



INSTITUTO COSTARRICENSE DE
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

UEN Investigación y Desarrollo
Área Funcional Desarrollo Tecnológico

Limpieza de tuberías de acueductos con depósitos de hierro y manganeso

Fecha de entrega: 31 de marzo de 2021

CONSECUTIVO DEL DOCUMENTO: **2021-106-128**

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Ricardo Picado Arias	Jorge Merizalde Dobles	German Mora Rodríguez


VERSIÓN 01.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
+506 2242-5000 * www.aya.go.cr
Pavas, San José, Costa Rica

**AUTORIZACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS PARA PUBLICACIÓN EN EL
CATÁLOGO DE ACCESO PÚBLICO EN LÍNEA (OPAC) y REPOSITORIO DIGITAL
DEL CEDI**

Se autoriza al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio digital y Catálogo en línea (OPAC) del presente documento de interés bibliográfico.

Nombre y apellidos de cada autor (a)	N° de cédula de identidad	Correo electrónico o teléfono institucional	Firma
Ricardo Picado Arias.	2-0493-0656	rpicado@aya.go.cr	

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 3 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio plantea como objetivo general la evaluación de los métodos de limpieza interna de tuberías de agua potable para definir el más adecuado para las condiciones de los acueductos de AyA.

La metodología aplicada para el desarrollo de esta investigación consistió en: recopilación de información, conformación del equipo de trabajo, así como las actividades realizadas para el análisis en cuestión.

Se concluyó que no es posible recomendar un único método para realizar limpieza interna de tuberías, ya que cada acueducto presenta situaciones y características hidráulicas distintas. Se evidencia la necesidad de adquirir algún tipo de cámara portátil con sonda, que permita la inspección pre- y post-limpieza de los sistemas a intervenir.

En primera instancia, se seleccionó el acueducto La Guaria como caso de estudio. Para este sistema, se determinó que la intervención más conveniente es la limpieza química utilizando ácido ascórbico inhibido, apoyada con el lavado unidireccional reforzado con aire comprimido en los tramos más afectados.

Durante la ejecución del presente estudio, se realizaron importantes mejoras a la planta potabilizadora de La Guaria; esto causó que no se volvieran a presentar los frecuentes problemas de coloración relacionados con la presencia de óxidos de hierro y manganeso. Por esta razón, se recomienda definir otro sistema de acueducto en el que se hayan detectado los mismos problemas, para el desarrollo del proyecto piloto de implementación.



	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 4 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

TABLA DE CONTENIDOS

ABREVIATURAS	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. ANTECEDENTES.....	7
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	8
1.3. OBJETIVOS.....	9
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.4. ALCANCE.....	9
1.5. LIMITACIONES EN EL LOGRO DE LOS OBJETIVOS.....	10
2. METODOLOGÍA	10
2.1. MARCO METODOLÓGICO.....	10
2.1.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	10
2.2. CONFORMACIÓN DEL EQUIPO.....	11
2.3. ACTIVIDADES REALIZADAS.....	11
3. RESULTADOS.....	13
3.1. INVESTIGAR MÉTODOS PARA LIMPIEZA INTERNA DE TUBERÍAS COMÚNMENTE UTILIZADOS.....	13
3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE CADA MÉTODO EN AYA.....	13
3.3. ESTABLECER EL MÉTODO MÁS ADECUADO.....	14
3.4. COSTO DEL MÉTODO MÁS ADECUADO PARA LAS CONDICIONES DEL ACUEDUCTO EN ESTUDIO.....	19
3.5. IMPLEMENTAR UN PROYECTO PILOTO.....	20
4. CONCLUSIONES	20
5. RECOMENDACIONES.....	22
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
7. CONTROL DE CAMBIOS.....	26
8. APÉNDICES.....	26

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 5 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

ABREVIATURAS

AF IA: Área Funcional Investigación Aplicada.

ANT: Análisis de nueva tecnología.

ASADA: Asociación Administradora de Sistemas de Acueducto y Alcantarillado Sanitario.

AWWA: American Water Works Association.

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

CEDI: Centro de Documentación e Información.

GAM: Gran Área Metropolitana.

kg: kilogramo.

km: kilómetro.

mm: milímetro.

m/s: metros por segundo.


ppb: proporción de 1 en 10^9 (del inglés “*parts per billion*”).

UEN: Unidad Estratégica de Negocios.

VCT: Vigilancia Científico-Tecnológica.

Ø: diámetro.

\$: dólar estadounidense (US Dollar).

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 6 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01


1. INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como finalidad, exponer los resultados y recomendaciones obtenidos a partir de la investigación realizada, acerca de los diferentes métodos que existen en el mercado para limpieza interna de tuberías y dar a conocer, desde una óptica comparativa de costo, beneficio y duración del beneficio esperado, cual método es el más adecuado para las condiciones de los acueductos de AyA, según lo solicitado el 13 de setiembre del 2019 de por el Área Funcional Investigación Aplicada. Para este análisis se toma como área de estudio el acueducto de La Guaria, ubicado en el Valle de La Estrella, provincia de Limón.

A raíz de la solicitud de análisis de nueva tecnología, emitida por el Área Funcional Investigación Aplicada a través del oficio [UEN-ID-2019-00686](#), se desarrolló el presente trabajo de investigación, con el fin de proponer una, o varias alternativas, que permitan reducir la afectación en la calidad del agua potable entregada a los usuarios del servicio, producto de la sedimentación de precipitados de hierro y manganeso en el interior de las tuberías de distribución de agua potable.

El hierro (Fe) y el manganeso (Mn) son elementos que se encuentran de manera abundante en la naturaleza. A medida que el agua se filtra a través del suelo y las rocas, puede disolver estos minerales y acarrearlos hacia los cuerpos subterráneos de agua (acuíferos).

Cuando el agua que contiene hierro y manganeso es extraída de estos acuíferos y se desinfecta para consumo humano, la acción del cloro utilizado como desinfectante, hace que estos dos elementos se oxiden; estos óxidos se sedimentan en las paredes internas de las tuberías de distribución de agua potable. Las perturbaciones hidráulicas ocasionan que estos depósitos se desprendan y se manifiesten como problemas estéticos en el agua (color, sabor y olor); además, se sobrepasan los parámetros máximos permisibles de hierro y manganeso establecidos por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 7 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01


El hierro, por ejemplo, genera manchas rojizas o naranjas que se adhieren a la ropa, la porcelana, cristalería, utensilios, accesorios de plomería y concreto. El manganeso por su parte genera manchas negras o cafés que se adhieren también a los mismos materiales y accesorios. Esta situación genera molestia y quejas por parte de los usuarios, además de que se crea una mala imagen institucional debido a la deficiente calidad del agua que se suministra.

1.1. ANTECEDENTES

Según se indica en el documento institucional denominado “Propuesta Metodológica para Limpieza Interna de Tuberías en el Acueducto la Guaria” (Cambroner, Lazo, Solís y Zúñiga, 2019, p.3), estudio solicitado por el Dr. Darner Mora Alvarado y el Lic. Jorge Madrigal García, se realizó un trabajo de investigación cuyo fin sería, proponer una alternativa que permitiera reducir el impacto que provocaba la presencia de iones metálicos como el hierro y el manganeso, en la calidad final del agua que es distribuida en el acueducto La Guaria.

Mediante oficio UEN-ID-2019-00686 de fecha 13 de setiembre de 2019, el AF IA solicita el apoyo del Área Funcional Desarrollo Tecnológico para que realice un análisis de diversas alternativas para la limpieza interna de tuberías de acueductos con depósitos de hierro y manganeso y así se determine cual resulta la más conveniente. Con respecto a lo antes mencionado se plantean las siguientes interrogantes indicadas en el formulario GTE-106-03-F1:

1. De todas las técnicas para limpieza interna de tuberías de acueducto, ¿cuál es la más adecuada para las condiciones de los acueductos de AyA?
2. ¿Existen experiencias relacionadas con el tema en cuestión, en **Latinoamérica o Estados Unidos**?
3. ¿Podrían **realizar una estimación de costo de implementar la técnica en sistemas de AyA y ASADAS**?


	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 8 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

4. ¿Podrían **implementar un prototipo para la técnica que seleccionen** como la más apropiada? Ya contamos con sistemas candidatos, tales como: **La Guaria (Valle La Estrella)**, Limón Sur (Talamanca) y Las Catalinas (El Guarco, Cartago).
5. ¿Qué valoraciones **pre-limpieza y post-limpieza se pueden considerar** para contratar este tipo de procedimientos en sistemas de AyA o ASADAS?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se realiza en respuesta a lo solicitado por el AF mediante el formulario [GTE-106-03-F1](#). En éste se detalla que desde hace ya varios años se ha venido trabajando en el análisis de diferentes alternativas para la potabilización de agua con concentraciones de hierro y manganeso, que superan lo establecido por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Adicionalmente, se conoce que cantidades tan bajas como 50 ppb (en ambos elementos químicos), pueden llegar a generar un efecto estético no deseado en el agua potable; es decir, que a pesar de contar con una planta potabilizadora en cumplimiento de lo establecido en la reglamentación nacional, se pueden presentar situaciones donde el agua potable abastecida contiene niveles de color y turbiedad que generan rechazo por parte del usuario, debido a la apariencia que generan estos precipitados.

De parte de la UEN de Investigación y Desarrollo, se han explorado diversas alternativas para lavado interno de tuberías, tales como el uso de ácido ascórbico y la limpieza con sondas de barrido tipo «cochinos» (del inglés *“pigging”*), incluyendo la limpieza con hielo (*“ice pigging”*). Igualmente, se ha considerado el uso de cámaras portátiles para inspección antes y después de la limpieza, a fin de estimar su efectividad.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 9 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL


Evaluar los métodos disponibles para limpieza interna de tuberías de agua potable y definir el más adecuado para las condiciones de los acueductos de AyA, tomando como objeto de estudio el acueducto La Guaria, ubicado en el Valle de La Estrella, Limón.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar sobre los métodos para limpieza interna de tuberías, comúnmente utilizados por administradores de acueductos a nivel global.
2. Identificar ventajas y desventajas del uso de cada método en AyA, con base en la información analizada.
3. Establecer el método más adecuado para las condiciones de los acueductos de AyA, tomando como **objeto de estudio** el acueducto **La Guaria**.
4. Estimar, de ser posible, el costo de implementación para el método, o los métodos que se consideren los más adecuados para las condiciones del acueducto en estudio.
5. Implementar un proyecto piloto en el acueducto en estudio, mediante el cual se evalúe la efectividad de la técnica que se seleccione como la más apropiada.

1.4. ALCANCE

Se pretende analizar, cuál método para limpieza interna de tuberías es el más apropiado para eliminar o reducir los sedimentos adheridos a las paredes internas de las

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 10 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

tuberías de conducción y distribución del sistema objeto de estudio. Para ello, se pretende realizar la ejecución de una limpieza en modalidad piloto en un tramo de tubería del acueducto La Guaria, en el cual no existan conexiones de clientes; esto con el fin de aplicar y evaluar la efectividad de la alternativa seleccionada.

1.5. LIMITACIONES

Para el año 2020, no se presupuestó ningún monto específico para la ejecución de una limpieza en modalidad piloto, incluida la adquisición de algún tipo de cámara portátil para inspección pre-limpieza y post-limpieza. El estudio se limitó al análisis y la selección de la opción más adecuada de limpieza para el sistema en estudio.

2. METODOLOGÍA


2.1. MARCO METODOLÓGICO

2.1.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La información utilizada para el desarrollo de esta investigación y la elaboración de este informe fue recopilada y procesada por las Áreas Funcionales Desarrollo Tecnológico e Investigación Aplicada. También se aportó información técnica por parte del Centro de Documentación e Información (CEDI), en respuesta a la solicitud de vigilancia científico-tecnológica (VCT), la cual fue gestionada mediante memorando UEN-ID-2020-00250, entre otros.

La documentación consultada consistió en: normas técnicas, reglamentos nacionales, literatura técnica, estudios de investigación institucional, tesis universitarias, revistas técnicas, correos electrónicos, entre otros.

Una vez realizadas las reuniones con funcionarios institucionales involucrados en el tema de investigación, se procedió a obtener los resultados arrojados por la investigación realizada, analizar los métodos para limpieza más comúnmente utilizados, establecer las

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 11 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

ventajas y desventajas de cada uno de ellos, establecer el método más adecuado de limpieza de tuberías y determinar el costo de ese método.

2.2. CONFORMACIÓN DEL EQUIPO

La UEN Investigación y Desarrollo, por medio del Área Funcional Desarrollo Tecnológico y el apoyo del Área Funcional Investigación Aplicada, así como de las áreas operativas correspondientes, fueron las encargadas de realizar esta investigación. Los funcionarios que han formado parte del equipo de trabajo para el desarrollo del presente análisis son:

1. Ing. Jorge Merizalde Dobles
UEN Investigación y Desarrollo, Dirección Desarrollo Tecnológico.
2. Ing. Andrés Lazo Páez
UEN Investigación y Desarrollo, Dirección Investigación Aplicada.
3. Ing. Ricardo Picado Arias
UEN Investigación y Desarrollo, Dirección Desarrollo Tecnológico.


2.3. ACTIVIDADES REALIZADAS

Para el análisis en cuestión, se han llevado a cabo las siguientes actividades:

1. **Reunión** donde participaron los ingenieros Jorge Merizalde Dobles, Andrés Lazo Páez y Ricardo Picado Arias.

Tema: Aclaración de dudas y determinación del alcance de la solicitud efectuada por el Área Funcional de Investigación Aplicada, para realizar el estudio sobre métodos para limpieza interna de tuberías.

Lugar y fecha de la actividad: miércoles 06 de noviembre del 2019; oficina del ingeniero Andrés Lazo, Sede Central del AyA en Pavas.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 12 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

2. **Visita** a la Planta de Tratamiento de Agua Potable Las Catalinas.

Tema: Visita a planta de tratamiento de agua potable Las Catalinas.

En esta visita participaron los funcionarios de Desarrollo Tecnológico Ricardo Picado Arias y Franklin Chavarría Chang. Ellos fueron recibidos por Gustavo Brenes, quien es funcionario de la GAM y encargado del acueducto de El Guarco en Cartago. La visita consistió en un recorrido por la planta de tratamiento de agua potable, así como por los sistemas Las Catalinas, Diques, Santa Gertrudis y Los Guilos. El objetivo, fue conocer a fondo sobre los problemas de calidad del agua potable que presenta el acueducto, debido a la presencia de hierro y manganeso en algunas de sus fuentes, así como conocer con más detalle, sobre el método y la frecuencia de lavado que aplican en las redes para tratar la problemática.


Lugar y fecha de la actividad: jueves 23 de enero del 2020; planta de tratamiento de agua potable Las Catalinas en El Guarco, Cartago.

3. **Reunión** donde participaron los ingenieros Jorge Merizalde Dobles, Andrés Lazo Páez y Ricardo Picado Arias.

Tema: Revisión de cálculos comparativos de costo, entre los métodos para limpieza interna de tuberías “*ice pigging*” y limpieza química utilizando ácido ascórbico.

Lugar y fecha de la actividad: miércoles 18 de marzo del 2020; a través de una videoconferencia grupal.

4. **Reunión** donde participaron los ingenieros José Matarrita Cortés, Jorge Merizalde Dobles, Andrés Lazo Páez y Ricardo Picado Arias.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 13 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

Tema: Disponibilidad de la Región Huetar Atlántica para el desarrollo del proyecto piloto de limpieza interna de tuberías, en un tramo del acueducto La Guaria en el sector de Limón Sur.

Lugar y fecha de la actividad: martes 16 de junio del 2020; a través de una video conferencia grupal.

3. RESULTADOS


Con base en los objetivos específicos planteados en el apartado 1.3.2., se desglosan a continuación los resultados obtenidos para este análisis, con base en la metodología establecida en el apartado 2.

3.1. INVESTIGAR MÉTODOS PARA LIMPIEZA INTERNA DE TUBERÍAS COMÚNMENTE UTILIZADOS

Se revisaron diferentes textos relacionados al tema de limpieza interna de tuberías. Los tipos de texto abordados para este fin fueron: literatura técnica sobre mantenimiento y limpieza de tuberías, normativa técnica relacionada al mantenimiento de redes, Reglamento para la Calidad del Agua Potable de la República de Costa Rica, estudios de investigación institucional como el denominado “Propuesta Metodológica para Limpieza Interna de Tuberías en el Acueducto La Guaria”, correos electrónicos con información sobre costos de métodos para limpieza de tuberías, tesis de grado, así como el informe técnico de VCT desarrollado por parte de CEDI, el cual fue remitido como documento adjunto al oficio UEN-ID-2020-00313 (adjuntos: [Informe Técnico Final VCT](#)).

3.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE CADA MÉTODO EN AYA

Las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos estudiados en esta investigación se detallan en el documento denominado: [“Marco Teórico - Limpieza Interna en Tuberías de Agua Potable”](#).

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 14 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01


3.3. ESTABLECER EL MÉTODO MÁS ADECUADO

Para este caso específico se analizaron nueve métodos comúnmente utilizados a nivel global, para realizar limpieza interna de tuberías de agua potable; estos métodos son:

1. Lavado convencional.
2. Lavado unidireccional.
3. Lavado por aire.
4. Fregado por esponja o cerdos (*“poly pigging”*).
5. Cerdos abrasivos (*“abrasive pigging”*).
6. Limpieza por hielo (*“ice pigging”*).
7. Limpieza química.
8. Chorro de agua (*“jetting or balling”*).
9. Limpieza y rehabilitación por recubrimiento interno de la tubería.

De acuerdo con las características de las tuberías a intervenir, y con base en el estudio previamente realizado por el AF Investigación Aplicada, se determinó que, cuatro de los nueve métodos analizados se ajustan a las condiciones del acueducto en estudio:

1. Lavado unidireccional.
2. Lavado por aire.
3. Limpieza por hielo (ice pigging).

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 15 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

4. Limpieza química.


El lavado unidireccional es un método muy recomendado desde el punto de vista práctico y económico. Es muy efectivo en la eliminación de sedimentos y biopelículas suaves y se requiere de la utilización de una cantidad de agua relativamente baja para su aplicación (2 volúmenes de tubo aproximadamente). La afectación al usuario en cuanto a la continuidad del servicio se refiere, es bastante baja, ya que el usuario únicamente debe abstenerse de hacer uso de los grifos durante el tiempo que dure la limpieza. Sin embargo, este método no es efectivo para eliminar tuberculación, incrustaciones u otros materiales adherentes. Además, este método no es adecuado para tuberías de diámetros grandes ($\varnothing \leq 300$ mm) y requiere de velocidades de flujo específicas para garantizar un lavado efectivo del acueducto. Según la American Water Works Association (AWWA), se requieren velocidades de 1.5 a 1.8 m/s para lograr un lavado efectivo mediante el uso de este método de limpieza, lo cual exige por parte del administrador del acueducto, un conocimiento amplio de las capacidades hidráulicas de sus redes, incluido el modelaje hidráulico para garantizar la efectividad de la intervención.

La producción diaria (longitud de tubería limpiada/día) es de entre 3 y 5 km.

Otro dato que vale la pena mencionar acerca de este método de limpieza de tubería, es la duración del beneficio esperado, es decir, cuánto tiempo dura la efectividad del lavado. Para este método en específico, la duración del beneficio esperado es de 6 meses a un año.

El lavado por aire es similar al método de lavado unidireccional, en especial en cuanto al volumen de agua requerido y diámetro máximo de aplicación se refiere.

La afectación al usuario en cuanto a la continuidad del servicio se refiere, es de calificación media, ya que se requiere de 1 a 4 horas de interrupción del servicio para el desarrollo de la limpieza.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 16 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

Para la aplicación de este método, además de la utilización de lavado unidireccional, se introduce adicionalmente aire a la corriente de agua, lo cual genera un flujo muy turbulento y de alta velocidad. La técnica es de gran utilidad cuando las presiones del sistema son demasiado bajas, o las tuberías son demasiado largas para lograr un enjuague efectivo.

Este método de limpieza es utilizado principalmente para eliminar incrustaciones blandas, biopelículas u otros materiales adherentes, pero no es efectivo para eliminar tuberculación, incrustaciones duras.


La producción diaria (longitud de tubería limpiada/día) es de 3 a 5 km.

Los costos de este método suelen ser al menos, dos veces los costos de la limpieza por flujo unidireccional y la duración del beneficio esperado es de 1 a 5 años.

La limpieza por hielo o “Ice Pigging”, es el método para limpieza interna de tuberías más novedoso en el mercado. Consiste en inyectar hielo molido a la red a través de un hidrante, e impulsarlo por toda la tubería aprovechando la presión y el caudal de la misma red.

Ventajas del uso de este método:

1. Utiliza un 50% menos de agua que la requerida para los métodos de enjuague convencional, enjuague por esponja o por “cerdos” (estos utilizan hasta 3 volúmenes de tubería).
2. La interrupción del servicio es relativamente corta, ya que toma aproximadamente la mitad del tiempo requerido para la aplicación de otros métodos.
3. Puede fluir a través de diferentes diámetros de tubería (desde 20mm hasta 700 mm), accesorios y curvas.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 17 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01


4. Según Crosbie et al. (2013), el método “*ice pigging*” es más caro que los métodos convencionales de enjuague sobre una base de \$/m. Sin embargo, cuando se utiliza el indicador \$/kg de sedimento removido, el enjuague cuesta aproximadamente \$ 2,655/kg mientras que el uso del “Ice Pigging” cuesta aproximadamente \$ 470/kg”.
5. La producción diaria (longitud de tubería limpiada/día) es de 1 a 5 km.

Desventajas del uso de este método:

1. No se recomienda para tuberías de hierro fundido (cast iron).
2. La tasa de aplicación de hielo depende de: longitud y diámetro de tubería, el material, y la temperatura.
3. La aplicación del hielo requiere del cierre de todos los medidores de agua potable que estén instalados en la red a intervenir.
4. No existe actualmente un representante de la tecnología en el país, lo cual aumenta significativamente los costos de la aplicación de este método de limpieza en los sistemas AyA, ya que debe considerarse toda la logística concerniente al traslado e ingreso al país del equipo para la producción del hielo utilizado para el lavado de las redes.

La limpieza química, consiste en hacer circular un ácido inhibido (fluido de tratamiento ácido que se mezcla con aditivos químicos para controlar el efecto corrosivo) a través de un sistema cerrado, disolviendo escamas minerales, crecimiento biológico y subproductos de corrosión.

Los productos químicos suavizan y disuelven el material incrustado, de la mano con un buen tiempo de circulación. Usualmente, no se requieren modificaciones mayores en las tuberías, como es el caso de otros métodos de limpieza de tuberías. Es una técnica

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 18 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01


muy aplicable para el caso de sistemas con muchos accesorios, curvas, equipos intermedios, etc.

Es muy efectivo en la eliminación de escamas duras, escamas inestables y biopelícula. Sin embargo, no es muy efectivo removiendo sedimentos sueltos, por lo que se debe considerar complementariamente la aplicación de un lavado unidireccional simple, o lavado unidireccional reforzado con inyección de aire comprimido (lavado por aire).

Para la aplicación de este método se requiere de la utilización de una cantidad de agua moderada (de 2 a 3 volúmenes de tubo aproximadamente). La afectación al usuario en cuanto a la continuidad del servicio se refiere, podría ser de un tiempo considerable, ya que la limpieza química requiere de un buen tiempo de circulación en el sistema (varias horas). Posteriormente, la tubería se lava y circulan inhibidores de manera pasiva, para evitar la corrosión repentina en tuberías metálicas. Luego, la tubería se desinfecta, se llena con agua limpia y se restablece el servicio.

El costo que conlleva la aplicación de este método podría ser relativamente alto y la producción diaria muy baja (de 100 m a 1 km), si se compara con los costos relacionados a otros métodos convencionales como lo son el lavado unidireccional o el lavado por aire. Sin embargo, para el caso del acueducto La Guaria, se debe considerar el método químico como la alternativa de limpieza más adecuada, dado que, aunque actualmente existe una planta de tratamiento de agua potable para la eliminación del hierro y el manganeso, existen en las tuberías depósitos de estos metales, que probablemente se han acumulado durante los años en los que no existió tratamiento para estas aguas.

Otra consideración importante, que pesa en la recomendación de utilizar este método en el acueducto en estudio, es la duración del beneficio esperado, el cual se estima que podría ser de 3 a 10 años.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 19 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01


Adicionalmente, en el informe institucional denominado “Propuesta Metodológica para Limpieza Interna de Tuberías en el Acueducto La Guaria”, se establece el método químico, como el recomendado para la limpieza del acueducto en estudio”. (Solís, Cambroner, Zúñiga y Lazo, 2019, p.9)

Fregado por esponja o cerdos (“poly pigging” y “abrasive pigging”). Estos métodos son más agresivos y requieren de ciertas consideraciones para su aplicación, las cuales podrían complicar de gran manera la implementación de la limpieza. Estas consideraciones son:

- Se requieren puertos de entrada y salida para el “pig”, los cuales pueden estar comúnmente presentes en tuberías pequeñas (menores a 6”), aunque sea por medio de hidrantes. Típicamente, la construcción de tuberías de gran diámetro no considera este aspecto.
- Dada la “agresividad” de este método, se debe considerar que podría existir afectación en la condición normal de uso de la tubería, lo que podría provocar fugas, incrementar la corrosión de las paredes internas, aumento en el diámetro interno de la tubería, etc.
- Para la aplicación de este método se requiere de la utilización de una cantidad de agua elevada (de 3 a 5 volúmenes de tubo aproximadamente).

3.4.COSTO DEL MÉTODO MÁS ADECUADO PARA LAS CONDICIONES DEL ACUEDUCTO EN ESTUDIO

En el documento denominado “Costo de uso de Método de Limpieza”, se puede apreciar el procesamiento de datos suministrados por el Área Funcional Investigación Aplicada, mediante los cuales se estimaron los costos de implementación para los métodos considerados más adecuados para la limpieza del acueducto La Guaria.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 20 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

3.5. IMPLEMENTAR UN PROYECTO PILOTO

Según lo indicado en el oficio UEN-ID-2020-00239 de fecha 30 de marzo del 2020, dado que no se había previsto en el presupuesto 2020 la implementación de este proyecto piloto se acordó que el presente proyecto se dividiría en dos partes.

La primera parte se completaría con el primer entregable: el presente informe. El segundo entregable corresponderá al informe concerniente a los resultados obtenidos a partir de la implementación de un proyecto piloto en campo, utilizando el método de limpieza de tubería recomendado en este primer entregable.


Para la realización de la prueba piloto de remoción de hierro y manganeso, se sugirió inicialmente un tramo del acueducto La Guaria. Sin embargo, en una reunión realizada el 16 de junio de 2020, el Ing. José Matarrita, encargado técnico del acueducto, indicó que, gracias a importantes mejoras realizadas a la planta de tratamiento, el acueducto La Guaria ya no presentaba problemas de coloración relacionados a la presencia excesiva de hierro y manganeso; aún más, la presencia de estos metales no es detectada en los análisis realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas.

Dado lo anterior, se recomienda para el desarrollo del proyecto piloto, definir otro sistema de acueducto en el que se hayan detectado actualmente problemas serios de sedimentación de hierro y manganeso en el interior de las tuberías.

4. CONCLUSIONES

Después de realizar el presente estudio y obtenidos los resultados correspondientes, se concluye lo siguiente:

- 1) No es posible recomendar un único método para realizar limpiezas internas de tuberías en sistemas de acueductos para agua potable. Cada situación, así como las características de cada acueducto, deben ser analizadas de manera individual, considerando aspectos tales como: tipo de contaminantes que están afectando la


	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 21 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

calidad del agua potable, material y diámetro de la tubería, longitud, cambios de diámetro, presiones, velocidades de flujo, caudales, entre otros.

- 2) Con el fin de minimizar las limitaciones en el logro de los objetivos establecidos en este informe y establecer con un mejor criterio el método más adecuado para realizar la limpieza del acueducto en estudio, se requiere adquirir algún tipo de cámara portátil con sonda, o subcontratar el servicio de inspección interna de sistemas de tuberías, con el fin de realizar las inspecciones pre- y post-limpieza de los sistemas que presenten problemas similares y requieran ser intervenidos.
- 3) De los métodos estudiados en este trabajo de investigación, los que más se ajustan a las condiciones del acueducto en estudio y eventualmente podrían considerarse como primera opción para otros acueductos con problemas similares son:
 - Limpieza química.
 - Enjuague unidireccional.
 - Lavado por aire.

Esto se concluye después de analizar las características de las tuberías a intervenir, los aspectos a considerar en cada uno de los métodos estudiados en esta investigación, tales como: facilidades para obtener insumos, capacidad de remoción, duración estimada del beneficio, cantidad de agua necesaria para la limpieza, costo de implementación, entre otros; así como lo indicado en el estudio previamente realizado en el año 2019 por el AF Investigación Aplicada.


- 4) Para la limpieza del acueducto La Guaria, lo más conveniente es la limpieza química utilizando ácido ascórbico inhibido, apoyado de evacuación unidireccional (lavado unidireccional) reforzada con aire comprimido en los tramos más afectados.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 22 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01


- 5) En las tuberías del acueducto La Guaria existen depósitos metálicos que probablemente se han acumulado durante los años en los que no existió tratamiento para estas aguas. Estos depósitos se mantienen aunque actualmente exista una planta de tratamiento de agua potable para la eliminación del hierro y el manganeso. Este mismo razonamiento aplicarse en otros acueductos con problemas similares.
- 6) El método para limpieza de tuberías conocido como “*ice pigging*”, es una técnica muy efectiva y “bondadosa” con respecto al cuidado de la tubería, y hubiese sido muy apropiado para la situación en estudio. Sin embargo, el hecho de que la empresa que ofrece este servicio no cuente con un representante comercial en el país, encarecería de gran manera la limpieza de un acueducto, ya que debe considerarse toda la logística que conlleva el traslado, e ingreso al país del equipo requerido.

5. RECOMENDACIONES

- 1) Realizar un ensayo a pequeña escala en un laboratorio o en campo, mediante el cual se revise el tema relacionado al aumento de la presión en la tubería, producto de la reacción química que se provoca debido a la aplicación del ácido ascórbico para la eliminación del hierro y el manganeso.
- 2) Efectuar ensayos de laboratorio a muestras de tubería tomadas del acueducto en estudio y observar así, la efectividad que presenta el ácido ascórbico para remover los sedimentos; así como las posibles afectaciones que el ácido pudiese causar al material de las paredes internas del tubo, una vez realizada la limpieza.
- 3) Considerar el uso de válvulas de ventosa para expulsión de aire en las partes más elevadas de los tramos del acueducto que se limpien químicamente, de manera que los gases producidos por la reacción química sean evacuados y se reduzca así el riesgo de daños en la tuberías provocados por sobrepresiones.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 23 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01


4. Efectuar la limpieza en tramos de tuberías no mayores a 1 km de longitud. Cuanto más corta sea la longitud de lavado, mayor será la velocidad de descarga y por ende la efectividad de lavado será mejor.
5. En los tramos más afectados, complementar el proceso de lavado químico mediante el posterior lavado unidireccional con aplicación de aire comprimido. Aunque exista una planta de tratamiento de agua potable para la eliminación del hierro y el manganeso, podrían existir depósitos de estos metales en las tuberías, que probablemente se han acumulado durante los años en los que no existió tratamiento para las aguas del sistema.
6. Adquirir algún tipo de cámara portátil con sonda, o subcontratar los servicios para inspección interna de la tubería, que permitan la inspección pre- y post-limpieza de los sistemas que presenten problemas similares y requieran ser intervenidos, y la valoración de la efectividad del método de limpieza aplicado.
7. Ejecutar una limpieza en modalidad piloto, en un tramo de tubería sin conexiones de clientes, con el fin de aplicar la alternativa de evacuación unidireccional, asistida por aire y limpieza química. (Solís, Cambroner, Zúñiga y Lazo, 2019, p.16)
8. Aplicar un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos entre la solución de ácido ascórbico y las paredes de la tubería, con el fin de favorecer la reacción del ácido con los óxidos metálicos presentes en las paredes. (Solís, Cambroner, Zúñiga y Lazo, 2019, p.16)
9. Para la ejecución de la limpieza en modalidad piloto, se recomienda acatar todas las indicaciones del apartado 6.3 “Consideraciones para prueba piloto”, del informe institucional [“Propuesta Metodológica para Limpieza Interna de Tuberías en el Acueducto La Guaria”](#).

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 24 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

10. Se recomienda incluir en el apartado 6.3 del informe institucional “Propuesta Metodológica para Limpieza Interna de Tuberías en el Acueducto La Guaria”, que el trabajo de limpieza se desarrolle de manera alterna (un día sí, otro día no), a efectos de no provocar afectaciones continuas en la disponibilidad del servicio.
11. Definir otro sistema de acueducto con afectación por depósitos de hierro y manganeso en el interior de las tuberías, para la implementación de un piloto de limpieza. Esto por cuanto el encargado técnico del acueducto La Guaria ha indicado que los problemas estéticos del agua abastecida no se han vuelto a presentar, luego de implementar mejoras en el sistema de potabilización.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Water Works Association. (2014). Manual of Water Supply Practices – M28 (2.^a ed).
- American Water Works Association. (2015). Disinfecting Water Mains.
- American Water Works Association. (2015). Distribution Systems Operation and Management.
- Aqualogy (2013). La fuerza del hielo, Ice Pigging, una revolución bajo la tierra. Aqua Magazine.
<http://www.aqualogy.net/uploads/pdf/073f2911f8318ac5d5157f487f80f1a7.pdf>
- Crosbie, Emily; Jayaratne, Asoka. (2013). The performance of ‘ice pigging’.
- Ellison, D. (2003). Investigation of pipe cleaning methods. Estados Unidos: AWWA Research Foundation.
- Environmental Protection Agency (EPA). Secondary drinking water standards: guidance for nuisance chemicals. <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/secondary-drinking-water-standards-guidance-nuisance-chemicals>

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 25 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

Escot, E. Martínez, M. F. Pozo, L. Lebrato, J. Ortega, E. Franco, M. Garvi, M.D. (2009). Limpieza Química de Tuberías de Abastecimiento – Eliminación de Hierro y Manganeso. Editorial; EIA.

Fair, G. M, Geyer, J. Okun, D. (1984). Water and Waste Water Engineering. Vol 2 Editorial J.Wiley.

Hernández, S. (2014). Mejoramiento de la calidad de agua para uso y consumo humano a nivel domiciliar mediante la remoción de hierro en la Comunidad Monte Rey, ubicada en Cariari de Pococí [tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica].

Ministerio de Salud de Costa Rica. (2015, 01 de setiembre). Reglamento para la calidad del agua potable. La Gaceta N°170.


Mosquera, I. Escobar, R. (2002). Plan de Gestión Ambiental Regional del Valle del Cauca 2002-2012, (Pág. 30 – 70). Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Cali, Colombia.

Ogwoka Siringi, D., G. Home, P., Koehn, E. (2014). Cleaning Methods for Pipeline Renewals. International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR).

Rojas, M. D. (2008). Lavado de redes de agua potable aplicabilidad en Chile [tesis de grado, Universidad de Chile].

Solís, Y., Cambroner, D., Zúñiga, L., Lazo, A. (2019). Propuesta Metodológica para Limpieza Interna de Tuberías en el Acueducto La Guaria.

Suez Advanced Solutions, (2019). Ice Pigging for drinking water pipes.

	Formulario: Informe Estudio técnico especializado (ETE)	Página 26 de 26
	Código: GTE-106-02-F5	N° de Versión: 01

7. CONTROL DE CAMBIOS DEL DOCUMENTO

N° Versión	Justificación de los cambios	Descripción de los cambios

8. APÉNDICES

1. Marco Teórico - Limpieza Interna en Tuberías de Agua Potable.
2. Costo de uso de Método de Limpieza.