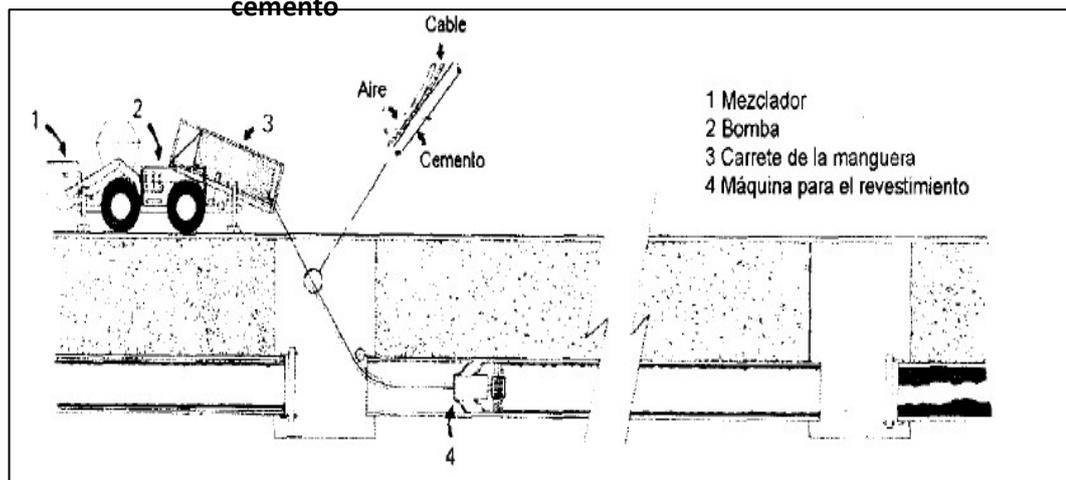
Cuadro 15: Ventajas y desventajas del método mortero cemento

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

Ventajas	Desventajas
<p>□ Todas las tuberías de fierro pueden ser revestidas excepto aquellas con condiciones estructurales pobres.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Debido al efecto que el recubrimiento puede tener sobre el pH del agua transportada, el recubrimiento mediante mortero de cemento no se recomienda para el transporte de aguas con alcalinidades por debajo de 35 mg/l CaCO₃.• Dado que revestimiento aplicado es relativamente grueso y poco liso su uso en tuberías de diámetros pequeños (<150 mm) puede disminuir la capacidad de transporte hidráulico.

Rango de aplicación: El mortero de cemento puede ser aplicado a tuberías de diámetros superiores a 75 mm.

Gráfico 9: Revestimiento con mortero cemento



8.3.2 Método resina Epoxi

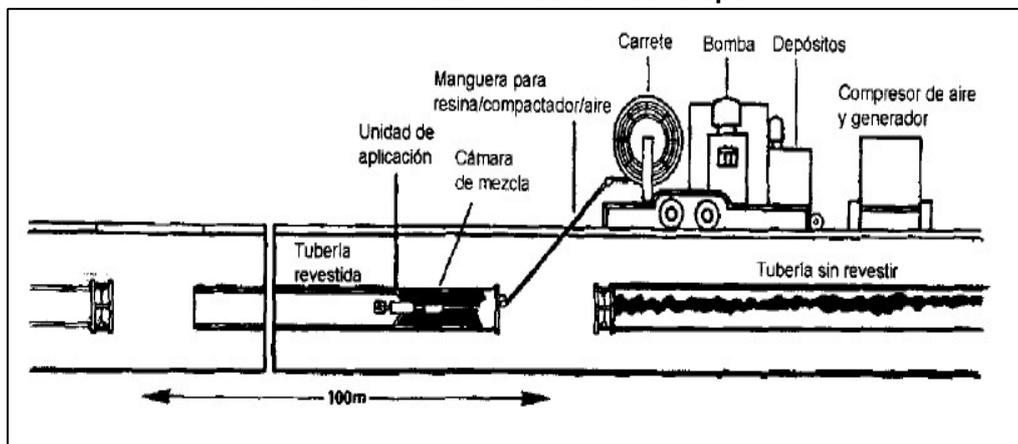
Objetivo: Eliminar todos los depósitos del interior de una tubería existente y proporcionar una superficie resistente a la corrosión.

Descripción: Técnica que consiste en el raspado interior de la tubería, eliminando todos los depósitos, mientras la resina es aplicada en la superficie a modo de spray. La resina y los componentes de endurecimiento son bombeados por separado hacia un mezclador estático que se encuentra en el interior de la tubería; desde el cual se lanza a las paredes de la tubería. Se requieren excavaciones a intervalos de 100 ó 120 m para el acceso. El recubrimiento es de poco espesor y con un acabado liso, mejorando el rendimiento hidráulico. Una vez aplicado el recubrimiento se deja reposar como mínimo 16 horas, para posteriormente ser clorado y lavado para su puesta en servicio.

Rango de aplicación: Tuberías de fierro, acero y fibrocemento excepto aquellas que tienen deterioro estructural. La resina epoxy puede ser aplicada a tuberías con diámetros comprendidos entre los 75 y 450 mm.

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable***Cuadro 16: Ventajas y desventajas del método resina epoxi**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• El recubrimiento es de poco espesor y de superficie lisa, mejorando el rendimiento hidráulico.• La vida útil estimada sobrepasa los 75 años y no existen problemas de pH en el agua, lo que lo hacen muy apropiado para tuberías con diámetro pequeño.	<ul style="list-style-type: none">□ Aunque la resina puede ser aplicada en tuberías de mayor diámetro (> 225 mm) el costo del material hace desaconsejable su uso cuando se compara directamente con el de revestir la tubería con mortero de cemento.

Gráfico 10: Revestimiento con resina epoxi**8.4 MÉTODOS DE REVESTIMIENTO ESTRUCTURAL**

El revestimiento estructural de tuberías de agua implica la eliminación de todos los depósitos del interior de una tubería seguida de la inserción de un revestimiento estructural.

Los principales métodos de revestimiento estructural se clasifican en los siguientes grupos:

1. **Métodos de entubado**, que consiste en introducir una tubería de plástico flexible dentro de la tubería a ser revestida.
2. **Métodos de encamisado**, que consiste en introducir un recubrimiento flexible dentro la tubería.
3. **Inserción de manguera geotextil**, que consiste en introducir una manguera geotextil que se deja suelta dentro de la tubería.

En términos de resistencia mecánica se han definido tres categorías funcionales distintas de revestimiento. Algunos métodos de revestimiento pueden ser usados para diferentes categorías funcionales y por tanto se encuentran en más de una categoría.

1. **Refuerzo**, el revestimiento y la tubería a rehabilitar trabajan como un solo cuerpo, evitando el fallo de la tubería.



Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

- 2. **Sustitución**, el revestimiento funciona como una tubería flexible independiente dentro la tubería que va a ser renovada. No depende de la tubería original para su fijación externa.
- 3. **Detección de fugas**, el revestimiento soluciona fallos locales de la tubería evitando las fugas y manteniendo los valores de caudal.

Es necesario comprender, lo que ofrece cada método a la hora de decidir cuál utilizar en una aplicación en particular. También es esencial, conocer en detalle la integridad mecánica de la tubería a ser renovada y su vida útil restante.

Cuadro 17: Ventajas y desventajas del método revestimiento estructural

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Se puede aplicar en aquellos sitios donde el acceso a la tubería es difícil. • Se puede utilizar en tuberías que puedan colapsar debido a problemas estructurales y fugas. 	<ul style="list-style-type: none"> □ Puede haber una pérdida de la sección transversal de la tubería, reduciendo la capacidad de transporte de la línea.

8.4.1 Método de entubado

Objetivo: Eliminar todo los depósitos del interior de la tubería existente e insertar una nueva tubería flexible dentro de la misma.

Descripción: Técnica que consiste en la inserción de una tubería de polietileno de media densidad dentro de una tubería existente. Para permitir la inserción de la tubería de polietileno es necesario retirar un tramo de la tubería existente.

Evidentemente la inserción de la nueva tubería de polietileno reduce considerablemente el diámetro interno de la tubería existente. Para reducir la pérdida del diámetro interno se han desarrollado nuevos métodos de entubado, que consisten en eliminar los espacios vacíos entre la tubería existente y la tubería nueva de polietileno, maximizando el diámetro final.

Este método consiste en hacer pasar la tubería de polietileno a través de un conjunto de cilindros, ya sea con o sin aplicación de calor, para reducir su diámetro antes de insertarlo a la tubería existente. Una vez insertada la tubería de polietileno se devuelve al diámetro original de manera natural o mediante presión interna. El diámetro original debe ser escogido de manera que el ajuste interno sea correcto.

Rango de aplicación:

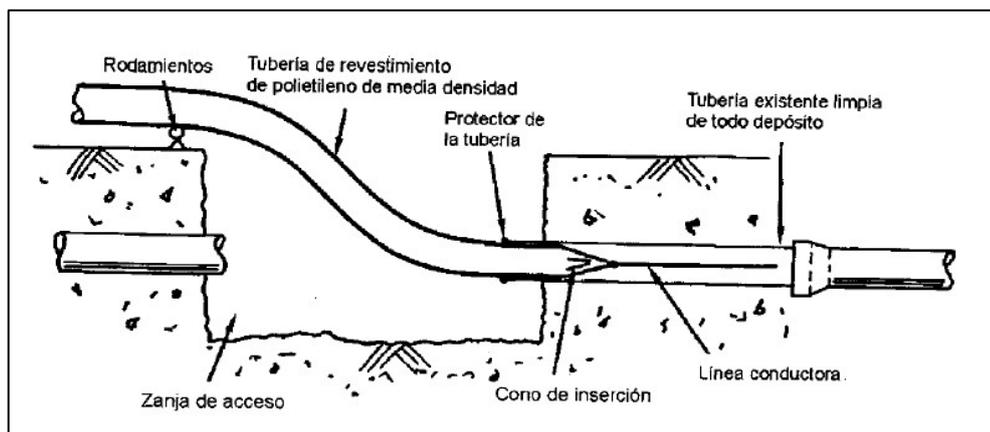
- Es posible revestir tuberías de cualquier diámetro.
- Como revestimiento, solo pueden utilizarse tuberías de polietileno de media densidad.

Cuadro 18: Ventajas y desventajas del método de entubado

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

<ul style="list-style-type: none">• Pueden revestirse tuberías de cualquier tipo de material.• Permite prolongar la vida útil de la tubería existente.	<ul style="list-style-type: none">• En el caso de que las tuberías tengan muchas ramificaciones, codos, accesorios, conexiones de servicio, entre otros, el entubado puede ser impracticable.• Las tuberías que se revestirán deben ser relativamente rectas. Todos los codos, accesorios, y tomas de servicio deben ser alcanzadas excavando.• La localización de fugas y roturas se volverá difícil ya que serán encubiertas por la vieja tubería. La manifestación de la fuga puede darse a bastante distancia de la localización del fallo.
---	---

Gráfico 11: Métodos de entubado**8.4.2 Método de encamisado (adhesivo)**

Objetivo: Eliminar todos los depósitos del interior de la tubería existente y proporcionar un revestimiento liso, resistente a la corrosión y a las fugas.

Descripción: Técnica que consiste en la inserción de un recubrimiento “suave” en el interior de la tubería, que es empujada hacia las paredes de la tubería por la presión de agua o aire. El recubrimiento está saturado o recubierto con una resina epoxy o de poliéster y una vez instalado se deja que se cure a temperatura ambiente o incluso se puede aplicar calor, para lo cual se puede utilizar agua caliente o vapor. Existen otros sistemas alternativos de curado tales como la luz ultravioleta.

La naturaleza de estos métodos asegura un contacto directo con las paredes de la vieja tubería, de esta manera se reduce la pérdida diámetro interno de la tubería existente.

La resina se utiliza para adherir el revestimiento a las paredes de la tubería.

En el caso de existir un fallo en la tubería, por ejemplo debido a movimientos de tierras, la resina perderá contacto alrededor de la fractura, lo que permite que el revestimiento soporte amplios movimientos angulares y longitudinales manteniendo la presión y la función estructural de la

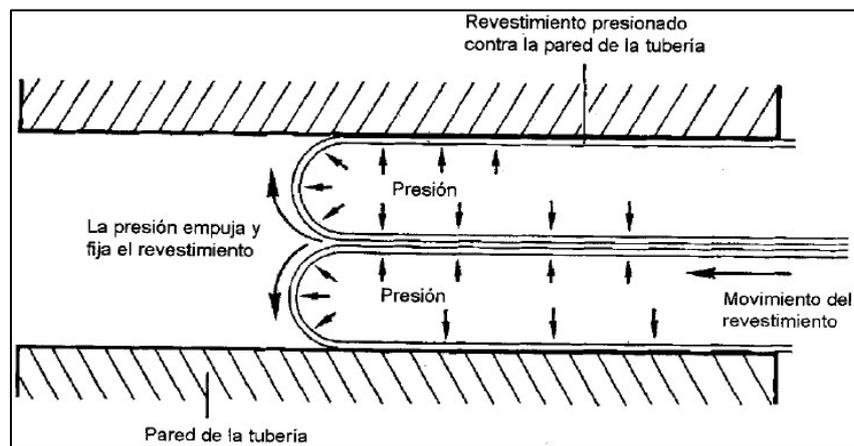
Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

tubería. Los agujeros debidos a la corrosión externa también serán cerrados; por lo que esta técnica de renovación incrementará la vida útil de una tubería expuesta a la corrosión externa.

Rango de aplicación: Tuberías de cualquier tipo de material con diámetros comprendidas entre los 100 y los 1000 mm dependiendo del sistema utilizado.

Cuadro 19: Ventajas y desventajas del método de encamisado (adhesivo)

Ventajas	Desventajas
<input type="checkbox"/> Se prolonga la vida útil de la tubería existente.	<input type="checkbox"/> No es recomendable utilizarla en diámetros menores a 100 mm. Además, la capacidad de transporte hidráulica se puede reducir significativamente.

Gráfico 12: Métodos de encamisado**8.4.3 Método de inserción de manguera de Geotextil (no adhesiva)**

Objetivo: Eliminar todos los depósitos del interior de la tubería y proporcionar un revestimiento liso que prevenga las fugas.

Descripción: Existen principalmente dos técnicas, las conocidas como “Tubein” y “Tuff Tube”. Ambas técnicas requieren la inserción de una manguera, de similar resistencia a la presión que la tubería que va a ser renovada. La técnica no implica la fijación del revestimiento salvo en el caso de juntas y transiciones.

El desarrollo de estos métodos ha surgido de la necesidad de prevenir las fugas en las juntas de las tuberías de agua, por lo que no se ha prestado mucha atención a los efectos sobre la corrosión interna y externa, aunque no existen datos sobre cómo pueden proteger de la corrosión interna, es probable que el ritmo de corrosión se reduzca considerablemente.

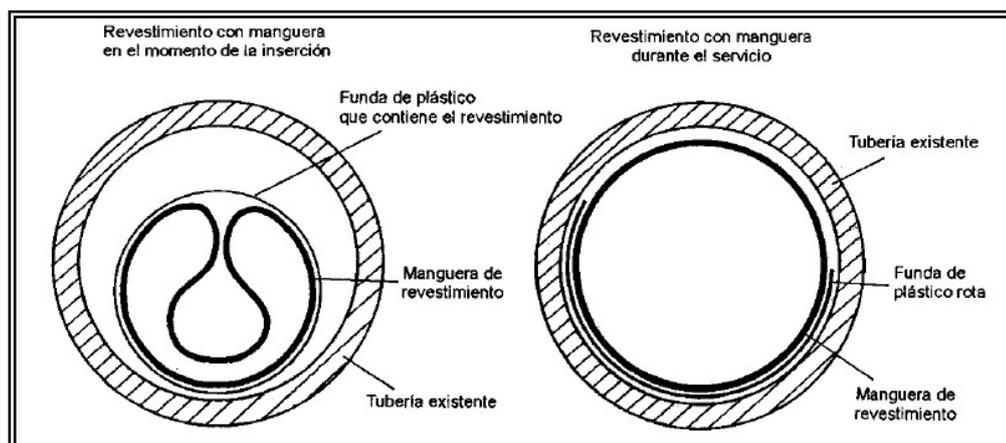
Rango de aplicación: Tuberías de cualquier tipo de material, a partir de 75 mm de diámetro.

Cuadro 20: Ventajas y desventajas del método de inserción de manguera de geotextil

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

<ul style="list-style-type: none">• Este método es más económico que el encamisado.• Permite utilizar mangueras de presiones de trabajo muchos mayores a la tubería a ser renovada, mejorando su capacidad hidráulica.	<ul style="list-style-type: none">• La falta de adhesión de la manguera a la tubería puede tener desventajas. Es posible que aguas subterráneas y/o material del suelo, que no hayan sido expulsadas una vez que la presión se haya restablecido, penetren en la tubería. Esto puede ocasionar la posterior corrosión de la tubería existente.• La localización de las fugas y roturas puede resultar difícil ya que serán ocultadas por la vieja tubería. La manifestación de la fuga puede darse a una distancia considerable de la localización de la misma.
---	--

Gráfico 13: Revestimiento con manguera geotextil**8.4.4 Método fragmentación de tubería**

Objetivo: Reemplazar una tubería sin tener que realizar excavaciones de zanja a largo del tendido de la misma. El método proporciona la posibilidad de instalar una tubería de diámetro igual o superior a la existente.

Descripción: Técnica consiste en romper la tubería existente y ampliar la cavidad dejada por la misma, para instalar una nueva tubería. El equipo de demolición utilizado, puede ser accionado hidráulica o neumáticamente, se desplaza a lo largo de la tubería existente, rompiéndola y compactando los fragmentos rotos con el suelo colindante. Inmediatamente después se instala una tubería de camisa de pequeño espesor (de ser necesario) o la tubería nueva que es jalada por el equipo demolición ocupando la cavidad creada, sin la necesidad de un trabajo de excavación mayor. Ambas tuberías (la de camisa y la nueva) pueden ser de polietileno.

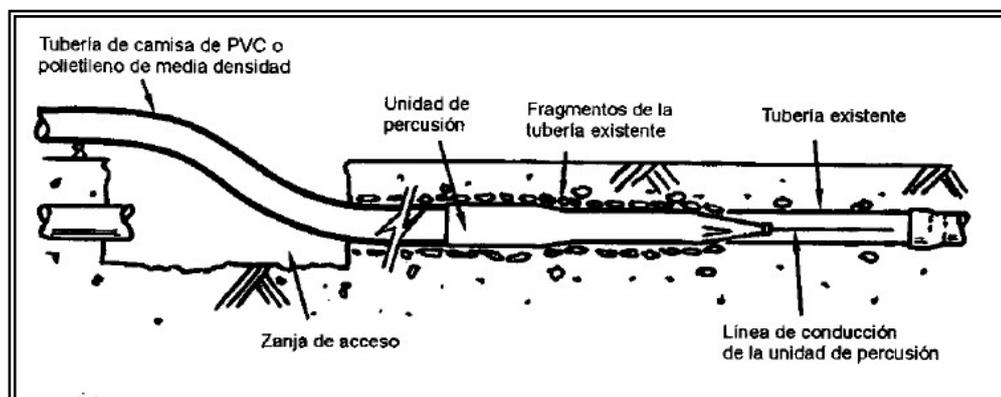
Rango de aplicación: El método es efectivo para renovar tuberías de cualquier tipo de material. Las renovaciones más usuales van hasta 450 mm.

Cuadro 21: Ventajas y desventajas del método de rotura de tubería

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

<ul style="list-style-type: none">• Este método se utiliza en lugares donde es difícil realizar grandes excavaciones (zonas de alto flujo vehicular).• Puede ser más económicos que el método tradicional de sustitución de tuberías.• Se puede renovar cualquier tipo de tubería.• Menor plazo de ejecución.• Menores inconvenientes sociales (tráfico, comercio y otros).• Menor impacto ambiental.• Menores interferencias con los servicios afectados.• Manejo de los equipos con poco personal.• Se requiere poco espacio de trabajo.	<ul style="list-style-type: none">• Solo se deben utilizar materiales flexibles para la tubería de reemplazo.• Las tuberías, accesorios y elementos de fundición o acero, no pueden ser rotas de manera efectiva.• Los accesorios de la tubería y los anclajes de concreto deben ser retirados.• Cuando el material del entorno sea concreto impedirá o detendrá el progreso del equipo de demolición.• Las conexiones laterales deben ser desconectadas con anterioridad a los trabajos de demolición para prevenir daños.• Se debe localizar y desmontar los codos con anterioridad al comienzo de los trabajos.• No se recomienda para renovación de tuberías instaladas superficialmente (profundidad menor a 0.90 m).
--	--

Gráfico 14: Métodos de fragmentación de tubería**8.4.4.1 Método de fragmentación de tubería dinámica**

Objetivo: Reemplazar una tubería existente, por una tubería de diámetro igual o superior a la existente, en el mismo trazado.

Descripción: Técnica que consiste en romper la tubería existente con un cabezal de corte y al mismo tiempo compactarla radialmente en el terreno. Los materiales frágiles son destrozados y los materiales dúctiles son cortados. Al mismo tiempo se va introduciendo la tubería nueva, que puede ser del mismo diámetro o superior a la existente. La energía de golpe está apoyada para la sustitución de tuberías por un cabrestante o winche con energía con motor eléctrico o hidráulico.

Rango de aplicación: Las renovaciones más usuales van de 130 mm a 450 mm.

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable***Cuadro 22: Ventajas y desventajas del método de fragmentación de tubería dinámica**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• No es necesario limpiar la tubería existente de obstáculos o raíces.• La tubería existente es utilizada como cama por la tubería nueva.	<ul style="list-style-type: none">• Solo para reemplazar tuberías existentes de materiales frágiles (hormigón, PVC, fundición dúctil).• Requiere de la limpieza interior de la tubería nueva antes de su puesta en marcha.• Un mal funcionamiento del cabrestante o winche puede causar ruidos molestos.

Gráfico 15: Métodos de fragmentación de tubería dinámica**8.4.4.2 Método de fragmentación de tubería estática**

Objetivo: Reemplazar una tubería existente, en terrenos de fácil compactibilidad y con tuberías existentes de materiales dúctiles.

Descripción: Técnica que se inicia con la instalación de una plataforma hidráulica que empuja unas barras por el interior de la tubería existente, que servirán de guía. En esta plataforma se montan los accesorios de rotura, expansión y la tubería nueva. Durante el tiro de las barras se añade una cabeza de rotura o una cuchilla de corte que rompen la tubería vieja y al mismo tiempo se instala la nueva tubería del mismo o mayor diámetro.

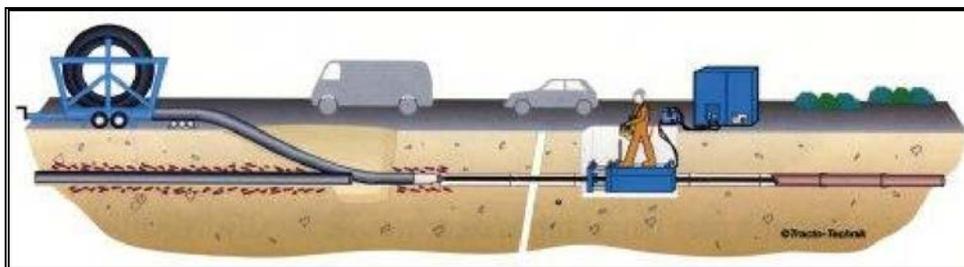
Rango de aplicación: Las renovaciones más usuales van de 130 mm a 450 mm.

Cuadro 23: Ventajas y desventajas del método de rotura de tubería dinámica

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

<ul style="list-style-type: none">• No es necesario limpiar la tubería existente de obstáculos o raíces.• La tubería existente es utilizada como cama por la tubería nueva.	<ul style="list-style-type: none">• Solo para reemplazar tuberías existentes de materiales dúctiles (hormigón, gres, PVC, fundición dúctil, cemento asbesto).• Requiere terrenos de fácil compactibilidad.• Requiere de la limpieza interior de la tubería nueva antes de su puesta en marcha.• Un mal funcionamiento del cabrestante o winche puede causar ruidos molestos.
--	---

Gráfico 16: Métodos de rotura de tubería estática**9. PRINCIPALES MÉTODOS DE RENOVACIÓN**

Los métodos que pueden ser utilizados para la renovación de tuberías pueden dividirse en:

1. Técnicas con zanja; y,
2. Técnicas sin zanja

Existen diversos materiales que pueden ser utilizados para la instalación de nuevas tuberías, las principales son: PVC, fierro fundido, fibrocemento, polietileno de media densidad, acero, poliéster reforzado con fibra de vidrio y el concreto reforzado.

9.1 MÉTODO CON ZANJA**9.1.1 Método de zanja convencional**

Objetivo: Instalar una nueva tubería de cualquier tipo de material, en el mismo lugar de la tubería existente.

Descripción: Es una técnica universalmente conocida que permite instalar tuberías de agua excavando una zanja que lo albergue.

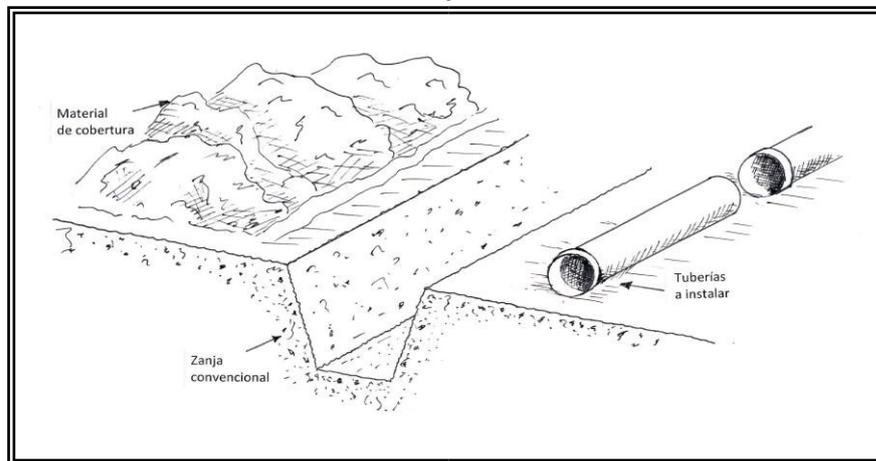
Rango de aplicación: Instalación de tuberías de cualquier diámetro y en cualquier condición de terreno.

Cuadro 24: Ventajas y desventajas del método de zanja convencional

Ventajas	Desventajas
-----------------	--------------------

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

<p>□ Las tuberías pueden ser reemplazadas siguiendo un nuevo trazo y/o un nuevo nivel.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Causa una mayor molestia social.• Es necesario el apoyo especialistas o técnicas de evacuación de agua en suelos saturados.• Los costos elevados, debido a excavación masiva.
--	---

Gráfico 17: Zanja Convencional**9.1.2 Método de zanja estrecha**

Objetivo: Instalar una nueva tubería, minimizando las molestias y los costos de excavación, dado que la zanja excavada es ligeramente más ancha que el diámetro exterior de la tubería.

Descripción: Es una técnica que requiere excavar una zanja estrecha que puede ser realizada por excavadoras convencionales con palas de menor tamaño o máquinas especializadas. La instalación de la tubería se lleva a cabo desde la superficie, de manera que los materiales utilizados deben ser flexibles y capaces de ser unidos en superficie para posteriormente ser instalados en la zanja preparada desde el nivel superior.

Rango de aplicación: Tuberías de hasta 300 mm de diámetro. Para tuberías de diámetros mayores, puede que se requiera equipo especializado.

Cuadro 25: Ventajas y desventajas del método de zanja estrecha

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

<ul style="list-style-type: none">• Ahorro en los costos de excavación y reposición.• Reduce molestias a la población.• Es adecuada en campo abierto o carreteras rurales.• Se puede renovar cualquier tipo de tubería.• Menor plazo de ejecución.• Menores costos.• Menores inconvenientes sociales (tráfico, comercio).• Menor impacto ambiental.• Menor interferencia con los servicios afectados.• Manejo de los equipos con poco personal.• Se requiere poco espacio de trabajo.	<ul style="list-style-type: none">• Limitado a la utilización de tuberías de materiales que puedan ser pre-unidos en la superficie.• Los accesorios de la tubería y los anclajes de concreto deben ser retirados.• El método está limitado si se necesitan muchas conexiones, ya que se requieren excavaciones adicionales para cada conexión individual.• El método no es efectivo si existe una densidad alta de otros servicios enterrados; es necesario localizar estas instalaciones con anterioridad.• La profundidad máxima de excavación es de 1.20 m.• Puede ser necesario un equipo específico de compactación.
---	--

Gráfico 18: Zanja Estrecha**9.2 MÉTODO SIN ZANJA****9.2.1 Método de perforación horizontal dirigida**

Objetivo: Instalar una nueva tubería sin apertura de zanjas, minimizando las molestias.

Descripción: Es una técnica de perforación empleada para la instalación de tuberías que evita la apertura de zanjas a cielo abierto minimizando el movimiento de tierras.

Se utiliza para librar obstáculos naturales o artificiales sin afectar al terreno, con lo cual se garantiza la mínima repercusión medioambiental en la ejecución del trabajo.

Esta tecnología opera mediante una máquina que perfora el suelo a lo largo de toda la trayectoria de la instalación, siendo orientada y seguida desde la superficie mediante un localizador que indica la posición, sin necesidad de pozos verticales, ya que la obra comienza desde la superficie.

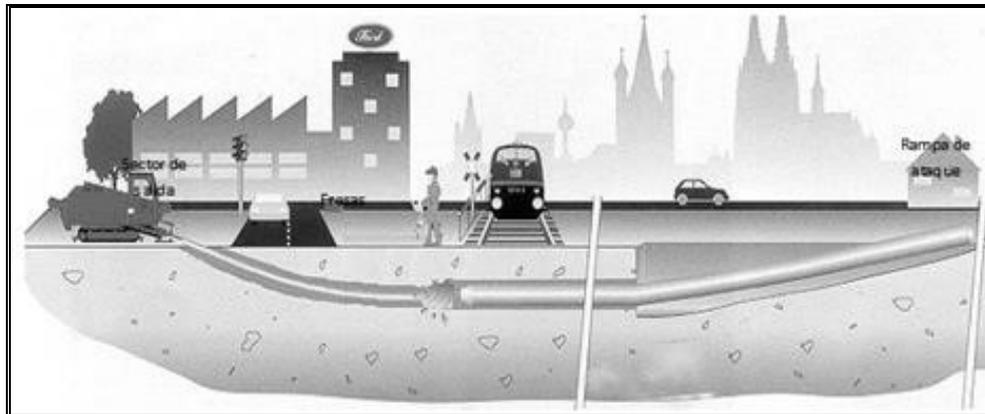
Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

Rango de aplicación: Tuberías hasta 65 mm e inserciones cortas.

Cuadro 26: Ventajas y desventajas del método de técnica sin zanja

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Ahorro en los costos de excavación y reposición.• Reduce molestias a la población.	<ul style="list-style-type: none">• Solo se aplica a diámetros pequeños y en pequeños tramos.• Restringido al uso de tuberías de material flexibles.• El equipo puede ser desviado por piedras de tamaño considerable.

Gráfico 19: Perforación horizontal dirigida



9.2.2 Método de hincado de tuberías

Objetivo: Instalar una nueva tubería utilizando métodos de corte con chorros de fluido direccionales, minimizando las molestias. El equipo se utiliza creando pequeñas zanjas de lanzamiento y recepción con la posibilidad de seguir una ruta preestablecida utilizando el equipo de guía incluido.

Descripción: Técnica utilizada para hincar horizontalmente tuberías de acero de diferentes diámetros. Es un método muy útil en instalaciones bajo estructuras como vías, cuerpos de agua, edificaciones, otros.

El empuje se realiza mediante un martillo neumático o hidráulico, que golpea el tubo de acero, el cual penetra el suelo sin causar alteración del mismo. Una vez instalado el tubo se remueve el material de su interior.

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

Posteriormente, se desaloja el material que permanece al interior del tubo metálico utilizando para ello aire comprimido o agua a presión, quedando el interior disponible para acondicionar la tubería metálica al servicio o utilizarla como protección o pase y colocar una nueva tubería en su interior.

El método constructivo es el mismo utilizado para la hincada de pilotes con tubos de acero lo que facilita su manejo para quienes ya tienen experiencia en pilotaje. Es importante destacar que se utilizan tubos de acero, ya que por las características de resistencia y ductilidad del acero estos resisten y distribuyen mejor las cargas transmitidas por el martillo sin que se dañe la estructura de la tubería.

Rango de aplicación: Tuberías nuevas de hasta 1800 mm y longitud variable dependiendo de las condiciones del suelo. Se requiere un método eficiente para extraer el material sobrante dentro del tubo y aplicable en todos los suelos excepto roca.

Cuadro 27: Ventajas y desventajas del método de hincado de tuberías

Ventajas	Desventajas
<input type="checkbox"/> Menores costos en la instalación de nuevas tuberías y menores molestias sociales que la apertura de zanja convencional en determinadas circunstancias.	<ul style="list-style-type: none">• Restringido al uso de tuberías de material flexible.• Aplicable en todos los suelos excepto roca.• Requiere un método eficiente para extraer el material sobrante dentro del tubo.

Gráfico 20: Hincado de Tuberías

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable***9.2.3 Método de cincel (Topo)**

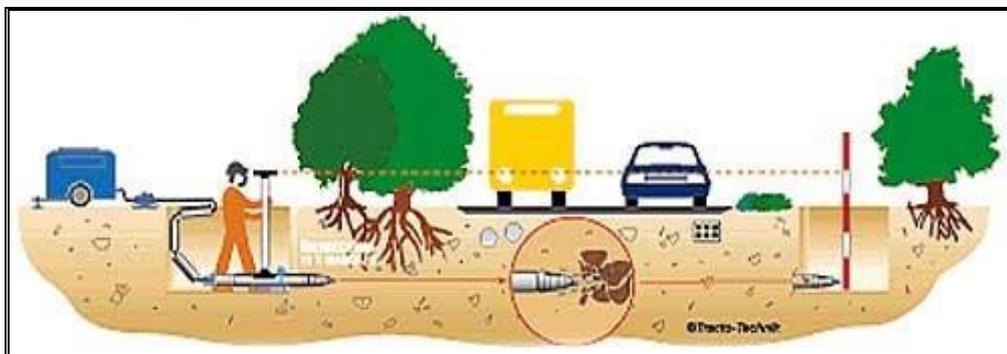
Objetivo: Método que permite instalar una nueva tubería por debajo de carreteras, vías de ferrocarril, jardines, edificios, árboles, entre otros, en distancias de hasta 25m.

Descripción: Técnica que utiliza un pistón que es impulsado por un compresor. El aire comprimido, empuja al pistón, este golpea la cabeza y hace que avance compactando el terreno, formando un túnel. La tubería nueva es arrastrada al mismo tiempo por el pistón como tubería corta o tubería larga.

Rango de aplicación: Tuberías nuevas de 45 mm a 180 mm.

Cuadro 28: Ventajas y desventajas del método de cincel

Ventajas	Desventajas
<input type="checkbox"/> Se puede utilizar en todo tipo de terreno, excepto lodos, terrenos pantanosos y roca no compacta.	<ul style="list-style-type: none">• Restringido al uso de tuberías de material flexible.• El cincel se puede dirigir pero no controlar.

Gráfico 21: Método de cincel**10. CONEXIONES DOMICILIARIAS**

Como se puede apreciar, son muchos los beneficios del método sin zanja, por lo que se presenta una exigencia para los contratistas de utilizar un método similar para el caso de las conexiones domiciliarias.

Anexo I

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

MÉTODO ECONÓMICO ECUACIÓN PARA LA RENOVACIÓN DE TUBERÍAS DESARROLLADO POR SHAMIR Y HOWARD

MÉTODO ECONÓMICO

ECUACIÓN PARA LA RENOVACIÓN DE TUBERÍAS DESARROLLADO POR SHAMIR Y HOWARD.

El costo de mantenimiento en un año específico “t” está dado por la multiplicación del costo medio de todas las reparaciones por el número de roturas o reparaciones realizadas en el año t.

$$C(t) = C_m \times N(t) \quad (1)$$

Assumiendo que el incremento de roturas por unidad de longitud sigue la ley exponencial creciente con el tiempo, entonces:

$$N(t) = N(t_0)e^{A(t-t_0)} \quad (2)$$

En donde “N” es el número de roturas por unidad de longitud de tubería objeto de estudio en el año “t” y donde “t₀” representa año inicial o referencia de la evaluación, y a partir del cual se sigue la evolución de las roturas de la tubería. El coeficiente A representa el crecimiento en el tiempo de fugas y sus unidades se expresan en años⁻¹. Remplazando la ecuación (2) en (1) resulta:

$$C(t) = C_m \times N(t_0)e^{A(t-t_0)}$$

Si admitimos una tasa de inflación “i” el valor actual del costo de mantenimiento vendrá dado por:

$$C(t) = \frac{C_m(t)}{(1+i)^{1-t}} \times N(t_0)e^{A(t-t_0)}$$

Si t_s es el año en el que se llevará a cabo la sustitución de la tubería, el costo total de mantenimiento entre el año t₀ y t_s, estará dado por la siguiente expresión:

$$\sum_{t=t_0}^{t_s} C(t) = \sum_{t=t_0}^{t_s} \frac{C_m(t) \times N(t_0)e^{A(t-t_0)}}{(1+i)^{1-t}} \quad (3)$$

La expresión (3) constituye el primer sumando del monto global correspondiente al año que se pretende determinar en el que se lleva a cabo la sustitución. El segundo sumando está dado por el costo de sustitución de la tubería. Este costo está dado por la siguiente expresión:

$$CS(t) = \frac{CS}{(1+i)^{t-t_0}} \quad (4)$$

Es evidente que el costo de mantenimiento que nos proporciona la ecuación (3) crece con el tiempo como consecuencia del incremento de roturas, mientras que el costo de reposición expresada en la ecuación (4) disminuye con el tiempo “t”.

El momento óptimo para proceder a la sustitución de la tubería será el año t_s en que el costo total de la suma (3) y (4) sea mínimo.

$$C_T(t_s) = \sum_{t=t_0}^{t_s} \frac{C_m(t) \times N(t_0)e^{A(t-t_0)}}{(1+i)^{1-t}} + \frac{CS}{(1+i)^{t-t_0}} \quad (5)$$

*Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable*

Para resolver esta ecuación anterior procederemos derivar la ecuación anterior con relación a t_s e igualar a cero, resultando el año más adecuado para practicar la sustitución de una tubería la siguiente ecuación:

$$t_s = t_o + \frac{1}{A} \ln \left[\frac{C_s \ln(1+i)}{C_r N(t_o)} \right] \quad (6)$$

Donde:

t_s : Año más adecuado para la sustitución de la tubería vieja por una nueva. t_o : Año de referencia del estudio de las roturas.

A : Coeficiente de crecimiento de fugas, en el tiempo (años⁻¹).

C_s : Costo de sustitución de la tubería en un año. i

: Índice anual de inflación.

C_r : Costo medio de reparaciones de todas las roturas en un año.

N : Número de roturas por unidad de longitud de la tubería.

Para la aplicación de esta ecuación, el único término que puede presentar incertidumbre es el valor t_o . Sin embargo, Shamir y Howard⁸ demuestran que el resultado es independiente del año de referencia y que la ecuación es exactamente la misma de referir la evolución de las roturas a cualquier otro año.

Es importante indicar que el presente análisis:

- Es simplemente económico. No valora el costo social de tantas interrupciones del servicio, ni tiene en cuenta el valor de agua que se pierde, que tiene una triple valoración: por el valor en sí mismo del agua, por los perjuicios que puede ocasionar (inundaciones, interrupción de vía pública, etc.) y el mismo costo social debido a considerar el agua recurso limitado.
- Tampoco considera el material, diámetro, montaje, ni tantos otros factores a los que son sensibles la valorización realizada.

Anexo II

EJEMPLO APLICATIVO DEL MÉTODO ECONÓMICO

Una tubería presenta un número elevado de roturas al año (4 roturas/km y año) y se viene observando un crecimiento anual muy significativo en el número de fugas, del 20% ($j=0.20$). El precio de reparación de cada rotura es de US \$ 800.00 Dólares Americanos mientras que el costo total de sustitución es de US \$ 80,000.00 Dólares Americanos por kilómetro de longitud en tanto que el valor del dinero es el 5% ($i=0.05$).

⁸ Shamir U., Howard C. (1977) - "An Analytic approach to scheduling pipe replacement". Journal of the American Water Works Association. Mayo 1979.



Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

Deseamos saber si debemos continuar rehabilitando la tubería o sustituirla por una nueva. Para este análisis se considerará que la tubería viene prestando servicio por un periodo de 25 años.

Solución al problema

Determinación del costo de rehabilitación Cr

Para su determinación se utiliza la siguiente ecuación:

Cr = N x U x P(i, j, n) (1)

Siendo:

N : Número de roturas por unidad de longitud y tiempo.

U : Costo unitario de reparación de cada rotura.

P (i, j, n) : Término que tiene en cuenta el precio del dinero "i", el factor anual de crecimiento de roturas "j", y el periodo de tiempo "n" en años, para los cuales se entiende que tiene vigencia el análisis que se efectúa.

Donde, P (i, j, n) es un valor que viene dado por la siguiente relación:

P(i, j, n) = (1 - 1/(1+M)^n) / M

También, M es igual a:

M = i / (1 + j)

M: Variable auxiliar en función del valor del dinero "i", el factor anual de crecimiento de roturas "j".

Remplazando obtenemos M:

A partir del cual M = 0.05 / (1 + 1.20) = 0.04, valor de P resulta ser: P = 1 / (1 + 0.04)^25 = 15.62

Guía de métodos para rehabilitar o renovar redes de distribución de agua potable

Remplazando en la ecuación (1) obtenemos el costo de rehabilitación:

$$C_R = 4 \times 800 \times 15.62 = \text{US } \$ 49,984.00 \text{ Dólares Americanos}$$

Al comparar la cantidad obtenida (C_R), que es de US \$ 49,984.00 Dólares Americanos con el costo de renovación (C_s) que asciende a US \$ 80,000.00 Dólares Americanos, se observa que el costo de rehabilitación resulta aún menor, por lo que de acuerdo con este criterio económico la solución sería seguir rehabilitando la tubería.

Dos consideraciones para concluir con el presente análisis:

- El estudio es simplemente económico. No valora el costo social de tantas interrupciones del servicio, ni tiene en cuenta el valor del agua que se pierde (valor económico del agua, perjuicios que puede ocasionar las inundaciones e interrupciones de vía pública y el costo social debido a que el agua es un recurso limitado).
- El ejemplo propuesto pretende únicamente mostrar la metodología. Observar de hecho que no tomamos en consideración ni el material, ni el diámetro, ni el trazado, ni el montaje, ni tantos otros factores a los que son sensibles los datos utilizados. Tan sólo se ha procurado que tales datos pudieran ser posibles.