



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

LAVADO DE REDES DE AGUA POTABLE
APLICABILIDAD EN CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

MAURICIO DIDIER ROJAS HERNANDEZ

PROFESOR GUÍA:
FERNANDO HIDALGO TAPIA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
GERARDO AHUMADA THEODOLUZ
ALEJANDRO ROMERO ARRIAZA

SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2008

RESUMEN

El lavado de redes es un recurso habitual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, orientado a prever problemas ocasionados por la sedimentación de partículas ante velocidades muy bajas.

La presente memoria tiene como objetivo ser una guía o manual en el país de buenas prácticas para la mantención de redes de agua potable, particularmente orientada al tema de lavado de redes.

Este trabajo se realizó analizando las prácticas de lavado de redes en Chile, y su comparación con procedimientos similares en otros países, formulando un resumen de procedimientos de programas de lavado. Posteriormente se diagnosticó una red pequeña de agua potable y se diseñó la operatoria eficiente de su lavado e implementaron las recomendaciones generales asociadas al lavado de redes de AP.

La red seleccionada para realizar el estudio de la problemática e implementación de un programa de lavado corresponde a la localidad de Melipilla, ubicada a 60 km al suroeste de Santiago. La elección de esta localidad obedeció a que es una red con un mallado típico de tuberías y poseía antecedentes de turbiedad alta en algunos puntos. En esta aplicación se usó el resumen de procedimientos de programas de lavado recopilados en el mundo.

Las recomendaciones más importantes del resumen de procedimientos de lavado son definir si el tipo de lavado es convencional o unidireccional, el manejo de las velocidades mínimas de lavado, la que por lo menos debe ser de 0.76 m/s, la apertura y cierre lento de grifos para prevenir el golpe de ariete y la divulgación pública del programa de lavado para alertar a los usuarios.

La metodología utilizada en el análisis de la localidad de Melipilla fue satisfactoria identificando las zonas con problemas mediante el software hidráulico WaterGems y contrastándolas con datos de muestreos reales en la red. Con lo anterior se procedió a acotar los puntos con problemas y efectuar un par de lavados.

Como resultado del estudio se obtuvo un resumen de procedimientos para la formulación de un programa de lavado en cualquier localidad del país, además de un resumen de técnicas complementarias para el mejoramiento y mantención de las redes de agua potable.

AGRADECIMIENTOS

Al término de este trabajo quisiera dar las gracias a todas aquellas personas que en este largo camino, me han dado su apoyo, cariño y mucha fuerza.

A mis abuelos Hugo, Raquel, Orlando, Nora y Nacha.

A mis incondicionales tíos Rodrigo, Viola, Osvaldo, Edith, Tito y Laly, gracias por estar siempre conmigo y con mis padres.

A mis fabulosos padres, por haber sido siempre unos grandes maestros y mi gratitud y orgullo por ustedes es infinito.

A mi Hermana Lía y mis primos Leo y Marcela, por quererme y apoyarme en todo lo que hago.

A mi hermosa Evelyn, por ser lo mejor que pude conocer en esta vida.

A mi profesor guía Don Fernando Hidalgo, por todo el tiempo y su excelente voluntad y mis profesores co-guías Don Gerardo Ahumada y Don Alejandro Romero.

A los ingenieros Francisco Grau y Mario Donoso de la empresa Aguas Andinas S.A. por su tiempo e información proporcionada para la confección de este Informe.

Y a mis grandes mis amigos y casi hermanos Iorana, Juanito, Gustavo, Gato y Mauro

A TODOS MUCHAS GRACIAS.

INDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA	5
1.1 INTRODUCCION	5
1.1.1 DESCRIPCION GENERAL DE LA FORMACION DEL BIOFILM	6
1.2 OBJETIVOS	8
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	8
1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO	8
CAPITULO 2. NORMATIVAS DE AGUA POTABLE APLICABLES AL LAVADO DE REDES	9
2.1 NORMATIVAS INTERNACIONALES	9
2.1.1 NORMAS Y REGLAMENTOS DE LAVADO DE REDES Y VELOCIDADES DE LAVADO	9
2.2 NORMATIVAS NACIONALES	11
2.2.1 REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE	11
2.2.2 REQUERIMIENTOS DE CONDUCCION, REGULACION Y DISTRIBUCION	12
CAPITULO 3. PROCEDIMIENTOS DE LAVADO EN OTROS PAISES	13
3.1 MARCO GENERAL	14
3.2 RECOMENDACIONES DE LA EPA	14
3.2.1 BMP DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE	14

3.2.1.1 DESCRIPCION DEL DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA DE LAVADO DE REDES DE AGUA POTABLE	16
3.2.1.2 RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA FORMULACION DE UN PROGRAMA DE LAVADO	19
3.2.2 OTRAS BMP APLICABLES A LA MANTENCION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCION	20
3.3 RECOMENDACIONES DE LA AWWA	23
3.3.1 BMP DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE	23
3.3.1.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROGRAMA DE LAVADO PROPUESTO POR LA AWWA	27
3.3.1.2 DETALLE DEL PROGRAMA DE LAVADO DE LA AWWA	28
3.3.1.3 ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS A UN PROGRAMA DE LAVADO	32
3.4 EXPERIENCIAS CANADIENSES RELACIONADAS AL LAVADO DE REDES	39
3.4.1 RECOMENDACIONES DE LA BRITISH COLUMBIA WATER & WASTE ASSOCIATION	40
3.4.1.1 PROGRAMA DE LAVADO PARA PEQUEÑOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE	42
3.4.1.2 PROGRAMA DE LAVADO PARA GRANDES SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE	44
3.5 EXPERIENCIAS EUROPEAS	47
3.5.1 PROGRAMA DE LAVADO DE REDES DE LA DWI	48
3.6 EXPERIENCIAS PARTICULARES DE PROGRAMAS DE LAVADOS EFECTUADOS EN DISTINTOS LUGARES DEL MUNDO	49
3.6.1 MODELACION DE UN LAVADO HIDRAULICO DE TUBERIAS PARA EL CONTROL DEL BIOFILM, EN COLOMBIA	49
3.6.1.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE LAVADO CONVENCIONAL UTILIZADO	50
3.6.1.2 DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE LAVADO	

UNIDIRECCIONAL UTILIZADO	52
3.6.1.3 RESUMEN DEL MODELAMIENTO	53
3.6.2 HANOVER COUNTY VIRGINIA, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	54
3.6.3 KENTUCKY, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	55
3.6.4 VIRGINIA BEACH, VA. ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	55
CAPITULO 4. PROGRAMAS DE LAVADOS DE REDES DE AP EN CHILE.	57
4.1 INSTRUCTIVO DE LAVADO DE AGUA POTABLE DE ESVAL S.A.	57
4.1.1 INSTRUMENTACION REQUERIDA	57
4.1.2 PRECAUCIONES EN LA EJECUCION DE UN PROGRAMA DE LAVADO	58
4.1.3 EVALUACION Y DESCRIPCION DEL TIPO DE LAVADO A UTILIZAR	59
4.1.3.1 CRITERIOS PARA EFECTUAR LIMPIEZAS	59
4.1.3.2 DESCRIPCION GENERAL DE LOS TIPOS DE LIMPIEZAS APLICABLES	60
4.1.3.2.1 PASOS DE UN LAVADO DE REDES PARA LA RENOVACIÓN DE AGUAS	61
4.1.3.2.2 PASOS DE UN LAVADO DE REDES PARA ARRASTRE DE ELEMENTOS SÓLIDOS	62
4.1.3.2.3 PASOS DE UN LAVADO PARA LA DESINFECCIÓN EN REDES DE AP	63
4.1.4 RESPONSABILIDADES DE UN PROCEDIMIENTOS DE LAVADO	65
CAPITULO 5. RESUMEN DE BMP Y PROGRAMAS DE LAVADO	68

CAPITULO 6. MODELAMIENTO HIDRÁULICO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE LAVADO EN MELIPILLA.	69
6.1 ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE CALIDAD DEL AGUA DE MELIPILLA	71
6.1.1 CLORO RESIDUAL	72
6.1.2 TURBIEDAD	72
6.2 MODELAMIENTO HIDRAULICO DE LA RED DE MELIPILLA	78
6.2.1 ANALISIS ESTATICO DEL MODELO	80
6.2.2 ANALISIS DINAMICO DEL MODELO	85
6.3 MODELACION HIDRAULICA DE UN LAVADO DE REDES	87
6.4 IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA DE LAVADO EN MELIPILLA	90
CAPITULO 7. CONCLUSIONES	91
CAPITULO 8. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	94
ANEXOS	
ANEXO 1.MUESTRAS DE TURBIEDAD Y CLORO RESISUAL EN MELIPILLA	
ANEXO 2. FIGURAS DE ZONAS CON PROBLEMAS DE TURBIEDAD EN MELIPILLA	
ANEXO 3.RESUMEN DE DATOS Y FIGURAS DEL MODELAMIENTO DE LA RED MEDIANTE WATERGEMS	
ANEXO 4. RESUMEN DE PROCEDIMIENTOS DE UN PROGRAMA DE LAVADO	

1. INTRODUCCION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCION

En la actualidad el agua ha ido tomando una importancia cada vez mayor, con una demanda creciente, escasez del recurso y por ende un aumento en los costos de producción, esto ha obligado a optimizar los procesos e incorporar políticas de buenas prácticas de manejo (BMP) del recurso a fin lograr un mejor servicio para los consumidores y bajar los costos.

El lavado de redes es un recurso habitual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, orientado a prevenir problemas ocasionados por la sedimentación de partículas ante velocidades muy bajas, formación de incrustaciones y Biofilm.

La biopelícula (Biofilm) se compone de comunidades de microorganismos que se desarrollan entre una fase sólida y líquida en forma natural o artificial. La presencia de estas comunidades genera un efecto negativo en los acueductos ya que brindan protección a organismos patógenos que potencialmente pueden llegar a afectar la salud humana. Básicamente la corrosión de las tuberías favorece en mayor o menor medida el crecimiento de la biopelícula, así como la presencia de microorganismos según el tipo de tratamiento de las plantas de potabilización y los nutrientes presentes en el agua: de igual forma el diseño y operación del sistema de distribución de agua es fundamental, ya que hay condiciones de dinámica de flujo que favorecen el crecimiento de ésta. Una de las acciones para el control de este fenómeno, es el lavado interior de las tuberías que transportan el agua potable. Existen otras técnicas para la limpieza interior de las tuberías, tales como el control con mecanismos físicos (Cerdos, esponjas, etc) y control con sustancias químicas (biocidas), dependiendo del caso, estas pueden ser utilizadas.

Actualmente en el país la normativa de agua potable (Nch 409/1-2004) exige un máximo de turbiedad de 2 NTU y antiguamente era de 5 NTU, esto se traduce que entra al sistema alrededor de 2 gramos de sólidos por metro cúbico de agua; considerando que por cada habitante se tiene un consumo aproximado de 5 metros cúbicos al mes, esto se traduce que por cada habitante entra alrededor de 10 gramos. Para una ciudad como Santiago, con seis millones de habitantes aproximadamente, implica que al mes entrarían 50 toneladas de sólidos que circulan por la red.

De estos volúmenes a manejar, surge la duda de dónde queda dicho material, cuánto sedimenta y cuánto sale de la red. En la actualidad no existen planes estandarizados de lavado de redes y lo más usual es la apertura de grifos en las zonas de la red en que se detectan problemas, bajo el criterio personal de quienes operan la red. Un problema que viene adjunto a la acumulación de material en la red son problemas de corrosión, consumo de cloro residual, dichas condiciones son favorables para desarrollos bacterianos, y por ende se requiere reclusión a fin de evitar focos infecciosos.

1.1.1. DESCRIPCION GENERAL DE LA FORMACION DEL BIOFILM

Cualquier tipo de material en la tubería puede producir el desarrollo del biofilm; el acero inoxidable es tan susceptible como la tubería plástica. Aunque las superficies más lisas retrasan la acumulación inicial de bacterias, lo anterior a su vez puede relacionarse con el tipo de agua de la fuente, la cual puede reaccionar con el tipo de material de la tubería. En algunos estudios se ha encontrado que hay un 35 % menos de formación de biopelícula en materiales lisos como el vidrio comparado con el acero (Melo and Bott, 1997). El segundo factor importante en la formación de Biopelícula es el área superficial, a mayor área superficial, más espacio para la aglomeración de las bacterias. La temperatura es el tercer factor importante en la formación de biopelícula y se ha encontrado que cuando un fluido aumenta de 35° a 40 °C el espesor de la biopelícula aumenta en un 80%. En cuanto a los factores de tipo hidráulico los valores altos de velocidad no evitan la

formación y crecimiento de la biopelícula pues su desarrollo se realiza en la capa límite o subcapa laminar del fluido (Mittelman, 1985; Patterson, 1991; Meltzer, 1994; Sly, L. I. y V. Arunpairojana, 1998). En general los cambios hidráulicos se reflejan en un incremento en la resistencia friccional que se caracteriza por un período inicial de aumento bajo en el espesor de la biopelícula, seguido por un aumento rápido después de que el espesor alcanza un valor crítico correspondiente al espesor de la subcapa laminar. La reducción del diámetro efectivo de la tubería corresponde al 10% del efecto de la resistencia friccional. El efecto del número de Reynolds en el factor friccional para un tubo con biopelícula es similar a un tubo con una superficie rugosa en un rango de número de Reynolds de 5000 a 48000. Estos resultados fueron la conclusión del trabajo de Picologlou 1980, en un reactor que simula las condiciones de formación de la biopelícula. Se han calculado diferentes espesores de la subcapa laminar que van de 582 a 34 micrones, para diámetros de 0,4 a 4 pulgadas de tubería y velocidades de 0,06 a 3,6 m/s (Pittner, 1988). Además, Pittner encontró que los esfuerzos cortantes dentro de la subcapa laminar son mucho menores que los requeridos para desalojar una célula de la biopelícula. También es importante tener en cuenta que la escasez de los alimentos necesarios para el desarrollo de las bacterias limitará su crecimiento y reproducción. Bajo condiciones perfectas de crecimiento, una célula bacteriana se divide en dos células hijas (Harfst 1992), pero esta tasa de crecimiento nunca se observa realmente (en agua potable) porque son limitadas por el espacio y los alimentos disponibles. Las bacterias aerobias cerca de la superficie externa de una biopelícula consumen oxígeno, si la biopelícula es bastante densa, el oxígeno será agotado en la superficie de la tubería y se crea un ambiente anaerobio (Costerton, 1995 y 2000). Las contracciones tales como empalmes de tuberías y empalmes roscados son puntos más probables para tener zonas anaerobias.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Se plantea realizar un estudio de la problemática asociada al lavado de redes, comparación con otros países, y estudio de programas de lavado implementados.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar factibilidad de mejoramiento del procedimiento de lavado de redes.
- Generar una tentativa de norma de procedimiento operativo de lavado de redes de AP.

1.3. ALCANCES DEL ESTUDIO

En forma específica el trabajo de título pretende generar un texto tentativo de norma de procedimiento de lavado de redes, y aplicada a Chile, que apunte a mejorar la eficiencia del proceso y a la economía del agua. Dicho texto sería en base a la normativa existente fuera del país, más las conclusiones obtenidas de la investigación del lavado de redes y del modelamiento de una localidad implementando un programa de lavado

2. NORMATIVAS DE AGUA POTABLE APLICABLES AL LAVADO DE REDES

2.1. NORMATIVAS INTERNACIONALES

2.1.1. NORMAS Y REGLAMENTOS DE LAVADO DE REDES Y VELOCIDADES DE LAVADO

A continuación se detallan las normas y recomendaciones aplicadas en Norteamérica:

- 401 KAR 8:100 Sección 1 (10): Modificaciones y Ampliación del servicio. El gabinete puede negarse a aprobar las modificaciones de un sistema público de agua o la extensión del servicio a uno o más clientes en caso de que la modificación o ampliación de los servicios puede dar lugar a la incapacidad del sistema de agua para abastecer de agua compatible con el cumplimiento del servicio en 401 KAR 8:010 a través de 8:600 .
- 401 KAR 8:020 Sección 2 (14): Recomendaciones de lavado con un chorro de agua (Flushing). (A) Para proteger la salud pública, un sistema de distribución puede lavarse a fondo por lo menos dos veces al año, normalmente en primavera y otoño. La finalidad del lavado sistemático es para reducir la turbidez creada por el fregado de los sedimentos acumulados en las líneas de agua. El flushing comenzará en los grifos más cercanos a la fuente y se procederá en dirección hacia el exterior y final de las matrices principales. El flushing se seguirá en cada grifo o boca hasta que todos los rastros de la turbidez y color se hayan ido. Las bocas se abrirán y se cerrarán lentamente para evitar daños causados por el golpe de ariete. (B) Además de la regularidad prevista para el Flushing, las siguientes condiciones indicarán la necesidad de limpiar todo el sistema: 1. Una turbiedad en el sistema de distribución de más de cinco o

una unidad de NTU, según corresponda al sistema; 2. La incapacidad de mantener un adecuado residual del desinfectante en cualquier parte del sistema; y 3. Un conteo heterotrófico de gérmenes, o HPC, por encima de 500. (C) Otros indicadores de que el lavado es necesario serán las quejas de sabor, olor, color del agua y muestras de agua contaminada o reparaciones en la línea.

- La Junta de Estado de Salud Pública y Administradores del Medio Ambiente de los Grandes Lagos del alto del río Mississippi " Normas recomendadas para Obras Hidráulicas de 1992" (Normas de 10 Estados):

- Parte 8.1.1 "El sistema deberá estar diseñado para mantener una presión mínima de 14 mca a nivel del suelo en todos los puntos en el sistema de distribución en todas las condiciones de flujo."

- 8.1.6 parte " Los dispositivos utilizados en el lavado de redes deben ser del tamaño adecuado para proporcionar las corrientes que den una velocidad de al menos 2,5 metros por segundo en la matriz principal"

- Parte 8.5.6 "Todo lo nuevo, limpiado o reparado en la red de agua deberá ser desinfectados en conformidad con la American Water Works Association (AWWA) Estándar C651."

- Norma AWWA C651 seg. 5.2.2 para la desinfección establece lo siguiente: "... la velocidad de lavado en la matriz principal no será inferior a 0.76 metros por segundo....".
- "Criterios generales de diseño de aguas superficiales y suministros subterráneos", de julio de 1990, hace referencia en KAR 8:100 401, establece lo siguiente: "Un mínimo de presión de 21 mca debe estar disponible en el lado de descarga."

Cada propuesta de proyectos presentados a la División de Agua para la revisión debe incluir la documentación de apoyo que muestre que las líneas de agua

pueden lavarse adecuadamente al tiempo que se mantiene la presión mínima requerida. Cada presentación debe ir acompañada de un análisis hidráulico que evalúe los datos que pueden ser usados para configurar la propuesta de ampliación en los flujos de diseño y la media de los caudales máximos, incluyendo enturbiamiento. Este análisis debe incluir las líneas existentes al tanque de almacenamiento más cercano y estación de bombeo.

Para los proyectos propuestos es necesario presentar lo siguiente:

1) Una memoria de cálculo, evaluando si puede mantenerse una presión de 21 mca bajo el pick de demanda interna. Esto es necesario para la aprobación de cada propuesta.

2) Simular la máxima la velocidad del flujo manteniendo 14 mca en todo el sistema de distribución.

Si los 0.76 metros por segundos de velocidad de lavado no pueden ser satisfechos mientras se mantienen 14 mca, la zona será considerada deficitaria.

2.2. NORMATIVAS NACIONALES

2.2.1. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE

Según la normativa chilena, se define al agua potable, como agua que cumple con los requisitos microbiológicos, de turbiedad, químicos, radiactivos, organolépticos y de desinfección descritos en NCh 409/1, que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano.

Dentro de los parámetros importantes para el estudio está la turbiedad la cual corresponde a la interferencia óptica de las materias en suspensión en el agua que produce reducción de transparencia, dicha turbiedad es una medida de las

partículas presentes en el agua. Se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficacia de la filtración (por ejemplo, para determinar si hay presentes organismos que provocan enfermedades). Una alta turbiedad suele asociarse a altos niveles de microorganismos causantes de enfermedades. La turbiedad es uno de los parámetros al que los usuarios de un sistema de distribución de agua potable, son más sensibles por su fácil percepción, aunque un usuario no es capaz de percibir diferencia para niveles de turbiedad menores a 10 NTU.

Específicamente la normativa chilena exige un máximo de 2 NTU de turbiedad, la cual es coincidente con otras normativas como la española y la francesa.

En lo que respecta al cumplimiento de las normas para garantizar un agua de buena calidad, dichos parámetros son cumplidos a cabalidad en las fuentes de producción, salvo problemas puntuales en su operación o cambios en la fuente, y es en el sistema de distribución donde el programa de lavado tiene el objetivo de contribuir a mantener los parámetros de calidad de agua.

2.2.2. REQUERIMIENTOS DE CONDUCCION,REGULACION Y DISTRIBUCION

La norma chilena NCh 691.0f 98, establece los procedimientos generales que deben observarse para diseñar un sistema de conducción, regulación y distribución de agua potable desde la fuente hasta el comienzo de la instalación domiciliaria.

Particularmente para el presente estudio, es necesario tener en cuenta dicha normativa porque se está trabajando con el sistema de distribución, además se necesita subdividir el sistema de distribución, la subdivisión del sistema en zonas o cuarteles según la Nch 691, establece en el punto 7.3.2 "Los cuarteles se proyectarán de modo que la longitud total de las tuberías sea menor que 1000 m. Casos especiales quedarán a criterio de la Autoridad Competente".

Lo anterior será aplicado en el modelamiento de la red elegida.

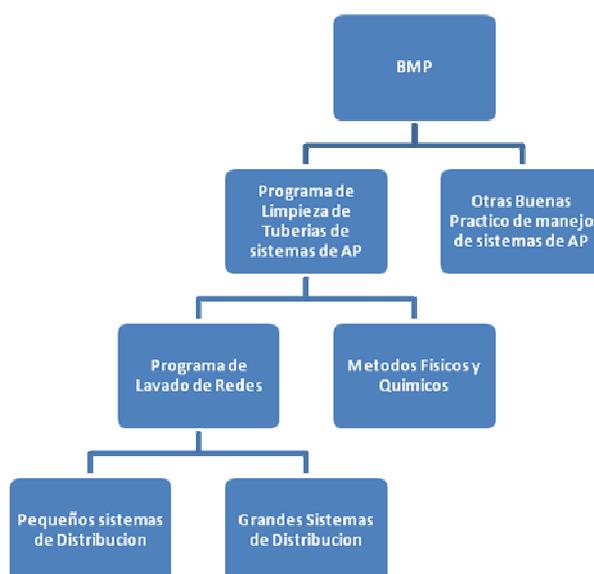
3. PROCEDIMIENTOS DE LAVADO EN OTROS PAISES.

Existe bastante información de Programas de lavado (Flushing Program) especialmente en Estados Unidos y Canadá. En Inglaterra, Francia y otros países de la comunidad Europea la información de los programas de lavado esta básicamente en boletines operativos, y de ello se desprende que el programa de lavado de la AWWA es citado como referente en todos estos países, existe también información en Sudamérica, particularmente un modelamiento hidráulico de lavado hecho en Colombia por una universidad, dicha modelación no fue calibrada con datos reales, y trata el tema de la formación de biofilm.

En forma general los programas de lavado están situados dentro de las políticas de buenas prácticas de manejo de los sistemas de distribución, las cuales están orientadas a asegurar una buena calidad del agua y un buen servicio a los usuarios del sistema.

Un esquema explicito donde se enmarcan los programas de lavado se presenta a continuación.

Figura1. Esquema de BMP.



3.1. MARCO GENERAL

A continuación se describen en detalle las BMP aplicables a sistemas de distribución de agua potable y los programas de lavado recomendados por los organismos a cargo del agua (Regulación, fiscalización, enseñanza, etc.) y empresas sanitarias en distintas partes del mundo.

3.2. RECOMENDACIONES DE LA EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY)

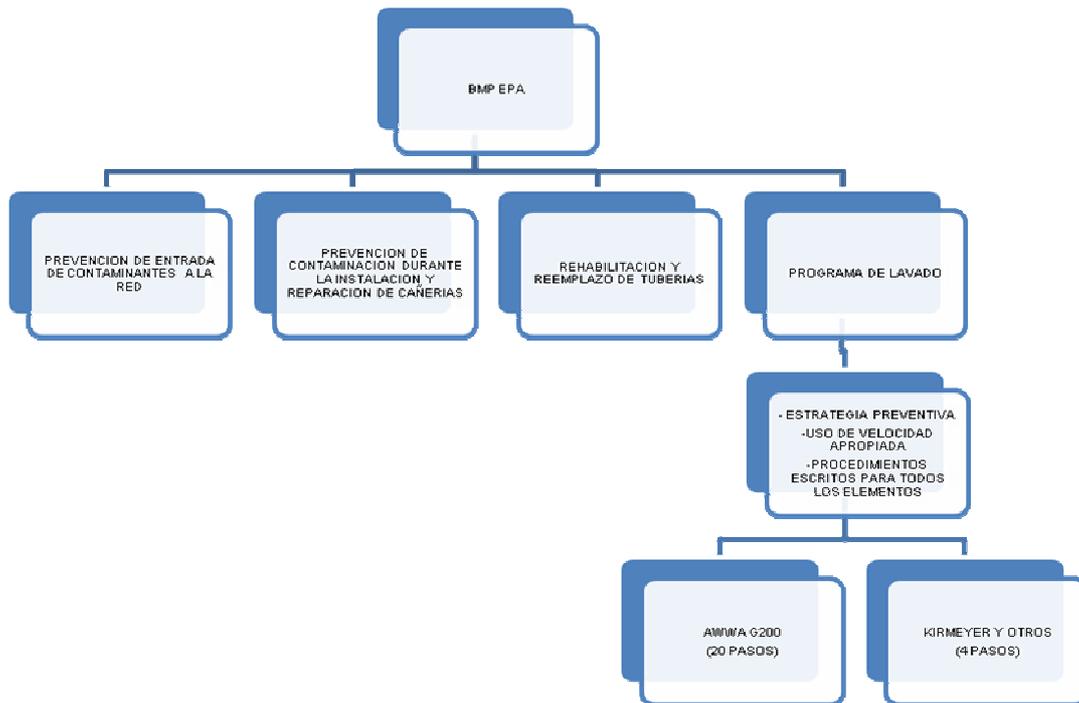
La EPA es el organismo gubernamental de Estados Unidos a cargo de la protección Medioambiental, y da recomendaciones generales en todas las áreas que puedan comprometer la vida humana así como su impacto en el entorno, esta agencia también fiscaliza y tiene atribuciones federales. La descripción general de las políticas de buenas prácticas de manejo de un sistema de distribución recomendadas por la EPA se presentan a continuación.

3.2.1. BMP DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE

El objetivo principal de las BMP es mantener la calidad del agua potabilizada, además de que mejoran la cantidad de agua, presión y metas de confiabilidad del servicio. Un ejemplo de esto, es si detecta un aumento significativo de las concentraciones de DBP (Subproductos de la desinfección) en el agua potabilizada del sistema de distribución, los sistemas pueden considerar el poner las BMP en ejecución para bajar niveles de DBP en su sistema de distribución.

La figura siguiente muestra en términos esquemáticos todas las recomendaciones planteadas por la EPA.

Figura 2. Esquema de las BMP planeado por la EPA.



Las BMP pueden ser particularmente eficaces en la reducción de DBP en el sistema de distribución, y esto incluye un:

- Manejo estratégico de la edad del agua.
- Desinfección de las bombas Booster.
- Un programa de limpieza con un chorro de agua.

Como se indicó estos puntos son utilizado para el control de los DBP, y contemplan la puesta en práctica de un programa de lavado de tuberías, siendo esta la segunda razón por la cual es muy común efectuar lavado de redes.

3.2.1.1. DESCRIPCION DEL DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA DE LAVADO DE REDES DE AGUA POTABLE

Un programa de limpieza con chorro de agua ayuda en la mantención del sistema limpio, tuberías libres de sedimentos, reducción de la demanda de desinfectante en las superficies de las tuberías, remoción de agua estancada y cualquier agua no potabilizada o contaminada que se incorpore al sistema (Kirmeyer y otros. 2000b). La limpieza con un chorro de agua se puede utilizar para tratar la pérdida de calidad del agua en puntos muertos. Si un punto muerto es inevitable, la industria y la dirección reguladora recomiendan instalar grifos o escapes con el propósito de limpiar con un chorro de agua (Friedman y otros. 2005).

Los elementos mínimos de un programa de limpieza con un chorro de agua se encuentran en el **estándar AWWA G200 (AWWA 2004e)** e incluyen:

- Una estrategia preventiva para evitar problemas de calidad del agua que incluya el punto que se limpiará con un chorro de agua y la rutina con que se limpiará.
- El uso de una velocidad apropiada en la limpieza con un chorro de agua para tratar los problemas de calidad del agua.
- Disponer de procedimientos escritos para todos los elementos del programa de limpieza con un chorro de agua, incluyendo el monitoreo de calidad del agua, requerimientos de regulación y procedimientos específicos de limpieza con un chorro de agua.

Los dos primeros puntos son recomendaciones que pueden ser puestas en práctica a nivel de ingeniería de diseño de redes de agua potable (AP), pues en el diseño de redes uno diseña por presión y minimización de costos (Grifos, etc.).

La EPA cita una guía desarrollada por **Kirmeyer y Otros. (2000b)** orientada a operadores de sistemas de distribución de agua potable en el desarrollo, implementación, y evaluación de la eficacia de programas de limpieza con un chorro de agua. El programa incluye los siguientes cuatro pasos:

Paso 1. Definir la conveniencia de limpiar con un chorro de agua como parte de un programa de mantenimiento general.

El manual recomienda que cuando en algunos puntos del sistema distribución se presentan problemas en la mantención de un residual del desinfectante, se debe efectuar un programa de limpieza con un chorro de agua.

Paso 2. Planeamiento y manejo de un programa de limpieza con un chorro de agua

Un programa aplicado específicamente en las zonas con problemas de calidad del agua, reduce al mínimo los costos innecesarios. Hay varios tipos de métodos aceptables incluyendo:

- La limpieza con un chorro de agua unidireccional (Unidirectional Flushing) es de uso frecuente para remover el biofilm y subproductos de la corrosión, aplicando una velocidad mínima de limpieza con un chorro de agua de 1.83 m/s. Velocidades más bajas se pueden utilizar para restaurar un residual de cloro. Este método puede alcanzar ahorros de agua de más del 40% comparado con “limpiar con un chorro de agua convencional”.
- La limpieza con un chorro de agua convencional (Conventional Flushing), generalmente es el método utilizado, porque necesita muy poco o nada de pre-diseño/ ingeniería comparado con “limpiar con un chorro de agua unidireccional”. Este método requiere menos planeamiento que la limpieza

con un chorro de agua unidireccional y puede ser puesto en ejecución más rápido para tratar problemas con un residual de cloro.

- El escape continuo (Continuous Blow-Off) se aplica comúnmente en sistemas que tienen puntos muertos y numerosos problemas de circulación del agua. Los escapes se pueden instalar con automatización, lo que disminuye los requisitos de trabajo comparados a otros métodos que limpian con un chorro de agua.

Paso 3. Implementación de un programa de lavado y recolección de datos.

La puesta en práctica de un programa de limpieza con un chorro de agua (Flushing Program) puede incluir un gran número de parámetros, por ejemplo:

- Determinación de la velocidad requerida para limpiar con un chorro de agua.
- Desarrollo de procedimientos operativos estándar.
- Dirección de las preocupaciones de seguridad del público y empleados.
- Requisitos públicos de notificación.
- Recolección y manejo de datos.
- Requisitos de divulgación.

Paso 4. Evaluación y revisión del programa de lavado con un chorro agua.

La evaluación de un programa de limpieza con un chorro de agua permite ajustarlo. La determinación del tipo de limpieza y si los procedimientos utilizados fueron eficaces para cumplir los objetivos del programa ayudara a los encargados en cualquier revisión del programa.

3.2.1.2. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA FORMULACION DE UN PROGRAMA DE LAVADO

Los siguientes puntos son importantes e considerar al efectuar un programa de lavado:

Disposición del Agua Desinfectada: Cuando las tuberías del sistema de distribución de agua se limpian con un chorro de agua o se drenan las instalaciones de almacenamiento, los operadores deben estar enterados sobre las regulaciones locales para la disposición del agua tratada con cloro o cloraminas. Si las tuberías que son limpiadas con un chorro de agua descargan directamente en cursos de aguas naturales, los sistemas pueden necesitar quitar los productos químicos desinfectantes antes de la descarga para proteger el ambiente acuático. Las limitaciones de los efluentes varían de acuerdo a las características del agua receptora (clasificación del uso, estándares de calidad del agua, características del flujo) y características de las descargas (flujo, duración, frecuencia).

Pérdidas de agua: Los programas que limpian con un chorro de agua producen una pérdida de agua. Esto es un costo agregado y podría ser molesto en áreas donde el abastecimiento suficiente del agua es una preocupación. Las ventajas de la limpieza con un chorro de agua compensan a menudo el costo del agua perdida. Un diseño detallado de un programa de limpieza con un chorro de agua reduce al mínimo las pérdidas de agua. El análisis de las quejas de los clientes y los registros de calidad del agua ayuda a enfocar la limpieza con un chorro de agua a las áreas y épocas donde son más necesarios.

Un programa de divulgación pública reduce la percepción de los clientes de que los operadores derrochan el agua cuando observan actividades de lavado.

3.2.2. OTRAS BMP APLICABLES A LA MANTENCION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCION

Hay una serie de planes de manejo y programas orientados a mantener los estándares de calidad del agua potabilizada. A continuación se detallan algunos:

- **Estrategia del manejo de la presión:** Las pérdidas de presión pueden ocurrir en el sistema de distribución como resultado de acontecimientos tales como limpieza con un chorro de agua, roturas en las matrices, interrupciones de la energía, e incendios. Transientes de presión (golpe de ariete) pueden ocurrir cuando hay un cambio súbito en la velocidad del agua, debido al cierre repentino de una válvula o parada repentina de una bomba. La onda de presión que resulta, con presiones bajas y altas que se alternan, recorren hacia adelante y hacia atrás el sistema de distribución hasta que la presión se estabiliza. Las Subpresiones en el sistema de distribución pueden permitir una revocación del flujo o la incorporación de agua no potabilizada de otra fuente por alguna conexión cruzada, la revocación del flujo puede levantar sedimentos y provocar un desprendimiento de biofilm, afectando la calidad del agua potable. Los transientes de presión también pueden crear disturbios hidráulicos que permiten al material del biofilm en la tubería desprenderse para entrar en el agua potabilizada.

Las normas del diseño de redes de agua potable sugieren que la presión del sistema sea mantenida dentro del radio de acción de 25 a 70 mca en todos los puntos del sistema de distribución (AWWA 1996). El estándar de la AWWA G200 indica que la presión residual mínima en el servicio de conexión bajo todas las condiciones de funcionamiento debe ser > 14 mca (AWWA 2004c).

Los procedimientos estándar de funcionamiento deben estar escritos para la operación de bombas, grifos y válvulas bajo una rutina, lo que en condiciones de emergencia pueden ayudar a reducir al mínimo los cambios repentinos de velocidad del agua que afectan la presión del sistema.

- **Programa de prevención de expulsiones de agua:** Consiste en enumerar las conexiones y asignar a las expulsiones como acontecimientos prioritarios de alta preocupación para sistemas de distribución de agua. A fin de evitar entradas de materiales al sistema. Toda expulsión de agua tiene un efecto posterior de succión en que pueden incorporarse elementos externos.
- **Programa de prevención de contaminación durante la instalación y reparación de tuberías del agua:** Este programa tiene por fin evitar la contaminación del agua del sistema de distribución debido a instalaciones de tuberías nuevas o roturas. La AWWA Standard C651-05 (AWWA 2005c) proporciona un método para desinfectar tuberías de agua recién construidas o tuberías de agua que han experimentado reparaciones.
- **Programa de Rehabilitación y Reemplazo de tubería:** El determinar un programa amplio y mejorar las tuberías de agua ayuda a la mantención de la calidad del agua y a proporcionar un servicio confiable. El reemplazo de tuberías y los varios tipos de recubrimiento de tubería pueden ayudar a mejorar la calidad del agua y generar un aumento de la capacidad de porteo de la misma, esto depende directamente de la calidad del agua de la fuente. La AWWA G200 estándar (AWWA 2004c) y varias otras publicaciones de la AWWA proporcionan las pautas para los elementos del programa.
- **Inspección del almacenamiento del agua potabilizada y programas de limpieza:** La inspección de las instalaciones de almacenamiento, proporciona la información necesaria para planear con facilidad el

mantenimiento y reducir al mínimo la entrada de contaminantes al sistema. Kirmeyer y otros. (2000b) Identifican tres tipos de inspecciones; rutinario, periódico y amplio.

Las inspecciones rutinarias, conducidas un día en base semanal, son sobre todo una inspección visual de la integridad estructural del tanque y de la seguridad del sitio. Las inspecciones periódicas, son conducidas de uno a cuatro meses, requieren subir el tanque a examinar visualmente las áreas que normalmente no son accesibles desde tierra. Las Inspecciones amplias se hacen de tres a cinco años dependiendo de los requisitos del estado y las pautas de la industria. Las inspecciones amplias evalúan la condición estructural de los componentes de almacenaje incluyendo características interiores.

Kirmeyer y otros. (2000b) Recomendó que las instalaciones cubiertas sean limpiadas de tres a cinco años, y las instalaciones destapadas de almacenaje sean limpiadas una o dos veces por año. La frecuencia de limpieza debe ser fijada de acuerdo con la información específica del sistema tales como informes de inspección y datos de supervisión de la calidad del agua.

- **Enfocarse a Áreas Problemáticas:** Una manera eficiente de mejorar la calidad del agua en el sistema de distribución y no gastar recursos en dar solución a toda la red es apuntar a áreas problemáticas específicas más que aplicar una solución al sistema entero.
- **Re-Suspensión de Sedimentos: Algunas** de las BMP tales como el aumento del caudal de bombeo del almacenaje, usando desagües, o limpiar con un chorro de agua las tuberías pueden causar la re-suspensión de los sedimentos que se habían depositado en las instalaciones de almacenaje o en las tuberías. Los sedimentos pueden ocasionar temporalmente quejas estéticas y también contener microbios o metales de partículas tales como plomo, cobre y hierro.

3.3. RECOMENDACIONES DE LA AWWA (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION)

La AWWA es el organismo que agrupa todo lo referente al agua en América del Norte y plantea normas, procedimientos, etc.

Según la AWWA la limpieza de tuberías y particularmente la limpieza con un chorro de agua (Flushing) son tareas importantes en la mantención de un sistema de distribución de agua.

Toda América del Norte se rige por las recomendaciones de la AWWA, y las empresas de servicios sanitarios presentan las mismas recomendaciones en todo Norteamérica, incorporado algunas variaciones a la “Guidance Manual for maintaining Distribution System Water Quality” de la AWWA – que indica a los servicios sanitarios el estándar que pueden utilizar para optimizar la calidad del agua en un sistema de distribución. Este documento citado también por la EPA y comenta las mejores prácticas de administración (BMP) en un protocolo final de 5 pasos, que complementa las recomendaciones de la EPA. Estas prácticas han sido utilizadas y ejecutadas extensamente a través de Norteamérica y se detallan a continuación.

3.3.1. BMP DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Paso 1. Conocer tu sistema de distribución y definir los problemas.

Los principales problemas de calidad del agua del sistema de distribución se pueden atribuir a:

- Reacciones químicas/microbiológicas dentro del agua potabilizada.
- Interacciones químicas/microbiológicas entre el agua potabilizada y los materiales de la tubería.
- La introducción de sedimentos, limo, arena, y organismos provenientes de la fuente pueden provocar turbiedad, sabor, olor y color.

- Interacción química/microbiológica entre el agua potabilizada y el limo/sedimentos, etc.
- Intrusión directa química/microbiológica en el sistema de distribución.

Paso 2. Fijar metas de calidad del agua y establecer los objetivos preliminares de funcionamiento.

Para maximizar la calidad del agua del sistema de distribución en función de la seguridad y satisfacción del consumidor, todas las empresas sanitarias deben tener un programa de supervisión eficaz de la calidad del agua. Un programa como mínimo debe:

- Proporcionar regularmente la información sobre la calidad del agua de la fuente.
- Asegurarse que el agua potabilizada que se incorpora al sistema de distribución cumpla todos los estándares aplicables a la desinfección y turbiedad.
- Supervisar la calidad del agua del sistema de distribución en la frecuencia prescrita y buscar si hay muestras de deterioro de la calidad del agua.
- Supervisar los parámetros secundarios, tales como pH, temperatura, alcalinidad, turbiedad y color, a través del sistema de distribución para evaluar cambios en la calidad del agua, debido al contacto con los materiales del sistema de distribución y edad extendida del agua.
- Estar atento a cambios del agua de la fuente, trastornos del tratamiento y a los acontecimientos en el sistema de la distribución que pueden afectar la seguridad, calidad, o cantidad.

Una vez que se establece un muestreo, las metas de calidad del agua para los parámetros supervisados deben ser indicadas.

Los operadores deben establecer estándares de funcionamiento específicos para ayudar a resolver las metas de calidad del agua (ej. presión mínima de 14 mca, residual mínima de 0.2 mg/l, edad máxima del agua 3 días, etc.).

Paso 3. Evaluar las alternativas y seleccionar la más Apropriada.

Se utiliza la información de los pasos 1 y de 2 para desarrollarse, evaluar y seleccionar la alternativa preferida para tratar los problemas de calidad del agua. Cada uno de los caminos conocidos en el paso 1 se puede tratar en cierto grado con las prácticas relacionadas a la supervisión, mantenimiento, ingeniería, y/o gerencia. Dependiendo del tipo de problema de calidad del agua, la solución más apropiada puede requerir cambios en operaciones o prácticas de mantenimiento, supervisión adicional o una solución dirigida a la fuente o dentro del sistema de la distribución.

Es importante observar que las actividades de operación y mantenimiento del sistema de distribución ayudan solamente a mantener las condiciones de calidad del agua en el sistema de distribución. Como tal, el tratamiento adecuado de la fuente es el primer paso hacia mejorar calidad del agua del sistema de la distribución. El agua tratada debe ser idealmente anticorrosiva, químicamente estable, no incrustante y debe estar libre de organismos patógenos. El agua debe también ser estable desde el punto de vista microbiológico para reducir al mínimo el potencial de crecimiento en el sistema. Esto significa que el contenido orgánico debe ser bajo y que el agua debe ser biológicamente estable.

Además, la inestabilidad del pH, que da lugar a fluctuaciones del pH en el sistema de distribución, causa problemas porque las tuberías y las incrustaciones metálicas quedan expuestas a variaciones o condiciones cíclicas de pH y son más susceptibles al desprendimiento del metal y precipitación que en comparación con condiciones más estables. Las fluctuaciones rápidas o extensas del pH pueden también accionar cambios y crecimientos microbianos en el agua.

Paso 4. Poner las BMP en ejecución y supervisar su eficacia

Este paso pone en acción el plan recomendado del paso 3. Las prácticas de funcionamiento se deben poner en ejecución para reducir al mínimo la edad extendida de las aguas, mantener la presión positiva, controlar la dirección y velocidad del agua. Es importante reducir al mínimo la edad del agua en el sistema de distribución porque las reacciones dentro del agua a granel y entre el agua a granel y los materiales de las tuberías causan degradación de la calidad del agua. Es importante mantener presiones positivas a través del sistema y asegurarse que la entrada de contaminantes no ocurra. Varios códigos de buenas prácticas y manuales sugieren 14 mca como presión mínima para mantener bajo condiciones extremas de funcionamiento tales como el caudal de incendio. Los operadores deben procurar reducir al mínimo fluctuaciones rápidas y/o extremas de velocidades del flujo y reducir al mínimo la frecuencia de cambios de flujo. Estos tipos de cambios pueden levantar los sedimentos y traer por ende partículas en el agua lo que causa el deterioro de la calidad del agua.

Los procedimientos de mantenimiento incluyen la limpieza general y particularmente mediante un chorro de agua. La limpieza con un chorro de agua ayuda a quitar el agua estancada y los contaminantes indeseados que pudieron haberse incorporado inadvertidamente al sistema. El limpiar con un chorro de agua ayuda a mantener el sistema libre del sedimento si se alcanzan las velocidades suficientes para el lavado. Las técnicas para la limpieza de tuberías son variadas e incluyen (raspar mecánicamente, cerdos de limpieza, esponjas, limpieza química y chorro de agua). Cada técnica tiene sus ventajas y desventajas y se debe adaptar al problema específico.

Las actividades de mantención normalmente utilizadas también incluyen reparaciones de emergencias en la tubería. Esto incluye guardar el agua contaminada fuera en un foso, limpiar la tubería con un chorro de agua en la vecindad de la rotura, aplicando desinfectante a todos los componentes que potencialmente fueron contaminados y una prueba bacteriológica al agua que

conducía para confirmar la ausencia de contaminación. Estas prácticas sanitarias son también necesarias en la construcción y habilitación de nuevas redes de agua potable. Las prácticas de desinfección deben seguir los estándares de la AWWA.

Se debe resguardar la calidad del agua durante diseño del sistema. Las tuberías en los callejones sin salida deben ser evitadas o tomadas las precauciones para reducir al mínimo la edad del agua (ej. Limpiar con un chorro de agua, escapes, etc.) La presión de las zonas se debe planear o configurar para reducir la edad del agua y mantener calidad del agua.

Paso 5. Concluir Estándares de Funcionamiento y Desarrollar Procedimientos de Funcionamiento Estándar

El servicio de agua potable debe desarrollar procedimientos de funcionamiento estándar (SOP). Los estándares de funcionamiento preliminares propuestos en el paso 2 se deben revisar y cambiar si es necesario para reflejar las lecciones que se aprendieron durante la puesta en práctica. Los SOP se deben desarrollar para cada función de la operación y mantenimiento que afecte la calidad del agua del sistema, incluyendo la inspección, mantenimiento, operaciones de almacenaje, programa de lavado, desinfección de redes, disposición del agua tratada con cloro, etc.

Las metas de calidad del agua para el sistema de distribución y las metas para una función particular se deben describir específicamente en los SOP. Los SOP deben incluir todas las actividades necesitadas para desarrollar el procedimiento. Los SOP deben describir el trabajo, equipo y materiales necesitados para terminar las actividades. Se deben delinear y describir claramente los pasos y la terminación del trabajo. Las actividades deben ser repasadas periódicamente y modificadas basadas en la entrada de datos reales de los grupos afectados para asegurarse que los SOP siguen siendo exactos, beneficiosos y fáciles de seguir.

3.3.1.1. DESCRIPCION GENERAL DEL PROGRAMA DE LAVADO PROPUESTO POR LA AWWA

Varios procedimientos se pueden utilizar para mantener o mejorar la calidad y capacidad de los sistemas de agua. La práctica más común es la limpieza con un chorro de agua (Flushing).

La velocidad de flujo en la mayoría de las tuberías de las redes de agua potable es muy baja. Las tuberías se diseñan para manejar el caudal de incendio, que puede ser varias veces más grande que el flujo doméstico. Consecuentemente, los subproductos de la corrosión y otros sólidos tienen tendencia a depositarse en el fondo de las tuberías. Este problema se presenta comúnmente en puntos muertos de las redes de agua potable y en áreas de bajo consumo de agua.

Estos depósitos pueden reducir la capacidad de la tubería, ser fuente de color, olor, y gusto cuando los depósitos en el agua son re-suspendidos por un aumento en la velocidad o cambio del sentido del flujo del sistema de distribución. El crecimiento del biofilm en las redes es también un problema. La limpieza con un chorro de agua a altas velocidades (superior a 0.76 m/s), por lo menos dos veces al año en las áreas problemáticas, quitará normalmente la mayor parte de las sustancias depositadas y el agua añeja.

3.3.1.2. DETALLE DEL PROGRAMA DE LAVADO DE LA AWWA

La limpieza con un chorro de agua implica la abertura completa de un grifo situado cerca de las áreas problemáticas. El grifo se debe mantener abierto mientras sea necesario para limpiar el sedimento con un chorro de agua hacia fuera, este puede requerir hasta tres cambios del agua.

Solamente la experiencia de un operador podrá decir cuántas veces o cuánto tiempo ciertas áreas deben ser limpiadas con un chorro de agua. Algunos sistemas encuentran que las tuberías de un punto muerto se deben limpiar con un chorro de agua semanalmente para evitar quejas del cliente.

No es común que sistemas grandes limpien masivamente con un chorro de agua, pero si las áreas problemáticas se limpian con un chorro de agua en respuesta a quejas de los clientes.

Si se encuentra necesario limpiar regularmente con un chorro de agua un sistema, éste debe ser incluido como parte del programa de mantenimiento del sistema. Esto no sólo elimina muchas quejas del cliente, sino que también ayuda a reducir las reparaciones por metro de la red.

La limpieza con un chorro de agua se hace a menudo conjuntamente con el mantenimiento de los grifos.

Los procedimientos específicos recomendados por la AWWA para la formulación de un programa de lavado de redes de agua potable se detallan a continuación. Los siguientes 20 puntos son los mínimos a ser considerados cuando se desarrolla un programa de limpieza con un chorro de agua:

1. Tener un mapa del sistema y reunir la experiencia previa para planear el horario de limpieza con un chorro de agua (Flushing). Se debe poner un particular énfasis en áreas donde ha habido una alta incidencia de quejas del cliente.
2. Si el sistema completo va a ser limpiado con un chorro de agua, el proceso debe comenzar en el área más cercana al pozo o la planta de tratamiento y después progresar hacia fuera. Si solamente va a ser limpiada un área con un chorro de agua, el proceso se debe empezar en el punto más cercano a la fuente.
3. La limpieza del sistema con un chorro de agua por la tarde o en la noche puede lograr alcanzar gran parte del sistema y causar pocas quejas a los clientes. Lo bueno de esto es que pocos clientes verán la mala calidad del agua que sale del sistema.
4. En lo posible, los avisos a los medios de divulgación pública se deben hacer explicando sobre el horario de limpieza con un chorro de agua de manera adelantada. De esta forma se alertará a los clientes que puede haber una condición temporal del agua turbia.

5. Los clientes deben ser informados por adelantado que después de terminada la limpieza con un chorro de agua, ellos deben hacer funcionar un chorro de agua un tiempo suficiente para limpiar su línea de servicio antes de usar el agua. También deben ser informados que el agua es segura de beber, pero se debe advertir que no laven las ropas mientras el agua esté turbia porque esta podría decolorarse.
6. El trabajo de los equipos que limpian con un chorro de agua se debe coordinar para evitar estar limpiando demasiados grifos con un chorro de agua inmediatamente. Si demasiados grifos se abren al mismo tiempo, podría ser creada una presión negativa. Esta presión negativa aumenta las posibilidades de contaminación a través de cualquier conexión-cruzada existente.
7. Antes de comenzar la limpieza con un chorro de agua se debe examinar el área en la cual se drenara el agua efluente del procedimiento, para asegurarse que esta agua no fluirá a sótanos, excavaciones, o edificios aledaños. Además debe cerciorarse que los drenes de tormenta estén abiertos.
8. El flujo requerido en la tubería para limpiar con un chorro de agua en forma eficaz es por lo menos 0.76 m/s o 830 l/min en una cañería de 150 milímetros. Un flujo de 1.07 m/s o 1.173 l/min se considera mejor.
9. Puede ser necesario agregar adicionalmente pozos o bombas impulsoras durante la limpieza con un chorro de agua, para asegurarse de que la cantidad de agua y presión necesarias están disponibles.
10. Los grifos utilizados para la limpieza con un chorro de agua se deben abrir completamente. La válvula del grifo no está pensada para regular el flujo.
11. Las válvulas de los grifos se deben abrir y cerrar lentamente para prevenir el golpe de ariete.

12. El uso de difusores flexibles, pantallas, o un tramo de la manguera de incendio son medios para disipar la fuerza de la corriente de agua recomendados, especialmente en áreas con empedrados.
13. La limpieza con un chorro de agua debe ser detenida si el agua está dañando un camino o un parque. Si el daño ya se ha hecho, estos deben ser marcados con una barricada encendida y la localización debe ser registrada para poder reparar el daño cuanto antes.
14. Los grifos utilizados no deben ser desatendidos, una vez terminado el lavado. (abandonados).
15. La limpieza con un chorro de agua se debe continuar no más que lo necesario para quitar el sedimento y para asegurarse de que el grifo está funcionando correctamente.
16. Cuando se termina el uso de un grifo, se debe asegurar que este opera correctamente. Un operador puede determinar esto generalmente poniendo en la entrada un inyector y si se forma una sensación de vacío leve, o se escucha que el aire es aspirado cuando un casquillo del enchufe se atornilla.
17. Los grifos que han tenido sus drenes tapados deben ser desaguados si existe la posibilidad de que haya congelamiento.
18. Los casquillos del inyector se deben ajustar firmemente para que las personas no autorizadas no puedan quitarlos a mano.
19. Los expedientes de limpieza se deben guardar con el número de código de cada grifo limpiado con un chorro de agua, tiempo de duración de la limpieza con un chorro de agua, la condición del agua al principio y al final de la limpieza con un chorro de agua, y otras consideraciones especiales.

20. Los grifos detectados inoperantes se deben señalar con una bandera y reportar para su reparación inmediata.

3.3.1.3. ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS A UN PROGRAMA DE LAVADO

El uso de las siguientes actividades y técnicas, dependen específicamente del sistema de distribución analizado, por su relación directa con las características del agua de la fuente.

A) Tratamiento de Cloración: Cuando se reduce la capacidad de carga por crecimiento de biofilm en las tuberías, la cloración se puede utilizar con eficacia para solucionar el problema. La sección afectada del sistema se le da generalmente una dosis alta de cloro (golpe de cloración) para matar a las bacterias que causan el problema. Este “golpe de cloración” debe ser seguido para limpiar con un chorro de agua y conseguir retirar el biofilm y el cloro del sistema. Todas las precauciones previamente indicadas referentes a la limpieza con un chorro de agua son aún más importantes en esta situación, especialmente éstas referentes a informar a los clientes de limpiar sus líneas de servicio (hacer correr la llave) con un chorro de agua durante un tiempo a fondo antes de usar el agua.

Una segunda dosis de cloro puede ser necesaria para terminar el trabajo. Un cloro libre residual se debe mantener a través del sistema después de que el tratamiento se haga para evitar que el biofilm reflorezca.

B) Limpieza de tuberías mediante otras técnicas: La limpieza mecánica puede ser necesaria en áreas donde hay excesiva tuberculación y depositación, esto es común en tuberías viejas, o donde hay bacterias del hierro o un problema severo de crecimiento del biofilm. Lo primero es intentar limpiar las tuberías con problemas con un chorro de agua. Si la limpieza con un chorro de agua no funciona, se puede utilizar un dispositivo

de purga o de limpieza con aire tal como esponjas o cerdos. Estos medios, además de quitar el material indeseable de una tubería, pueden aumentar el caudal a través de la misma.

Al quitar la incrustación o tuberculación se pueden causar fugas que deberán ser reparadas. El proceso de limpieza no es siempre una solución permanente a los problemas de calidad del agua. A menos que la tubería limpiada reduzca lo corrosivo del agua, la condición probablemente volverá.

B.1) Preparativos para la Limpieza de la matriz Principal: Un planeamiento cuidadoso debe preceder a una operación de limpieza de la tubería. La sección de cañería o del sistema que se limpiarán debe primero trazarse. La fuente de agua, los puntos de entrada y salida, y el método de disposición del agua excedente, deben estar definidos. Los vehículos que se utilizarán, el equipo, tamaño del equipo, y los materiales necesarios deben ser enumerados y tomados las medidas para que ellos estén disponibles.

Se debe también notificar a los otros servicios y organismos que seán afectados por la operación prevista, incluyendo policía y cuerpos de bomberos. Las agencias reguladoras se deben consultar referentes a cualquier requisito especial, y cualesquiera procedimientos de seguridad necesarios que deban ser planeados.

Antes de que un equipo de trabajo efectúe cualquier tipo de limpieza, se debe aplicar oleadas de presión para el control del sistema. La parada repentina del flujo si una válvula funciona demasiado rápido o si un cerdo para abruptamente puede causar una gran oleada de presión. Estas oleadas pueden levantar la presión del sistema de 14 a 42 mca por cada

metro por segundo de cambio de velocidad. Esto puede destruir las tuberías.

B.2) Mecanismos de Limpieza de la Matriz Principal

Los procedimientos de limpieza de tuberías más conocidos y utilizados son los siguientes:

- **Purgar El Aire (Air Purging):** En el proceso de Air-Purging, el aire mezclado con agua se utiliza para limpiar las tuberías pequeñas hasta 4 pulg. (100 milímetros) de diámetro. Antes de que se realice el procedimiento, todo el servicio de agua potable debe ser suspendido. El aire se fuerza con un compresor en el extremo de aguas arriba de una cañería después de que la válvula de escape se abra en el extremo en sentido descendente. Este procedimiento puede ser aplicado en redes menores y pasajes sin salida.
- **Swabbing (Limpieza con Esponjas):** Las esponjas utilizadas en operaciones de limpieza de tuberías son tapones de espuma de poliuretano. Estos tapones son algo más grandes que el diámetro interior de la tubería que se limpiará, y son forzados a través de la tubería por la presión del agua. Estas esponjas pueden quitar parte del biofilm y el sedimento flojo sin la necesidad de un flujo a alta velocidad. Sin embargo, no quitarán la tuberculación endurecida. Las esponjas usadas salen hacia fuera rápidamente en tuberías fuertemente incrustadas y deben ser substituidas con frecuencia.

Las esponjas se pueden comprar comercialmente en tamaños específicos o en bloques (las esponjas en bloque se pueden cortar para calzar). El material de la esponja está disponible en grados suaves y duros. Las esponjas suaves se utilizan típicamente para las tuberías que tienen una sección representativa o una condición indeterminada. También se utilizan

en tuberías donde se espera que la reducción en diámetro de la tubería sea 50 o más por ciento. También pueden ser utilizadas en tuberías donde hay incrustaciones severas y donde un cerdo (esponja mas rígida) no puede ser utilizada debido a las curvas u obstrucciones parciales de la tubería. Las esponjas duras son de uso general en tuberías más nuevas, en las tuberías que tienen reducción de menor importancia en diámetro, y en las tuberías donde los depósitos duros necesitan continuamente limpiarse a presión.

Un equipo con experiencia puede limpiar más de mil metros de cañería por día si la operación es planeada correctamente. Los procedimientos de swabbing pueden variar con cada trabajo, pero el procedimiento típico es el siguiente:

1. Notificar al público y cerrar el sistema.
2. Instalar el equipo necesario en la entrada y la salida para lanzar y recuperar las esponjas.
3. Aislar la cañería del agua o la porción del sistema que se limpiará. Cerciorarse de que todas las válvulas en la cañería que se limpiará estén abiertas.
4. Abrir la válvula de abastecimiento de agua, desde aguas arriba para lanzar la esponja y controlar la velocidad.
5. Las esponjas se deben hacer funcionar a la velocidad recomendada por el fabricante. Si viajan demasiado rápido, quitan menos material y salen hacia fuera más rápidamente.
6. Estimar el caudal usando un pitotmetro en la salida o a un metro de la fuente de entrada.
7. Observar el tiempo de entrada y estimar el tiempo de salida. Si el tiempo del recorrido es demasiado largo, la esponja pudo haberse pegado. En este caso se debe Invertir el flujo, y medir el tiempo de vuelta para determinar la localización de la obstrucción.

8. Realizar bastantes pasadas con la esponja y limpieza con un chorro de agua hasta que llegue a estar clara el agua en el plazo de 1 minuto de iniciado el funcionamiento.
9. Contar todas las esponjas para cerciorarse de que no se dejó ninguna en una cañería. Una limpieza típica puede tomar a partir de 10 a 20 esponjas.
10. Hacer una pasada final con la esponja hasta que el agua está clara de partículas.

- **PIGGING:** En esta técnica los cerdos de limpieza (PIGS), son balas tiesas formadas por espumas que son enchufadas y forzadas a través de una cañería por la presión del agua. Son similares a las esponjas, pero más duras, menos flexibles, y más durables. Estos permiten quitar la incrustación más dura. Sin embargo, los cerdos poseen limitada flexibilidad, lo que reduce su capacidad para cambiar de dirección y en los puntos donde hay cambios de sección. Los cerdos se compran comercialmente en varios tamaños, densidades, grados de flexibilidad, y aspereza externa. Existen diversos tipos de cerdos para el uso en la limpieza del sistema de distribución. Cerdos especiales pueden ser hechos para la mayoría de las situaciones. Los más utilizados generalmente se clasifican como cerdos pelados, cerdos de limpieza y cerdos raspadores.

Los cerdos pelados, hechos con espuma de alta densidad, son los primeros en ser enviados a tuberías con tuberculación para determinar el diámetro interior de las obstrucciones.

Los cerdos de limpieza tienen una capa resistente de caucho sintético de poliuretano aplicado en un patrón entrecruzado. Cuando éste es enviado a través de una cañería, quita la mayoría de los tipos de incrustación y de crecimientos. Un cerdo pelado hecho de espuma de baja densidad o una esponja se envía a veces detrás de un cerdo de limpieza de tamaño insuficiente para mantener el sello de la tubería.

Los cerdos raspadores tienen espirales de carburo de silicio o cepillos endurecidos de alambre de acero. Estos cerdos se utilizan para quitar incrustaciones y tubérculos más duros. En la limpieza con cerdos raspadores éstos pueden aumentar de tamaño tras ser enviados a través de una cañería para quitar las capas de incrustación gradualmente. Durante un lanzamiento desde un grifo, una fuente externa de agua es necesaria para forzar la esponja o el cerdo aguas abajo del grifo en la cañería. Esta agua es provista por una manguera de incendio cualquiera conectada con un grifo fuera de la zona aislada. El cerdo entonces será empujado a lo largo de la cañería por el agua del sistema de distribución. Los operadores pueden lanzar un cerdo en tuberías más grandes quitando el espejo de una válvula de compuerta e insertando el cerdo en la cañería a través del cuerpo de la válvula.

Los procedimientos de Pigging varían según las condiciones previas de la tubería, la localización de la sección que se necesita limpiar, y el tipo de cerdo que se utilizará. Los operadores deben determinar el procedimiento que se utilizará en cada localización independientemente, especialmente para tamaños más grandes de la tubería. La primera vez que se utilizan los cerdos, los operadores deben trabajar con alguien experimentado en usar el equipo y la ejecución de la limpieza. Un procedimiento general para usar los cerdos de limpieza de tuberías es el siguiente:

- 1.** Notificar al público y aislar el sistema.
- 2.** Instalar el equipo necesario en los puntos de entrada y salida para lanzar y recuperar los cerdos. En muchos casos, será necesario cortar la cañería para instalar el equipo.
- 3.** Aislar la cañería del agua que se limpiará. Asegurarse que todas las válvulas de compuerta en la cañería que se limpiará estén abiertas.

4. Tomar los cuidados, para evitar cambios repentinos de velocidad o paradas en el movimiento del cerdo, lo que causará oleadas destructivas de presión de agua.
 5. Abrir el abastecimiento de agua por aguas arriba para lanzar el cerdo.
 6. Tomar el tiempo de paso del cerdo para calibrar el ajuste de la válvula para alcanzar la velocidad deseada.
 7. Controlar la velocidad del cerdo con la válvula del grifo o la válvula de escape en sentido descendente. Las velocidades típicas son de 0.3 a 1.5 m/s. Si viajan los cerdos demasiado rápido, quitan menos material y salen hacia fuera más rápidamente.
 8. Hacer funcionar al final un chorro hasta que el agua retorne claramente.
- **Raspadores de Metal (Metal Scrapers):** Son unidades de limpieza forzadas a través de una cañería por la presión del agua, que tienen raspadores de metal. Consisten en una serie de secciones del cuerpo en las cuales los resortes de acero al carbón endurecido se montan en láminas de varias formas para poder raspar y pulir. Las secciones están libres de rotar y son empujadas a través de la cañería por la presión del agua que actúa en contra de los conos del empujador.
 - **Limpieza mediante Power-Driven:** Cuando existen depósitos en una tubería muy gruesos o densos, la limpieza mecánica con una unidad de impulsión de energía es necesaria. En este proceso, una barra similar a una barra de la alcantarilla se utiliza para tirar de un cortador a través de la cañería para desalojar el material adherido. Este tipo de trabajo se debe generalmente realizar por compañías especializadas.

C) Procedimientos Finales de Limpieza

Después de que se haya limpiado la tubería mediante alguno de los métodos enumerados anteriormente, esta debe ser lavada con un chorro de agua hasta que esta escurra cristalina. La tubería debe ser tratada con cloro antes que vuelva a ser dado el servicio (rehabilitación de tuberías). En forma conjunta hay que chequear que todas las válvulas se hayan reactivado. Antes y después de una limpieza se realiza una prueba del flujo en las tuberías que deben ser limpiadas. Estos resultados de la prueba después de la limpieza indicaran si el procedimiento fue acertado o si una limpieza adicional es necesaria. La tuberculación puede volver ocurrir después de limpiar incluso a una tasa más rápida (esto depende del agua de la fuente). El coeficiente de flujo declinará de nuevo a su nivel anterior. Por esta razón, la limpieza sola no logra mucho.

Para el caso de tuberías de hierro es recomendable que después de acabada la limpieza, una delgada capa de **mortero-cemento** se aplique a las paredes de la tubería (revestidas in situ). Esto no sólo evita que se repita la deterioración superficial interior, sino que mejora la calidad del agua, volumen y presión de la red.

3.4. EXPERIENCIAS CANADIENSES RELACIONADAS AL LAVADO DE REDES

Toda América del Norte (Estados Unidos, Canadá y México) se rige por las recomendaciones de la AWWA. En Canadá las empresas de servicios sanitarios han incorporado algunas variaciones a la “Guidance Manual for maintaining Distribution System Water Quality” de la AWWA – que indica a los servicios sanitarios el estándar que pueden utilizar para optimizar la calidad del agua en un sistema de distribución. Este documento citado también por la EPA comenta las mejores prácticas de administración (BMP) en un protocolo de 5 pasos. Dichas prácticas han sido utilizadas y ejecutadas extensamente a través de Norteamérica y particularmente en Canadá.

Las prácticas de limpieza con un chorro de agua en Canadá son reconocidas como la clave para la mantención de la calidad del agua y para solucionar quejas de calidad del agua en la mayoría de los sistemas de distribución.

3.4.1. RECOMENDACIONES DE LA BRITISH COLUMBIA WATER & WASTE ASSOCIATION

Dentro de las políticas de la British Columbia Water & Waste Association se tiene que un sistema de distribución de agua grande o pequeño requiere una limpieza regular para garantizar a los clientes tener un agua segura y sin quejas. Para todo esto es necesario entender la degradación de la calidad del agua y desarrollar las estrategias apropiadas.

Una de las buenas recomendaciones es la “Guía Nacional de Infraestructura Municipal Sostenible” (*The National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure*), la cual define que la limpieza del sistema de distribución es “cualquier programa, tecnología, proceso, método de funcionamiento o práctica de gerencia que reduzcan o prevenga la degradación de la calidad del agua en un sistema de agua o en el ambiente de la recepción.” Esto incluye lavar con un chorro de agua (flushing), limpieza por medios físicos como pigging para quitar biofilms, sedimento, y subproductos de la corrosión en interiores de la matriz del agua, lo que mejora generalmente la calidad del agua y su capacidad hidráulica. Lo anterior es coincidente con lo planteado por la EPA y AWWA.

Las tuberías se deben limpiar con un chorro de agua si hay una baja en la mantención de la calidad del agua, para maximizar la capacidad hidráulica, para quitar el agua estancada en los callejones sin salida (puntos muertos) y en respuesta a muestras no-acordes o quejas del cliente. Se recomienda además limpiar con un chorro de agua unidireccional, aislando las secciones de tubería o loops, de manera secuencial, típicamente de la fuente hacia la periferia. Las velocidades de flujo recomendadas deben alcanzar entre 1.5 a 2.0 m/s. Este sistema es más costosa su implementación y ocupa más tiempo que limpiar con

un chorro de agua convencional, pero la limpieza con un chorro de agua unidireccional es más eficaz y utiliza menos agua. Dependiendo del caso (ej. en tuberías de más de 300mm), puede ser imposible alcanzar las velocidades del flujo requeridas para fregar adecuadamente las tuberías. La limpieza conjunta con esponjas suaves de espuma o pigging con cepillos de alambre, se pueden utilizar también. Aunque el pigging es más eficaz que limpiar con un chorro de agua o con esponjas, este requiere experiencia, materiales, y tiempo considerables.

Según lo indicado en la guía, “las quejas de calidad del agua se deben supervisar geográficamente”. Todos los administradores de un sistema de distribución deben utilizar un cierto tipo de gerencia de datos para seguir las quejas de calidad del agua y así optimizar su programa de limpieza.

Los modelos de computadora se pueden utilizar para simular la edad del agua y los residuales del desinfectante a través de un sistema de distribución. Esta información se puede entonces utilizar para identificar las áreas que requieren una limpieza con un chorro de agua más frecuentemente. Los modelos de computadora se pueden también utilizar para identificar las secuencias de limpieza con un chorro de agua (basadas en el método de limpieza con un chorro de agua unidireccional) y la velocidad de limpieza con un chorro de agua prevista para cada sección de la cañería del agua.

En un programa de limpieza del sistema de distribución que refleja BMP se tiene que:

- Aumenta la protección del abastecimiento de agua potable.
- Reducción de los riesgos a la salud pública.
- Mejora la estética del agua.
- Asegura conformidad con los permisos de funcionamiento.
- Reduce la demanda de desinfección.
- Mejora la capacidad hidráulica.
- Mejoran los residuales de la cloración.

- Reduce la sedimentación/turbiedad.
- Reduce el refloramiento/biofilm.
- Mejora la eficacia del grifo.
- Reduce costos operacionales.

Una de las definiciones importantes que incorpora la British Columbia Water & Waste Association al tema de la limpieza de redes de distribución es el separar el análisis según el tamaño del sistema.

3.4.1.1. PROGRAMA DE LAVADO PARA PEQUEÑOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE

Para sistemas pequeños de agua (Ej. Un parque de acoplados o un cuartel pequeño de una red) pueden poner en ejecución un programa de limpieza unidireccional del sistema de distribución.

Los pasos para la formación de un Programa de Lavado con un Chorro de Agua Unidireccional.(UDF), se detallan a continuación:

1. Investigar sobre programas de limpieza con un chorro de agua unidireccional (UDF) correctamente puestos en ejecución en otros sistemas pequeños.
2. Supervisar la calidad del agua regularmente del sistema de distribución (ej. cloro residual, turbiedad, SST).
3. Se deben localizar en el sistema los escapes (grifos, etc.) existentes e instalar nuevos cuando sea necesario.
4. Revisar los requisitos del drenaje y de la desinfección con cloro (ej. Eliminar el cloro de todas las aguas que se puedan incorporar a un curso de agua).

5. Desarrollar un programa de UDF que incluya el mantenimiento de grifos y ejercicio de válvulas (preparar mapas, formas de registro, respuestas de emergencia, etc.).
6. Obtener (comprar, alquilar, o pedir prestado) el equipo necesario (ej. Medidores de presión y caudal, disipadores de energía, medidor de turbiedad).
7. Notificar a los clientes por adelantado de posibles impactos, duración, etc.
8. Notificar el cuerpo de bomberos (si fuera aplicable) de la reducción en el caudal de incendio.
9. Comenzar el programa de UDF limpiando el depósito de regulación (si es posible).
10. Conducir el programa de UDF cada seis meses a tres años a menos que sea aconsejado de otra manera por algún de regulación (para sistemas estacionales conducir al principio de cada estación).
11. Efectuar la supervisión de la calidad del agua posterior a la limpieza con un chorro de agua.
12. Documentar los resultados e expedientes y actualizar los procedimientos.

Se recomienda además en sistemas pequeños, aplicar:

- **Limpieza con un chorro de agua puntual (Spot Flushing):** Se puede aplicar el Spot flushing en todos los callejones sin salida (puntos muertos) y otras localizaciones en respuesta a residuales bajas del cloro, pruebas bacteriológicas fallidas, o quejas del cliente.
- **Swabbing/Pigging:** Si hay tuberías que no se pueden limpiar por UDF (Uni-directional Flushing), se debe evaluar y chequear los riesgos, ventajas, y costos del Swabbing o Pigging.

3.4.1.2. PROGRAMA DE LAVADO PARA GRANDES SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE

Para el caso de grandes sistemas de distribución, que abarcan un conjunto de cuarteles. Se recomienda desarrollar los siguientes puntos con el fin de optimizar el sistema y dar solución a problemas de deterioro del agua en la red de distribución.

1. Investigación de la conducta inicial

- Consultar con el oficial del agua potable (DWO).
- Consultar con el departamento federal de industrias pesqueras y océanos y el Ministerio Provincial del Agua, Protección de la Tierra y del Aire con respecto a descargas.
- Materiales de investigación de AWWA, BCWWA y CSA.
- Investigación de programas acertados de limpieza en otros sistemas.
- Analizar los beneficios de distintas opciones (limpieza con un chorro de agua unidireccional v/s Pigging, etc).

2. Construir el Marco del programa

- Identificar los objetivos y metas.
- Identificar los requisitos de mano de obra/entrenamiento y recursos.
- Identificar los equipos necesarios.
- Delinear un acercamiento sistemático (ej. limpiar con un chorro de agua unidireccional en un punto con quejas en la calidad del agua).
- Preparar presupuesto.
- Fijar el horario según condiciones locales.
- Preparar plan de negocios.
- Evaluar y refinar el plan. (en curso)

3. Recopilación y Financiamiento.

- Presentar un plan de negocio al personal mayor, consejo o directiva (Incluyendo los requerimientos de regulación/recomendaciones, opciones recomendadas y requisitos de financiamiento).
- Proporciona las actualizaciones en forma frecuente. (en curso)

4. Desarrollo del Plan Técnico

- Considerar los requisitos reguladores (ej. La autoridad sanitaria, DFO, MWLAP, jurisdicciones locales, etc.).
- Comunicarse con las agencias reguladoras.
- Desarrollar un acercamiento (ej. por área o el sistema total).
- Determinar la secuencia (ej. depósito, estaciones de bombeo, pozo de bombeo, tuberías de agua).
- Identificar los desafíos potenciales (ej. Localizaciones específicas, tipos de tuberías).
- Utilizar las herramientas disponibles para ayudar a desarrollar un plan (ej. Modelo computacional).
- Desarrollar políticas y procedimientos (ej. Secuencia de flujo y velocidad).
- Fijar una línea de tiempo.

5. Desarrollar plan de descarga del agua

- Incorporar los requisitos reguladores.

6. Crear un Plan de Comunicaciones y Materiales

- Identificar específicamente las audiencias internas y externas necesitadas en la comunicación.
- Preparar un plan escrito, incluyendo procedimientos de respuesta a emergencias.
- Educar a todo el personal apropiado sobre lavado unidireccional, lavado puntual, limpieza con esponjas y cerdos de limpieza.
- Preparar al personal para las llamadas entrantes durante la limpieza con un chorro de agua (ej. Incremento de la turbiedad).
- Preparar materiales de educación y acceso a la información para audiencias externas, si es necesario.
- Educar a audiencias externas, si es necesario.
- Evaluar y refinar el plan (en curso).

7. Implementación de un Programa

- Notificar a todo el personal implicado y orientarlo en su conducta.
- Comunicar programa a los clientes (ej. emails, sitio Web, periódico, panfletos).
- Conducir pruebas previas a la limpieza con un chorro de agua (ej. presión, pH, turbiedad).
- Aumentar las concentraciones de desinfectante antes y durante la limpieza con un chorro de agua.
- Coordinar las demandas y la limpieza con un chorro de agua unidireccional.
- Coordinar horario con el cuerpo de bomberos.
- Empezar la limpieza (ej. depósito, estaciones bombeo, pozos de bombeo, tuberías de agua).
- Realizar prueba de comportamiento posterior a limpieza con un chorro de agua.

8. Registrar e Informar los Datos de Limpieza con un Chorro de Agua

- Preparar expedientes de terreno (Ej. Fechas, Tiempos).
- Actualización según lo construido (Ej. Planos).
- Divulgar los resultados del mantenimiento.
- Preparar las tendencias anuales que demuestran la salud del sistema.
- Transmitir la información a la autoridad sanitaria.
- Evaluar y poner al día los procedimientos.

3.5. EXPERIENCIAS EUROPEAS

De la revisión de los antecedentes disponibles (Normativas, boletines, etc.) principalmente en la web, se ve que el tema del lavado de redes no le es ajeno, sino por el contrario, es un procedimiento comúnmente aplicado, en respuesta a las quejas de los clientes, así como también en acción preventiva.

Los programas de lavado están incorporados dentro de los gastos generales de las empresas sanitarias y se consideran dentro del cálculo de la tarifa total. Se encuentran gran cantidad de boletines informativos de programas de lavado efectuados, que contienen básicamente una explicación del por qué es necesario efectuar un lavado, fechas y horas en las cuales se efectuará el procedimiento. Siempre va un número de contacto, para coordinar quejas u otros.

El programa más explícito del cual se tiene antecedentes es el formulado por la DWI y se detalla a continuación:

3.5.1. PROGRAMA DE LAVADO DE REDES DE LA DWI (DRINKING WATER INSPECTORATE)

La DWI es el organismo responsable del monitoreo y la calidad del agua en Inglaterra y Gales. Este chequea y evalúa continuamente las políticas preventivas y operativas del diseño y administración de las redes de agua potable.

El procedimiento del lavado de redes evaluado contempla lo siguiente:

1. Búsqueda de documentación relativa a programas de lavado con agua efectuados en el lugar.
2. Distinción del tipo de sistema a analizar según diámetro de la tubería (≥ 200 mm es considerado grande).
3. Definición de un diámetro límite de las tuberías a partir del cual el lavado con agua ya no es factible. (No es posible alcanzar las velocidades de lavado).
4. Uso de un modelo computacional u otras técnicas para planear y calcular la eficacia del lavado.
5. Calculo de las velocidad en las tuberías que aseguren un lavado eficaz.
6. Chequear las relaciones de velocidad con el diámetro del tubo.
7. Información sobre la operación de válvulas para concentrar los flujos y elevar las velocidades en los tubos hasta los niveles deseados.
8. Definición del tipo de lavado (Convencional con uso de grifos para alcanzar las velocidades de lavado u otro).
9. Determinación de los caudales adecuados para un lavado en redes con distintos diámetros.
10. Chequear el estado actual y correcto funcionamiento de grifos y escapes.
11. Definir las horas en que se realizarán operaciones de lavado (día o noche) para reducir al mínimo los potenciales problemas a la población.

12. Formular declaraciones escritas con tiempos y secuencias de las operaciones de lavado, para informar a la población.
13. Especificar las duraciones de lavado para cada grifo boca de riego o escape, si se realiza un lavado convencional.
14. Evaluar la eficiencia del lavado, mediante toma de muestras de los parámetros turbiedad, cloro, etc.
15. Evaluar métodos alternativos o complementarios que permitan quitar los depósitos en las tuberías.

3.6. EXPERIENCIAS PARTICULARES DE PROGRAMAS DE LAVADOS EFECTUADOS EN DISTINTOS LUGARES DEL MUNDO

3.6.1. MODELACION DE UN LAVADO HIDRAULICO DE TUBERIAS PARA EL CONTROL DEL BIOFILM, EN COLOMBIA

En Colombia se realizó una modelación hidráulica de una red identificando las zonas más propensas a la formación de una biopelícula, considerando los parámetros de velocidad de flujo y tiempo de permanencia de la zona en condiciones críticas.

Mediante la simulación hidráulica de la red de distribución, se analizaron las técnicas de Lavado Hidráulico (LH) y Lavado Hidráulico Unidireccional (LHU), comúnmente conocidos como el lavado Convencional y Unidireccional como herramienta para el control del crecimiento y desprendimiento de la biopelícula. Se establecieron criterios para la detección de zonas de formación potencial de la biopelícula, además de establecer políticas de operación en la red de distribución y definir las acciones para realizar un Lavado Hidráulico.

3.6.1.1. DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE LAVADO CONVENCIONAL UTILIZADO

El estudio se centró específicamente en el lavado hidráulico como mecanismo de limpieza físico. El Lavado Hidráulico (LH), o flushing, es la técnica para mejorar la calidad del agua, quitando la arena, sedimentos, y biopelícula de las paredes de la tubería. Los programas de LH comúnmente son respuesta a quejas de los usuarios después que se han hecho reparaciones o instalaciones o como mantenimiento preventivo del sistema. El LH no tiene un efecto duradero y debe ser repetido periódicamente. El LH convencional está definido como la apertura de grifos en un área específica durante un tiempo determinado, hasta conseguir que el agua de salida sea de la calidad deseada. Los parámetros que determinan el tiempo de abertura son la detección del desinfectante residual, turbidez y color.

El diseño del programa de LH consideró:

1. Localización de las válvulas de desagüe en puntos de presión baja y en puntos muertos para permitir la remoción de sedimentos.
2. Localización de grifos y válvulas donde el consumo es mínimo. En lo posible hay que diseñar o tener un sistema de distribución con suficiente capacidad hidráulica, que permita transportar agua a altas velocidades y altas presiones (1.5 m/s y 15 mca).
3. El LH permite la restauración de los residuales del desinfectante y la expulsión de parte del agua de mala calidad en un área específica del sistema.
4. Posteriores al LH se presentan quejas del cliente, debido a la pérdida considerable de agua, mejoras mínimas y de poca duración en la calidad del agua, las cuales deben ser atendidas.
5. El Lavado Hidráulico Unidireccional (LHU) es un método mejorado del LH convencional. Consiste en la separación de una sección particular creando un circuito por cierre de válvulas y la apertura de grifos en una forma

organizada, llevando a cabo una secuencia que se inicia con la apertura de áreas cercanas a la planta o el área de abastecimiento de agua de interés hasta cubrir todos los alrededores; iniciando en diámetros grandes hasta llegar a diámetros pequeños; siempre de secciones limpias hasta secciones con presencia de biopelícula.

6. El LHU se lleva a cabo a velocidades de aproximadamente 1.8 m/s, las cuales pueden ser ajustadas para el retiro de la biopelícula y de los subproductos de la corrosión y otros desechos unidos a las paredes de la tubería.
7. En función de la velocidad alcanzada, se pueden obtener varios objetivos en la calidad del agua, como se resume en la tabla 1 .

Tabla1. Relación de Velocidad y Alcances del Lavado Hidráulico (Friedman, 2002)

VELOCIDAD (m/s)	CARACTERÍSTICAS DE LIMPIEZA
< 0.9	Arrastra lógamo, sedimentos y se reduce la demanda de desinfectante
1.5	Elimina la biopelícula y se reduce la demanda de desinfectante.
1.8	Transporta arenas en tuberías
4	Elimina la arena de sifones invertidos

Las ventajas del LHU con respecto al LH son de hasta un 40% de ahorro de agua. La ejecución de un programa de LHU tiene un conjunto de etapas que se detallan a continuación.

3.6.1.2. DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE LAVADO UNIDIRECCIONAL UTILIZADO

1. Examinar el sistema de distribución por medio de planos y modelos para conocer la hidráulica del sistema. Es óptimo contar con un modelo calibrado.
2. El sistema puede ser dividido en circuitos independientes. Esta configuración evita tener que mantener válvulas cerradas por largos periodos de tiempo. Entre menor sea la longitud del tubo al que se le aplica el vaciado mucho mejor, logrando minimizar las pérdidas de presión.
3. Se determina la velocidad de flujo de acuerdo al diámetro del tubo (ver tabla 2). Por razones prácticas, la velocidad óptima para realizar el LH debe ser de 1.8 m/s. Sin embargo, con el LHU se pueden utilizar diversas velocidades, dependiendo de los objetivos en la calidad del agua y de los beneficios deseados en el sistema.

Tabla 2. Requerimientos de caudal e grifos para producir una adecuada velocidad (Antoun, 1999)

DIAMETRO DEL TUBO Pulg. (mm)	CAUDAL (m ³ /h)	NUMERO GRIFOS (60 mm)	NUMERO GRIFOS (100 mm)
4 (100)	50	1	-
6 (150)	120	1	-
8 (200)	210	-	-
10 (250)	330	2	1
12 (300)	460	2	1
16 (410)	850	3	2
18 (460)	1080	-	2
24 (610)	1920	-	3

4. Desarrollar una guía que especifique minuciosamente la apertura y cierre de válvulas y grifos controlando la operación con un mapa individual (Sistema de Información Geográfico o impresos).

5. Realizar las reparaciones necesarias en las tuberías, válvulas y grifos.
6. El LHU se recomienda ejecutar durante altas horas de la noche y muy temprano en la mañana (11 pm-5 am), para evitar inconvenientes con los consumidores y además tener un promedio alto de presión.
7. La seguridad es de gran importancia durante la ejecución del LHU; en lo que se refiere a los equipos, personal técnico y público en general. Este riesgo se incrementa cuando se usan velocidades mayores o iguales a 1.8 m/s. Los parámetros a monitorear son: turbiedad, desinfectante residual, color, subproductos de la corrosión.

3.6.1.3. RESUMEN DEL MODELAMIENTO

El Lavado Hidráulico y en especial el Unidireccional demostró grandes ventajas desde el punto de económico y de implementación en terreno. La eficacia del Lavado Hidráulico es inversamente proporcional a la longitud de la tubería, mientras más corto sea éste las pérdidas de presión son menores, mejorando el resultado del lavado. El Lavado Hidráulico presenta además buenos resultados si se hace periódicamente. La duración del Lavado Hidráulico terreno es variable y depende de cada caso, éste se termina cuando se alcanzan los parámetros de calidad de agua deseados. El criterio de velocidad de diseño mínima de flujo de 0.6 m/s a partir del cual empieza la sedimentación podría ser revisado ya que la literatura presenta una velocidad límite de 0.76 m/s para la formación de biopelícula. Es importante tener en cuenta que la biopelícula siempre se formará. Generalmente el LH se practica en las conducciones de la red principal, pero su aplicación y mejoramiento debe llegar a la red secundaria. Tener un modelo generalizado de una red de distribución ayuda a tener un mejor manejo de la calidad del agua en la red.

3.6.2. HANOVER COUNTY VIRGINIA, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Cada otoño el Departamento de Servicios Públicos de esta comunidad, comienza un extenso programa de lavado unidireccional (UDF) a través de las redes de agua potable de todo el condado. El objetivo de este programa es garantizar que la calidad del agua se mantenga a un óptimo nivel y mantener correctamente las líneas de distribución de agua del Condado. El agua es descargada a través de un grifo que a su vez elimina cualquier acumulación de material de la tubería. El material extraído de este proceso es inofensivo y no requiere tratamiento especial. El uso de esta técnica de lavado a sido esencial en el mantenimiento de la calidad del agua.

Las fechas y horarios en que se realizan los lavados son comunicados públicamente días antes de empezar el procedimiento. La limpieza se hace normalmente entre las horas de 7:30 A.M y 3:30 P.M, de lunes a viernes. El servicio del agua no es ni debe ser interrumpido, y se recomienda además a los usuarios que en caso de tener agua de mala calidad en ese instante, se deje correr el agua unos minutos, es posible que durante la apertura de los grifos haya una caída de la presión del agua pero es nada más que puntual.

Este programa de limpieza con un chorro de agua lleva 7 años y el programa ha dado lugar a muy pocas quejas. Las quejas sobre calidad del agua son registradas y estas han disminuido drásticamente.

Finalmente se ha determinado que la cantidad y el costo de agua usados en limpiar con un chorro de agua es un precio pequeño comparado a las ventajas de asegurar la calidad del agua y mantención de la infraestructura.

3.6.3. KENTUCKY, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

El 2001, la Subdivisión de Agua Potable informó a todos los sistemas públicos de agua en Kentucky con respecto a los reglamentos y normas para el "Diseño de los sistemas de distribución de agua con respecto a velocidades de Flushing." Dichos reglamentos y normas son aplicados aún.

Como es ya conocido debido a la insuficiencia de la presión y velocidad, muchos sistemas de agua no tienen la capacidad de proporcionar el suficiente lavado a las nuevas líneas. Sin la capacidad suficiente para proporcionar velocidades, un programa de flushing dará poco beneficio.

El Flushing es más eficaz cuando el mínimo recomendado en la velocidad es al menos 0.76 metros por segundo y puede mantenerse.

La capacidad de los sistemas para cumplir los requisitos de la norma de Subproductos de la desinfección se verán afectados por una incapacidad para limpiar las líneas.

3.6.4. VIRGINIA BEACH, VA. ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Se implementó un programa de lavado de redes en Virginia Beach, Va. Estados Unidos, para el posterior cambio del sistema de cloración de la ciudad.

Teniendo en cuenta que el lavado de redes convencional contempla básicamente la apertura de grifos y manejo de válvulas. Las velocidades necesaria para remover sedimentos acumulados (arenas, depósitos no solidificados, sedimentos productos de la corrosión, etc.) es de alrededor de 1.5 m/s a 1.8 m/s.

El programa de lavado de redes de agua potable en Virginia Beach contempló, las características físicas de la red de agua potable y finalmente los tres requerimientos básicos para la implementación de un programa de lavado, que

son la identificación de válvulas cerradas, Grifos abiertos y la más importante que es la secuencia operativa de las válvulas y grifos.

El programa de lavado Virginia Beach, creó un sistema generalizado de la información (GIS), con la información de calles, válvulas, grifos, ubicación de las matrices de agua potable y dimensiones de las matrices.

Dicho modelo generalizado se combinó con el modelo hidráulico de la red para generar un modelo completo del sistema.

Con este modelo fue posible chequear los distintos parámetros que gobiernan el flujo y su dirección, por ejemplo ver que las presiones no bajen los 15 m.c.a., que es la presión límite bajo la cual empieza a haber sedimentación.

Finalmente este programa logro implementar un sistema generalizado de la red de agua potable en Virginia Beach.

En resumen lo importante en el control de un sistema de flujo automatizado es:

- Lectura de presiones en el sistema.
- Flujos estimados.
- Diámetros mínimos y máximos de las tuberías.
- Velocidades de Flujo.
- Tiempo de lavado de redes.
- Volumen de agua utilizada.
- Numero de grifos utilizados.
- Numero de válvulas usadas.
- Resultados de calidad de agua (Medidos antes y después de la implementación)
- Otros comentarios.

4. PROGRAMAS DE LAVADOS DE REDES DE AP EN CHILE.

En el país no existen planes estandarizados de lavado de redes de agua potable. Las sanitarias comúnmente al encontrarse con problemas puntuales de calidad de agua potable ejecutan procedimientos de limpieza en la zona afectada con la apertura de grifos.

La empresa Aguas Andinas S.A. establece dentro de su ESTÁNDAR TÉCNICO ST GA1396/1.DESINFECCIÓN DE OBRAS DE AGUA POTABLE. PARTE 1: TUBERÍAS, indica que el “Lavado.de tuberías debe efectuarse posterior, y una vez efectuada la reparación, se debe proceder a un lavado exhaustivo del interior de la(s) tubería(s) mediante desagüe con la apertura de grifos, a fin de eliminar la turbiedad y los materiales que puedan haber ingresado a la tubería.”, lo cual representa claramente el concepto que se tiene por lavado, como apertura de grifos en una zona con problemas.

La empresa ESVAL S.A., posee un instructivo de lavado de redes de agua potable que incorpora en gran parte las recomendaciones de Programas de lavado de la AWWA y se detallan a continuación:

4.1. INSTRUCTIVO DE LAVADO DE AGUA POTABLE DE ESVAL S.A.

Como ya se indicó, la empresa ESVAL S.A posee un instructivo de lavado de redes el cual tiene como objetivo describir las acciones para realizar un lavado de redes de agua potable cuando se presentan problemas de calidad del agua. Este instructivo es aplicable también a conducciones de mayores caudales, tipo acueductos. Este fija los criterios para realizar lavados, forma de efectuarlos y los elementos a tener en cuenta cuando se procede a realizar dicha faena.

4.1.1. INSTRUMENTACION REQUERIDA

Dentro del instructivo se establece que deben tenerse como mínimo los siguientes instrumentos.

- Envases para toma de muestras en terreno.
- Colorímetro para Cloro Libre.
- Turbidímetro de Terreno.
- Herramientas y equipos para manipular grifos y válvulas.

4.1.2. PRECAUCIONES EN LA EJECUCION DE UN PROGRAMA DE LAVADO

Deben tenerse las siguientes precauciones:

- La manipulación de grifos y válvulas debe hacerse sólo por personal autorizado, una mala maniobra puede provocar roturas o daños mayores por incorporación de aire en el sistema.
- Las acciones deben ser programadas, y antes de emprender cualquier faena se debe contar con los equipos, elementos, herramientas y personal suficiente.
- Verificar el escurrimiento de las aguas, para no comprometer instalaciones, de propiedad de ESVAL S.A., privada o pública.
- Siempre que se programe un lavado o una renovación del producto existente en las redes de distribución de agua potable, debe tenerse la total certeza que el sistema de producción o las aguas almacenadas en los estanques, cumplen con la normativa vigente.
- Al realizar los lavados, principalmente en acueductos es importante usar velocidades que superen los 0,5 m/s, en caso contrario no habrá arrastre de partículas sedimentadas.

- Se debe considerar la posibilidad de un tiempo de corte mayor al evaluado inicialmente, para lo cual se debe tener identificada claramente el área involucrada y otras alternativas de abastecer de agua potable al sector.
- Se deben identificar las cámaras de alcantarillado con el propósito de derivar las aguas de lavado por éstas, lo anterior requiere de un buen conocimiento de ambos sistemas. Altos caudales pueden hacer colapsar el sistema de alcantarillado y provocar un peralte, con escurrimiento de aguas servidas ya sea en la vía pública o en el interior de las casas de los usuarios.
- De preferencia los lavados se realizarán, en horas de bajo consumo, posterior a las 20:00 hrs., para evitar que la faena altere el normal funcionamiento del sistema en la mañana siguiente.
- Siempre que se realice un lavado, se deberá cuantificar el volumen de agua perdido, para informe posterior que debe estar consignado en las pérdidas del mes.
- Todas las limpiezas se harán en presencia de un supervisor, para salvaguardar la buena e higiénica ejecución de los trabajos.

Estas precauciones son las mismas indicadas por el programa de lavado de la AWWA, lo cual es coincidente en varias empresas sanitarias en todo el mundo.

4.1.3. EVALUACION Y DESCRIPCION DEL TIPO DE LAVADO A UTILIZAR

4.1.3.1. CRITERIOS PARA EFECTUAR LIMPIEZAS

Las limpiezas se deben realizar usando los siguientes criterios de prioridad.

1. Existen reclamos externos de calidad de agua, los cuales han sido corroborados por personal de redes y/o guardia móvil.

2. Problemas de calidad del agua en la planta que pasa a las redes, en casos puntuales o bien por un efecto acumulativo inducido por la naturaleza de las aguas.
3. El laboratorio de ESVAL S.A. a través de su programa de control detecta una falla de calidad, la que se verifica con remuestreos.
4. Posterior a una reparación de la red.
5. Antes de una desinfección.

4.1.3.2. DESCRIPCION GENERAL DE LOS TIPOS DE LIMPIEZAS APLICABLES

A continuación se describen en forma general los tres tipos lavado planteado por esval en respuesta a problemas en la red de agua potable:

- 1. Limpieza para renovación de las aguas:** Esta es realizada cuando existe un tramo de la red con concentraciones bajas de cloro, o problemas de olor, sabor o color, ocasionado principalmente por baja circulación del agua. Esta limpieza consiste básicamente en abrir desagües o grifos y dejar circular las aguas, hasta que la que está en óptimas condiciones ingrese al sistema de distribución, una vez verificado lo anterior se termina la faena.
- 2. Limpieza de redes para arrastre de elementos sólidos:** Este tipo de limpieza se aplica cuando existen problemas de turbiedad en redes de baja o alta circulación, con presencia de hierro y/o manganeso, sólidos de cualquier índole, o en instalaciones nuevas.
Lo que se hace es realizar un lavado con un gran flujo de agua para que exista arrastre, la velocidad del agua en las tuberías debe superar los 0,5 m/s, dado que las velocidades menores pueden provocar sedimentación en la tubería.
- 3. Desinfección de redes:** Esta se realiza cuando se hacen reparaciones y existen dudas de lo higiénico de los trabajos o del lugar mismo del

trabajo, así como también cuando las redes en su interior estuvieron en contacto con elementos indeseables, lo que puede ocurrir en tuberías nuevas durante su instalación.

4.1.3.2.1. PASOS DE UN LAVADO DE REDES PARA LA RENOVACIÓN DE AGUAS

1. Verificar las canalizaciones a los alcantarillados, para asegurar el escurrimiento de las aguas de cada elemento a manipular.
2. Abrir válvula de desagüe o los grifos seleccionados para la maniobra, comenzando por los que se encuentran a mayor cota. Realizar la apertura lentamente, para no ocasionar disturbios en la red.
3. Una vez abiertos todos los grifos, seleccionados, de preferencia disponer de personal en cada uno de ellos, disponer la toma de muestra de cloro y turbiedad según Instructivo “Toma de muestra y despacho al laboratorio 04.05.01_14000-I-LB-001, en el grifo que se ubique en la cota más alta.”
4. Cuando el primer punto de muestreo alcance el valor deseado o la condición deseada, en ningún caso la turbiedad deberá superar 5 NTU o encontrarse con menos de 0,2 ppm, de concentración de cloro, se procederá al cierre del grifo, con la autorización del supervisor de redes.
5. Siguiendo estrictamente el orden de los grifos de los ubicados a mayor cota, hasta el más bajo se tomarán las muestras, in situ de cloro y turbiedad siguiendo el instructivo 04.05.01_14000-I-LB-001 y se procederá a autorizar su cierre.

4.1.3.2.2. PASOS DE UN LAVADO DE REDES PARA ARRASTRE DE ELEMENTOS SÓLIDOS

1. Verificar las canalizaciones a los alcantarillados, de no ser posible el escurrimiento de las aguas de cada elemento a manipular.
2. Realizar el cálculo hidráulico para que exista un arrastre efectivo de sólidos, estimando los caudales con el número de grifos y el diámetro de la tubería:

$$\frac{Q_i}{1000 * A} > 0,5 \text{ (m/s)}$$

Donde:

Qi = caudal instantáneo de cada grifo, en caso que se desconozca se estimará un caudal máximo de 16 l/s.

A = área de la tubería en m².

$$A = \frac{\pi}{4} * (d/1000)^2$$

Donde; d = Diámetro de la tubería en mm.

3. Verificar estado de la tubería para soportar este lavado.
4. Abrir válvula de desagüe o los grifos seleccionados para la maniobra, comenzando por los que se encuentran a mayor cota. Realizar la apertura con lentitud, para no ocasionar disturbios en la red.
5. Una vez abierto todos los grifos, seleccionados, de preferencia disponer de personal en cada uno de ellos, disponer la toma de muestra de cloro y turbiedad, según Instructivo toma de muestra 04.05.01_14000-I-LB-001, en el que esté ubicado en la cota más alta.
6. Cuando el primer punto de muestreo alcance el valor deseado o la condición deseada, en ningún caso la turbiedad deberá superar 5 NTU o encontrarse menos de 0,2 ppm de cloro, se procederá al cierre del grifo,

con la autorización del supervisor de redes o personal de control calidad.

7. Siguiendo estrictamente el orden de los grifos de los ubicados a mayor cota, hasta el más bajo se tomarán las muestras, in situ de cloro y turbiedad, 04.05.01_14000-I-LB-001 y se procederá a autorizar su cierre.
8. Si el lavado fue el resultado de un reclamo por turbiedad y ésta se encontraba sobre 10 NTU se deberá realizar muestreo, no sólo para verificar cloro residual y turbiedad, parámetros que deben cumplirse, sino que además incorporar el examen bacteriológico, de acuerdo al instructivo 04.05.01_14000-I-LB-001, Toma de Muestra.
9. Poner la red en uso.

4.1.3.2.3. PASOS DE UN LAVADO PARA LA DESINFECCIÓN EN REDES DE AP

Para el caso de tuberías nuevas se debe:

1. Realizar un lavado, como se especifica en el punto anterior, haciendo un arrastre de sólidos.
2. Si la red es de una urbanización nueva, este trabajo es del urbanizador y la sanitaria sólo verificará que tanto las desinfecciones como los lavados sean realizados a cabalidad.
3. Sectorizar el tramo a desinfectar.
4. Aplicar 250 ml de hipoclorito de sodio al 10% por cada metro cúbico de agua contenida en las redes (25 mg/l). La aplicación se realiza por tramos, cada 50 metros o bien durante la incorporación de las aguas a las tuberías de la red. Esta aplicación deberá hacerse con camión aljibe o inyecciones en la tubería.
5. En caso de una emergencia se deberá seguir el procedimiento 04.04.07_14000-P-OP-006, "Actuación en interrupción del suministro".

Además de aislar el sector, y aplicar 300 ml de hipoclorito de sodio al 10% por cada metro cúbico de agua, la aplicación deberá hacerse con camión aljibe o inyecciones en la tubería.

6. La tubería debe quedar completamente llena para que la desinfección sea eficiente.

7. Se debe dejar actuar el desinfectante por 24 horas.

8. Se descartan todas las aguas, de ser posible usando mangueras, en grifos y desagües derivando las aguas de descarte al sistema de alcantarillado.

9. Se procede a realizar un lavado tipo renovación de agua, siguiendo todo el proceso descrito en el punto 3.2.2. de este documento, hasta estabilizar el cloro residual, que puede alcanzar valores altos, y la turbiedad. Se procederá a tomar muestra bacteriológica, de acuerdo al Instructivo 04.05.01_14000-I-LB-001, las que son analizadas en el Laboratorio de ESVAL.

10. Una vez obtenido el resultado de la muestra, el Departamento de Control de Calidad, debe autorizar el uso del agua potable.

11. En el caso de lavados de emergencia, en tuberías en uso por contaminación con materia orgánica. Como es de esperarse esta limpieza se realiza de forma similar a la anterior, con las siguientes salvedades:

- Se debe avisar los usuarios de la prohibición de hacer uso del sistema.
- De ser necesario se desconectan los arranques, poniendo tapones.
- Se realiza un lavado por grifos y desagües, tipo renovación de agua.

- Se deja 12 horas con una solución de hipoclorito de sodio. Para lo anterior se aplican 3 litros de hipoclorito de sodio al 10% por cada metro cúbico de agua que contenga la tubería (300 mg/l).
- Después de ese tiempo se procede a enjuagar y se llena nuevamente.
- Se repite el procedimiento, por 36 horas, vale decir 3 veces.
- Posterior a este tiempo se procede a realizar un lavado tipo renovación de agua, siguiendo todo el proceso descrito en el punto 4.1.3.2.1, hasta lograr un valor de cloro residual no mayor a 2,0 mg/l, una vez estabilizado el cloro y la turbiedad se procede a tomar muestra bacteriológica, según Instructivo 04.05.01_14000-I-LB-001.
- La incorporación de la red a la distribución de consumo se hace solamente cuando el Departamento de Control Calidad lo autorice mediante los resultados de las muestras bacteriológicas recopiladas en esta faena.

4.1.4. RESPONSABILIDADES DE UN PROCEDIMIENTOS DE LAVADO

Las responsabilidades para el correcto cumplimiento del presente plan de lavado propuesto por ESVAL S.A recaen en:

Supervisores de Redes: Persona responsable de las obras en terreno y de realizar la coordinación general de la faena.

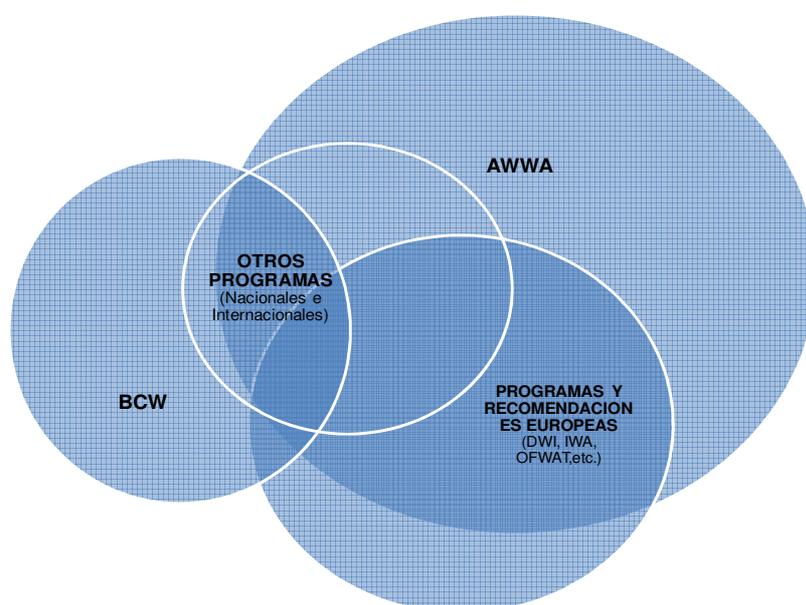
Jefe de Área de Distribución: Persona responsable del programa y coordinación de los lavados.

Jefe Control de Calidad: Persona responsable de dar la autorización que las aguas de los sistemas nuevos y los detenidos por emergencia se incorporen a los sistemas de distribución.

5. RESUMEN DE BMP Y PROGRAMAS DE LAVADO

En este capítulo se resume y concluye acerca del conjunto de procedimientos de lavado citados anteriormente, mostrando sus coincidencias y diferencias. Un esquema gráfico de la situación actual de los programas de lavado en el mundo es el siguiente.

Figura 3. Intersección entre de los actuales programas de lavado en el mundo.



Las formulaciones de la AWWA son la base de la mayor parte de los programas implementados y optimizados en todo el mundo. Estas recomendaciones son muy amplias y abarcan un conjunto de buenas prácticas de manejo (BMP) de sistemas agua potable, las que tienen por fin optimizar y asegurar una buena calidad del servicio de los sistemas. Dentro de las BMP se encuentran situados los programas de lavado, los que corresponden a un procedimiento estándar en el manejo y mantenimiento de una red de distribución de agua potable.

Como se ya indicó en el punto 3.4 del presente informe, la BCW toma como referencia las recomendaciones de la EPA y AWWA, para formular los estándares de funcionamiento en BC, Canadá, eso si incorporando algunos matices.

Con respecto a las experiencias europeas, el programa de lavado más detallado es el implementado por la DWI (Inglaterra y Gales), este posee unas listas de chequeo para la prevención y ejecución de programas de lavado. Estas listas tienen como objeto catastrar la situación de cada sanitaria, y normalizar cada procedimiento implementado. Los pasos a seguir en la implementación del lavado de redes según la DWI son muy similares a lo planteado por la AWWA, EPA, BCW, etc., pero son más enérgicos en el uso de programas complementarios. Debido a que poseen redes muy antiguas de agua potable (más de 200 años), con tuberías de fierro y plomo. Este último material ya no es utilizado.

En paralelo a lo planteado por la DWI están las formulaciones españolas, quienes no poseen algo estandarizado, pero si le es conocido el tema del lavado de tuberías y lo recomiendan aplicar según la normativa (REAL DECRETO 140/2003, artículo 12). España particularmente tiene el problema de la legionelosis la que se sitúa en los puntos finales de la red (puntos muertos) a nivel de los arranques, para este problema han desarrollados procedimientos preventivos de diseño así como recomendaciones de lavado específicas (Spot flushing). La norma española RD 865/2003, ahonda y detalla en el tema de prevención de la legionelosis.

Respecto a los países restantes de Europa de los que se recopiló información, se vió que el tema es conocido como en Francia donde hay gran cantidad de boletines informativos de programas de lavado efectuados, los que indican el porqué de los lavados, fechas y horarios, pero no se encontró un programa estándar al menos publicado. En el caso de Alemania similarmente se encontraron boletines informativos y un reporte de la DVGW Worksheet W 392, que habla de cómo se considera el lavado, como pérdida y su relación con la tarifa.

Finalmente los restantes programas ejecutados en el mundo, como en nuestro país son una aplicación real de lo indicado por la AWWA o una adaptación local de lo planteado por ella.

En el Anexo 4 se presenta un resumen con los pasos a seguir para la formulación y ejecución de un programa de lavado.

En la última columna del Anexo 4 se resume con un tachado de la celda, si el procedimiento es considerado adecuado por mi parte, e incorporado como parte del programa general a realizar en un procedimiento de lavado.

Este resumen no incluye todas las técnicas complementarias de limpieza de tuberías enumeradas y detalladas en los capítulos anteriores (Cerdos, esponjas, etc). Estas se aplican en función del problema en la red. Lo que nos entrega la tabla es un resumen de un procedimiento enumerado y continuo de lo que hay que hacer en la formulación y puesta en marcha del lavado de tuberías. Cada punto del programa resumen da para generar una formulación específica y éste va a depender del tipo de problema al que nos enfrentemos en la red de agua potable (Sedimentos, biofilm, plomo, legionelosis, etc).

6. MODELAMIENTO HIDRÁULICO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE LAVADO EN MELIPILLA.

En este capítulo se analizará la posibilidad de implementar un programa de lavado en la localidad de Melipilla, que apunte a mejorar la calidad de agua en los sectores que se identifiquen con problemas o presenten quejas de los usuarios. Los pasos a seguir para la implementación un programa de lavado son los que se resumieron en el capítulo anterior.

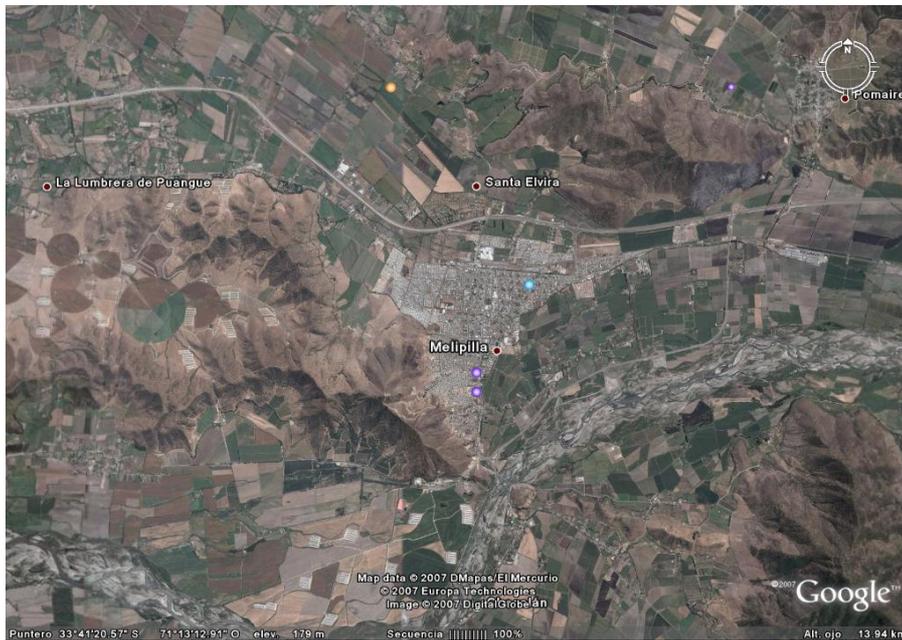
Por tratarse de una red ya existente, lo primero es averiguar si hay antecedentes de problemas y enfocar particularmente el análisis hacia los siguientes casos:

- Puntos Muertos.
- Límites Sectoriales.
- Cambios de Distribución.
- Cortes de agua.

La elección de estos casos, está basada en la experiencia operativa de muchos sistemas de distribución durante años, resumiendo que es ahí donde se provocan la mayor parte de los problemas.

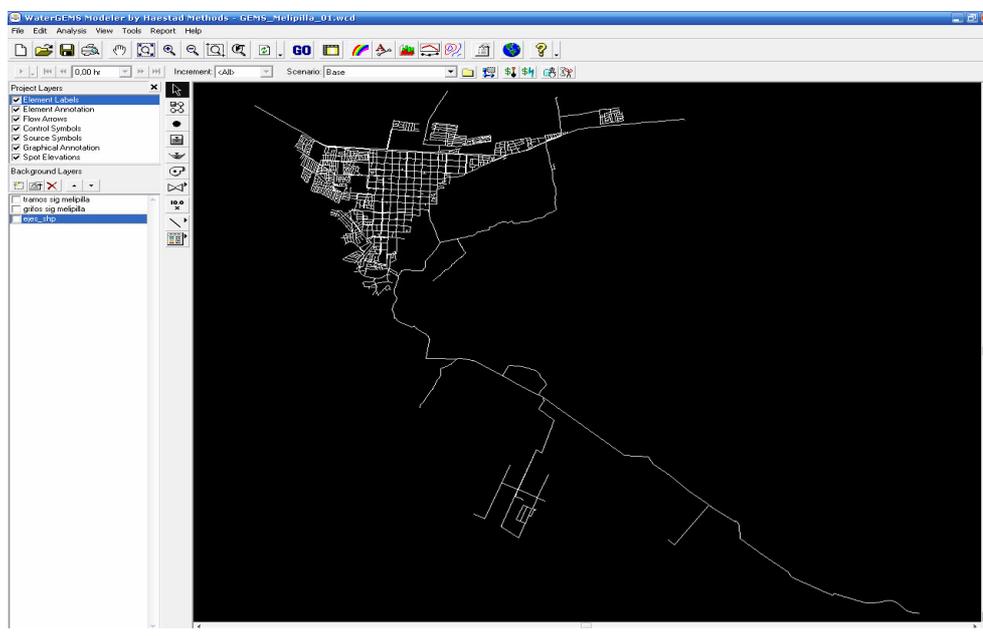
Como se indicó previamente, la localidad que se modelará es Melipilla, ubicada 60 km al suroeste de Santiago y a 44 km del Puerto de San Antonio. Esta se eligió porque es una red pequeña, con un mallado típico, con presencia importante de puntos muertos y límites sectoriales bien definidos. Además posee antecedentes de quejas de turbiedad en la red de parte de los usuarios, en algunos escenarios. Inicialmente se había considerado modelar además el sector de Arrayán en la ciudad de Santiago, pero se desechó debido a que éste se comporta básicamente como una tubería, ya que posee muy poca ramificación, y no representa una red tipo de distribución de agua potable.

Figura 4. Mapa de Melipilla.



Siguiendo con el procedimiento, se procedió armar el modelo hidráulico de Melipilla mediante el software WaterGems (Se trabajo sobre modelo existente proporcionado por Aguas Andinas S.A), identificando las fuentes de agua potable así como las redes principales y secundarias de distribución, además se procedió a identificar los puntos donde están ubicados los grifos los cuales serán utilizados para desarrollar el lavado de la red.

Figura 5. Modelo Hidráulico de la red en WaterGEMs



6.1. ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE CALIDAD DEL AGUA DE MELIPILLA

En la localidad de Melipilla se recopilaron los antecedentes de las muestras de calidad del agua potable desde enero hasta octubre del 2007, los cuales van adjuntos en el anexo 1.

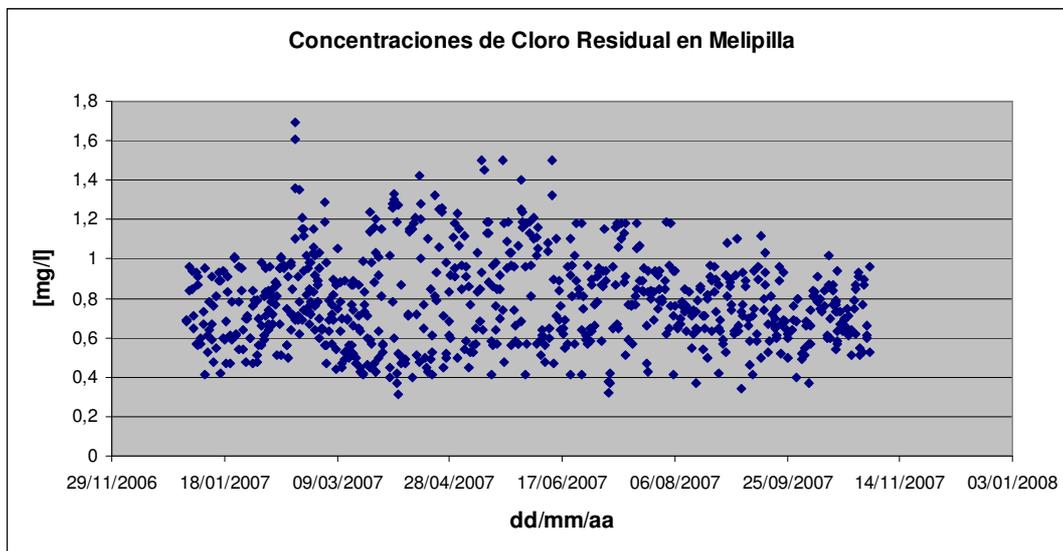
Inicialmente estos datos serán procesados para ver si existen problemas reales de mala calidad del agua, posteriormente se procederá a modelar la red e identificar las zonas con problemas y contrastarlas, para finalmente definir algún tipo de lavado.

De los antecedentes incluidos en el anexo 1, se procedió a detectar aquellos valores de cloro residual y turbiedad que estuvieran fuera de la norma. Analizaremos estos factores pues son los más sensibles para la población.

6.1.1. CLORO RESIDUAL.

De la información de calidad del agua durante el año 2007 en Melipilla, presentada en el anexo 1 de esta memoria, se hará un resumen y análisis de los datos.

Grafico 1. Resumen de concentraciones de cloro residual en el periodo enero-octubre 2007.



De acuerdo a la NCH 409/1.of 2005, la red de Melipilla no ha presentado problemas en la mantención del residual de cloro, todos sus valores siempre fueron mayores a 0.2 mg/l, y menores a 2 mg/l. Del análisis de estos resultados se infiere que un lavado con el objetivo de mejorar el residual de desinfectante en la red no es necesario.

6.1.2. TURBIEDAD.

El detalle de todas las muestras de calidad del agua en Melipilla se presentan en el anexo 1, en este punto se procederá a sintetizar y ver si es necesaria una medida ante el problema de turbiedad.

Si procedemos a analizar las muestras de acuerdo a la norma NCH 409/1 Of.2005 esta indica que:

- La media mensual debe ser menor a 2 UNT.
- La turbiedad puede superar las 4 UNT en una oportunidad en el caso de haber tomado menos de 20 muestras, y un 5 % en el caso de haber tomado más de 20 muestras. Además la norma indica que una muestra no puede superar las 20 UNT, y en el caso de estar entre 10 y 20 UNT esta muestra no puede corresponder a un mismo periodo de 24 horas.

Al analizar las muestras se procedió a filtrar los valores mayores a 2 UNT, identificar las zonas problemáticas y ver si existían coincidencias entre los datos reales y nuestro modelo hidráulico.

El cuando se toman las muestras da para un discusión aparte, ya que está normado solo el tiempo máximo para el análisis después de una intervención o problema en la red. Otro vicio que puede ocurrir es al presentarse valores mayores a 4 UNT, aumentando el numero de muestras en puntos con mejor calidad del agua tales que se ajusten las muestras fallidas (5 %) y cumplan la norma.

Tabla 3. Valores que exceden las 2 UNT en el año periodo analizado.

Comuna	Dirección	Analisis	Valor	Unidades	Fecha Muestreo
MELI	ELEUTERIO RAMIREZ 0317	Turbiedad	2	UNT	07/04/2007 9:39
MELI	J. INOSTROZA 1314	Turbiedad	2	UNT	13/09/2007 10:42
MELI	AVENIDA LAS PALMERAS 1575	Turbiedad	2,1	UNT	01/10/2007 11:00
MELI	FUENZALIDA 831	Turbiedad	2,3	UNT	17/10/2007 12:04
MELI	ORONGO 208	Turbiedad	2,4	UNT	17/10/2007 12:36
MELI	FUENZALIDA 831	Turbiedad	2,5	UNT	16/10/2007 12:48
MELI	ALCALDE 522	Turbiedad	2,5	UNT	07/10/2007 9:50
MELI	CAMINO HUILCO BAJO 1208	Turbiedad	2,6	UNT	04/10/2007 11:15
MELI	SAN MIGUEL 854	Turbiedad	2,7	UNT	16/10/2007 13:07
MELI	POLICARPO TORO 122	Turbiedad	2,9	UNT	20/10/2007 11:17
MELI	CONDE MANSO 1041	Turbiedad	3	UNT	24/04/2007 11:01
MELI	AVENIDA LAS PALMERAS 1575	Turbiedad	3	UNT	01/08/2007 12:29
MELI	CONDE MANSO 1031	Turbiedad	3	UNT	24/10/2007 11:47
MELI	AV. SERRANO 1047	Turbiedad	3,1	UNT	17/10/2007 12:14
MELI	CONDE MANSO 1041	Turbiedad	3,3	UNT	09/02/2007 11:47
MELI	POLICARPO TORO 122	Turbiedad	3,4	UNT	01/10/2007 11:11
MELI	VETERANOS DEL 79 N° 877	Turbiedad	3,5	UNT	12/09/2007 11:01
MELI	AV. SERRANO 1047	Turbiedad	3,6	UNT	16/10/2007 12:57
MELI	ORTUZAR 130	Turbiedad	3,6	UNT	16/10/2007 13:25
MELI	LOS CARDENALES 2116	Turbiedad	4,5	UNT	18/10/2007 11:15
MELI	TTE LUIS CRUZ MARTINEZ 178	Turbiedad	4,6	UNT	26/05/2007 10:40
MELI	FUENZALIDA 831	Turbiedad	6,1	UNT	15/10/2007 11:30
MELI	SAN MIGUEL 854	Turbiedad	7,2	UNT	15/10/2007 11:52
MELI	AV. SERRANO 1047	Turbiedad	7,3	UNT	15/10/2007 11:40

Del resumen anterior se ve claramente que existen zonas con muestras de una turbiedad alta, aunque es sabido que para turbiedades menores a 10 UNT los usuarios no lo perciben comúnmente, por lo que no necesariamente las zonas con los valores más altos de turbiedad presentan mas quejas.

Respecto al cumplimiento de la norma, la localidad de Melipilla cumple la NCH 409, pero sí existen zonas con déficit. Estos valores se agruparon para poder ver las coincidencias e identificar zonas con problemas, lo que se resume en las siguientes tablas:

Tabla 4. Zonas con problemas recurrentes de Turbiedad.

Comuna	Dirección	Analisis	Valor	Unidades	Fecha Muestreo	Nº
MELI	AV. SERRANO 1047	Turbiedad	3,1	UNT	17/10/2007 12:14	3
MELI	AV. SERRANO 1047	Turbiedad	3,6	UNT	16/10/2007 12:57	
MELI	AV. SERRANO 1047	Turbiedad	7,3	UNT	15/10/2007 11:40	
MELI	AVENIDA LAS PALMERAS 1575	Turbiedad	2,1	UNT	01/10/2007 11:00	2
MELI	AVENIDA LAS PALMERAS 1575	Turbiedad	3	UNT	01/08/2007 12:29	
MELI	CONDE MANSO 1041	Turbiedad	3	UNT	24/04/2007 11:01	3
MELI	CONDE MANSO 1031	Turbiedad	3	UNT	24/10/2007 11:47	
MELI	CONDE MANSO 1041	Turbiedad	3,3	UNT	09/02/2007 11:47	

Tabla 5. Zonas con problemas recurrentes de Turbiedad.

MELI	FUENZALIDA 831	Turbiedad	2,3	UNT	17/10/2007 12:04	3
MELI	FUENZALIDA 831	Turbiedad	2,5	UNT	16/10/2007 12:48	
MELI	FUENZALIDA 831	Turbiedad	6,1	UNT	15/10/2007 11:30	
MELI	POLICARPO TORO 122	Turbiedad	2,9	UNT	20/10/2007 11:17	2
MELI	POLICARPO TORO 122	Turbiedad	3,4	UNT	01/10/2007 11:11	
MELI	SAN MIGUEL 854	Turbiedad	2,7	UNT	16/10/2007 13:07	2
MELI	SAN MIGUEL 854	Turbiedad	7,2	UNT	15/10/2007 11:52	

Estas zonas procedimos a identificarlas en el modelo, para ver si existía una relación, la cual a priori se infiere que poseen bajas velocidades y se produce acumulación de sedimentos.

Los restantes sectores agrupados en la siguiente tabla, los relacionamos a las zonas más cercanas con problemas más recurrentes. Lo anterior obedece a

que los problemas de turbiedad en la red corresponde comúnmente a zonas de bajas velocidades, salvo por el caso de los puntos muertos en los pasajes sin salida, pero estas muestras no fueron tomadas en pasajes sin salida.

Tabla 6. Zonas con problemas puntuales de turbiedad en la red.

Comuna	Dirección	Análisis	Valor	Unidades	Fecha Muestreo	Nº
MELI	ELEUTERIO RAMIREZ 0317	Turbiedad	2	UNT	07/04/2007 9:39	1
MELI	J. INOSTROZA 1314	Turbiedad	2	UNT	13/09/2007 10:42	1
MELI	ORONGO 208	Turbiedad	2,4	UNT	17/10/2007 12:36	1
MELI	ALCALDE 522	Turbiedad	2,5	UNT	07/10/2007 9:50	1
MELI	CAMINO HUILCO BAJO 1208	Turbiedad	2,6	UNT	04/10/2007 11:15	1
MELI	VETERANOS DEL 79 N° 877	Turbiedad	3,5	UNT	12/09/2007 11:01	1
MELI	ORTUZAR 130	Turbiedad	3,6	UNT	16/10/2007 13:25	1
MELI	LOS CARDENALES 2116	Turbiedad	4,5	UNT	18/10/2007 11:15	1
MELI	TTE LUIS CRUZ MARTINEZ 178	Turbiedad	4,6	UNT	26/05/2007 10:40	1

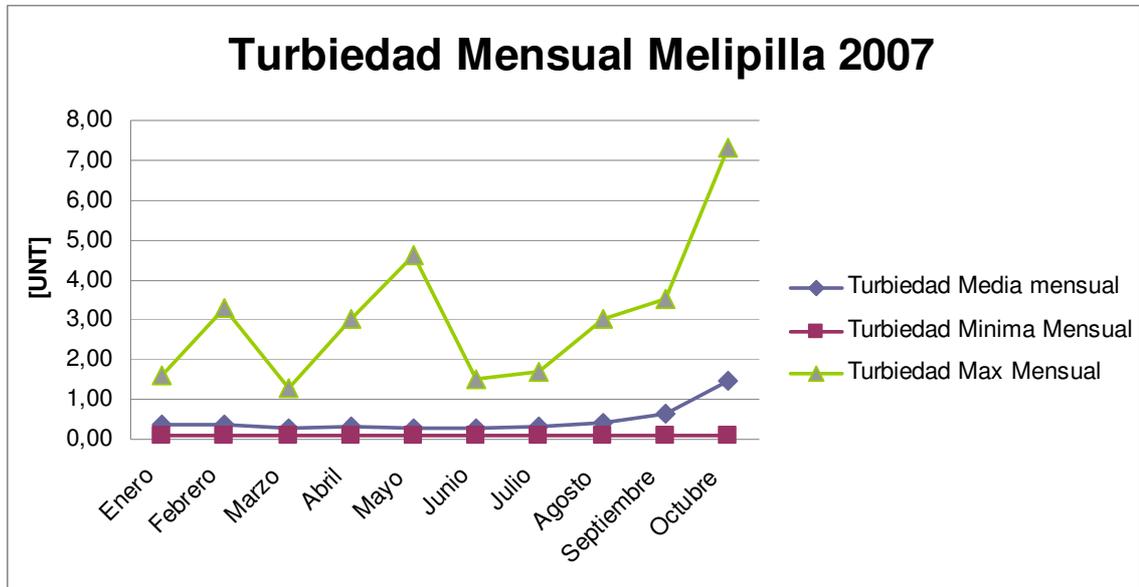
El siguiente cuadro es el que resume los valores máximos de turbiedad medidos en la red. Este se comparara con el modelo hidráulico y ayudará a acotar las zonas donde efectuaremos un procedimiento de lavado.

Tabla 7. Valores máximos medidos en la red de Melipilla en el periodo

Comuna	Dirección	Análisis	Valor	Unidades	Fecha Muestreo
MELI	FUENZALIDA 831	Turbiedad	6,1	UNT	15/10/2007 11:30
MELI	AV. SERRANO 1047	Turbiedad	7,3	UNT	15/10/2007 11:40
MELI	SAN MIGUEL 854	Turbiedad	7,2	UNT	15/10/2007 11:52
MELI	LOS CARDENALES 2116	Turbiedad	4,5	UNT	18/10/2007 11:15

En función de los datos medidos en la red de Melipilla durante el periodo Enero-Octubre del 2007, se procedió a analizar su comportamiento y comparar con el de otras localidades citadas en la bibliografía y los antecedentes de la presente memoria.

Grafico 2. Comportamiento de la turbiedad en el periodo Enero-Octubre 2007.



Turbiedad [UNT]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Media	0,35	0,36	0,29	0,33	0,26	0,29	0,33	0,42	0,63	1,45
Min	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Max	1,60	3,30	1,30	3,00	4,60	1,50	1,70	3,00	3,50	7,30

De acuerdo a lo expuesto en el gráfico se ve claramente que ésta se mantiene más o menos constante durante el año, observándose un aumento a mediados de septiembre y octubre. A pesar de no contar con una estadística de varios años, ni con los restantes dos meses, se sabe de antemano que el comportamiento típico es similar, generándose un aumento de la turbiedad al empezar a aumentar las temperaturas después del invierno, que por consiguiente se traduce en un aumento del consumo de agua, lo que genera un gradiente de velocidad debido al aumento de consumo y por consiguiente un levantamiento de los sedimentos que se habían depositados durante los periodos de bajo consumo; este comportamiento de la turbiedad es aún más marcado en localidades veraniegas o costeras donde la mayor parte del año el consumo es muy bajo y de improviso aumenta drásticamente generándose un aumento en la turbiedad hasta equilibrarse el flujo y autolavarse la red con el solo uso domiciliario. Según los antecedentes de la Dirección Meteorológica de

Chile efectivamente en septiembre hay un aumento de la temperatura media. Como se indicó anteriormente al aumentar el consumo se genera un gradiente de velocidad que es el responsable de que se levante los sedimentos acumulados y aumente la turbiedad, este cambio de velocidad se equilibra durante los meses siguiente provocando la disminución de la turbiedad.

El gráfico anterior sirve además para definir el periodo más adecuado para efectuar un lavado preventivo de la red, que en nuestro caso sería en julio probablemente. De acuerdo a los antecedentes recopilados de lavados efectuados en distintas partes del mundo es a finales de invierno y a principio de primavera cuando se efectúan los lavados en la red. Lo anterior puede variar dependiendo del comportamiento de consumo de la localidad y en el caso de requerir lavados más seguidos (cuando se encuentra que es necesario efectuar lavados muy seguidos, lo recomendable a la larga es cambiar la fuente de agua potable)

En resumen de acuerdo al análisis de las muestras de turbiedad medida en la red de Melipilla se observa que el problema está presente y se acotará con el uso del modelo hidráulico.

6.2. MODELAMIENTO HIDRAULICO DE LA RED DE MELIPILLA

En este punto se detalla como se modeló y analizó hidráulicamente la red de Melipilla, definiendo las zonas con velocidades bajas que son propensas a la sedimentación de partículas.

El software utilizado es el WaterGems versión 2.0, este programa pertenece a la Haestad Methods, Inc. Y dentro de sus características generales permite modelar completamente una red de agua potable, calibrar los valores entregados por el modelo con datos reales, y definir distintos escenarios de la red a modelar. Este software es similar al Watercad y más completo que el Epanet. Inicialmente se utilizó el Watercad, pero se desechó por contar con parte del modelo calibrado con datos reales de Melipilla en WaterGems.

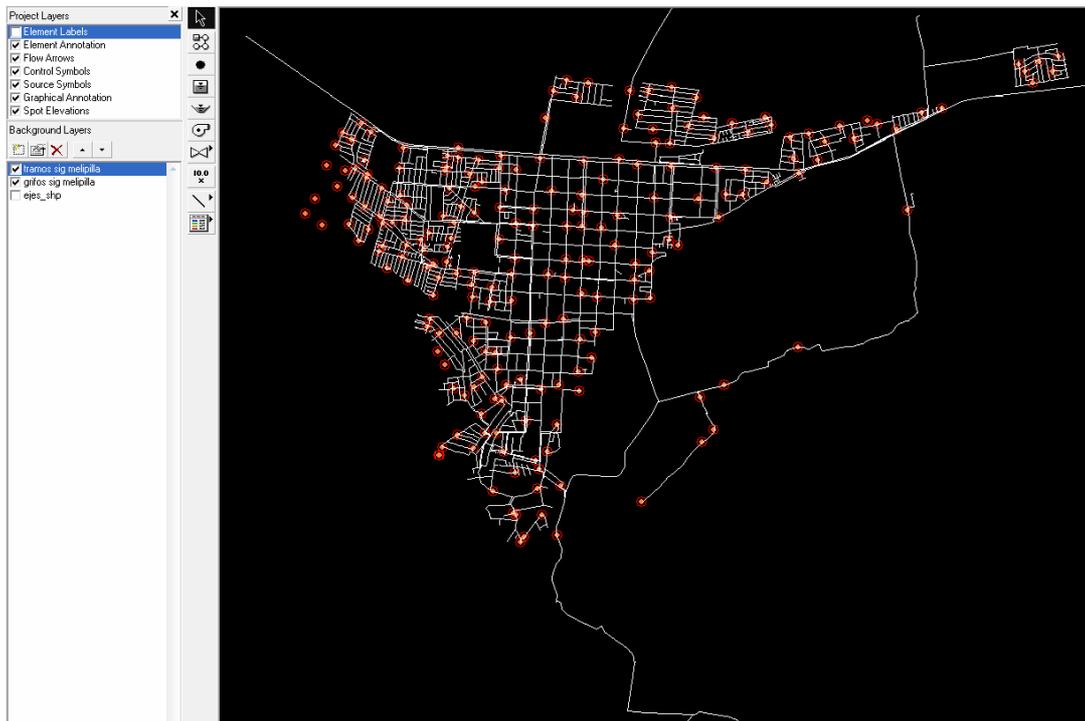
La red de Melipilla está conformada en su mayoría por tuberías de Asbesto Cemento, como la mayoría de las redes existentes de agua potable en el país, esto es importante a tener en cuenta a la hora analizar la limpieza de una red, porque pueden ser los materiales de las tuberías los que interactúan con el agua potable generando problemas de turbiedad u otros.

Tabla 8 .Resumen de los materiales de la red de tuberías de Melipilla.

Material	Longitud total [m]	[%]
ASBESTO CEMENTO	117543	65,6
ACERO	609	0,3
PVC y PEAD	51052	28,5
FFD, FFG	10068	5,6
Total	179272	100,0

Como se indicó inicialmente, lo primero que se hizo es armar un modelo hidráulico de la red (Que a priori se obtuvo), ajustando los parámetros de pérdidas en tuberías según el material e identificado todos los grifos de la red que serán fundamentales en el análisis posterior. A continuación se muestra el esquema general de la red de melipilla con sus grifos identificados.

Figura 6. Esquema general de la red de distribución de Melipilla con sus grifos.

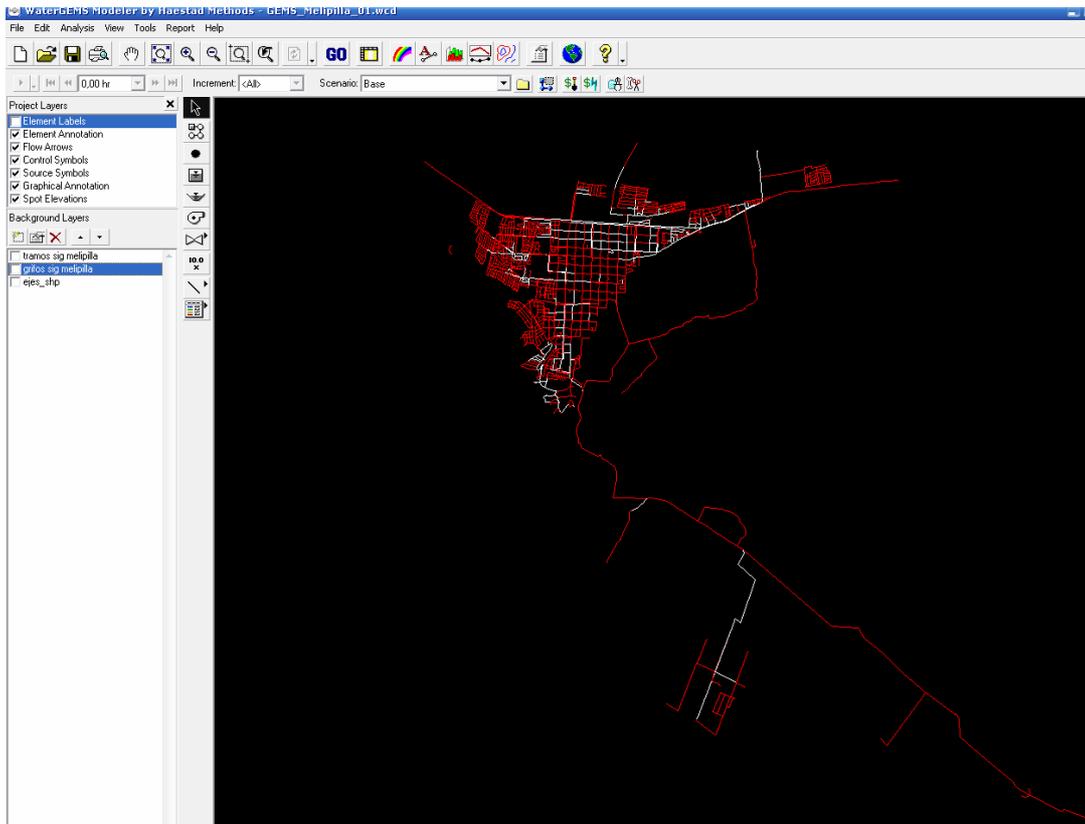


Mediante el uso de herramientas computacionales (ArcView), se identificaron los grifos y se ingresaron como una capa más al modelo, de esta forma se pueden apreciar en rojo, los grifos encontrados, hay que destacar que lo que se hizo es al nodo grifo asociar el punto más cercano en la red. Esto arrojó algunos valores incoherentes pero que no se tomaron en cuenta,

6.2.1. ANALISIS ESTATICO DEL MODELO

Con el modelo ya armado se procedió a modelar como se comportaba hidráulicamente e identificar las zonas con velocidades menores a 0.3 m/s (en color), que es la velocidad citada en la literatura como límite para la sedimentación de partículas en la red. El resumen del modelamiento está en el anexo 3.

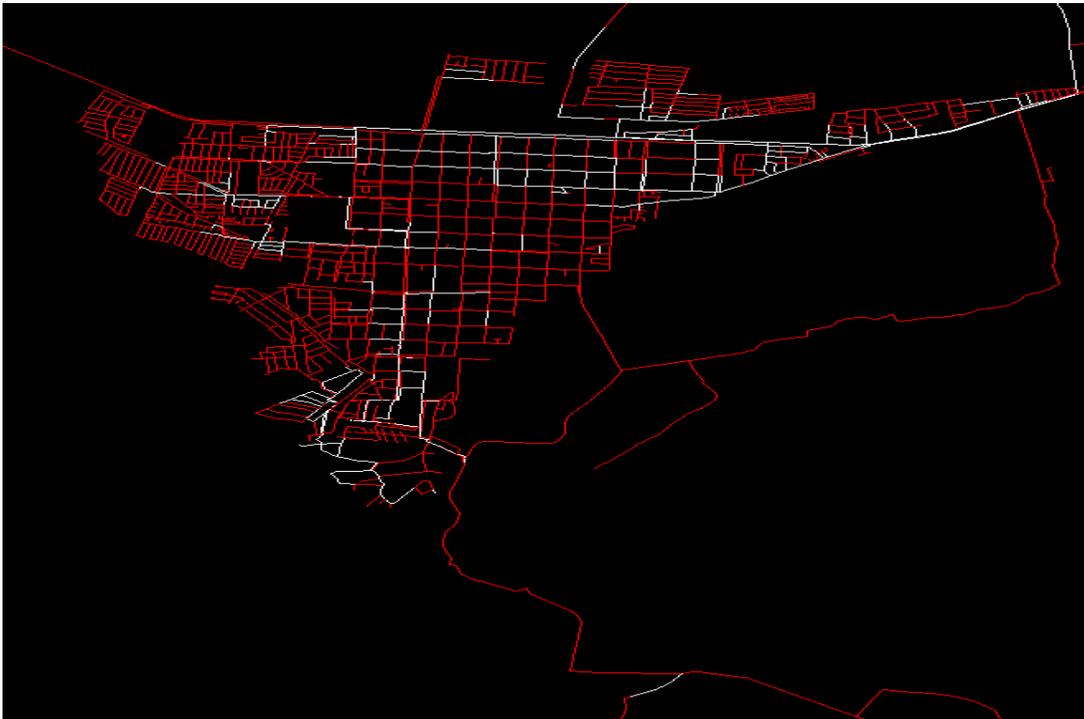
Figura 7. Zonas con velocidades menores a 0.3 m/s.



En la figura siguiente se ve en mayor detalle las zonas que presentan velocidades menores a 0.3 m/s, esta velocidad para algunos operadores de sistemas considera que anda alrededor de los 0.2 m/s, esto depende del tamaño de sedimento.

Gráficamente se ve que una gran porción del sistema está afecta a bajas velocidades pero hay que tener en cuenta que los sistemas tienen comportamiento dinámico durante el día, por lo que esto está un poco sobreestimando.

Figura 8. Zoom de las zonas con velocidades menores a 0.3 m/s.



Como se indicó anteriormente la idea es acotar las zonas con más problemas, y ver que pasa con velocidades un poco menores.

Figura 9. Zonas con velocidades menores a 0.2 m/s.



Al reducir la velocidad, claramente se acotan algunos sectores con velocidades menores a 0.2 m/s

Figura 10. Zoom de las zonas con velocidades menores a 0.2 m/s.



Con el fin de acotar aun más el sector procedimos a identificar las zonas con velocidades menores a 0.1 m/s y 0.05 m/s, que significa estar casi sin movimiento el agua.

Figura 11. Zonas con velocidades menores a 0.1 m/s identificando sus grifos.



Figura 12. Zonas con velocidades menores a 0.05 m/s.



Figura 13. Resumen de calles identificadas con problemas de turbiedad, según el anexo 1 y 2.



De contrastar estas últimas figuras y chequearlas en detalle con el Anexo 2, se pueden definir coincidencias y acotar las zonas con problemas de bajas velocidades.

Claramente las calles identificadas con problemas de turbiedad en el Anexo 2; Policarpo Toro, Fuenzalida, San Miguel y las avenidas Serrano y Las Palmeras tienen puntos coincidentes con el modelo hidráulico, esto indica que en dichos puntos las velocidades bajas pueden ser la principal causa de la acumulación de sedimentos. Se observa también que en los límites sectoriales de la red se generan bajas velocidades, y en los pasajes interiores que son perpendiculares a alguna matriz principal. Lo anterior era conocido a priori, y ahora quedo a la vista con el modelamiento hidráulico de la red.

En resumen del modelamiento estático de la red, esto quiere decir sin considerar las fluctuaciones diarias de consumo, tenemos un par de zonas bien definidas con bajas velocidades y que son propensas a sedimentar partículas, y que ante un gradiente de velocidad se pueden levantar y generar problemas de turbiedad.

Para tener un cuadro más completo del comportamiento de la red de Melipilla la analizaremos en forma dinámica, esto quiere decir considerando las fluctuaciones de consumo durante el día para acotar de la mejor forma los sectores con problemas y así definir ahí un programa de lavado apropiado.

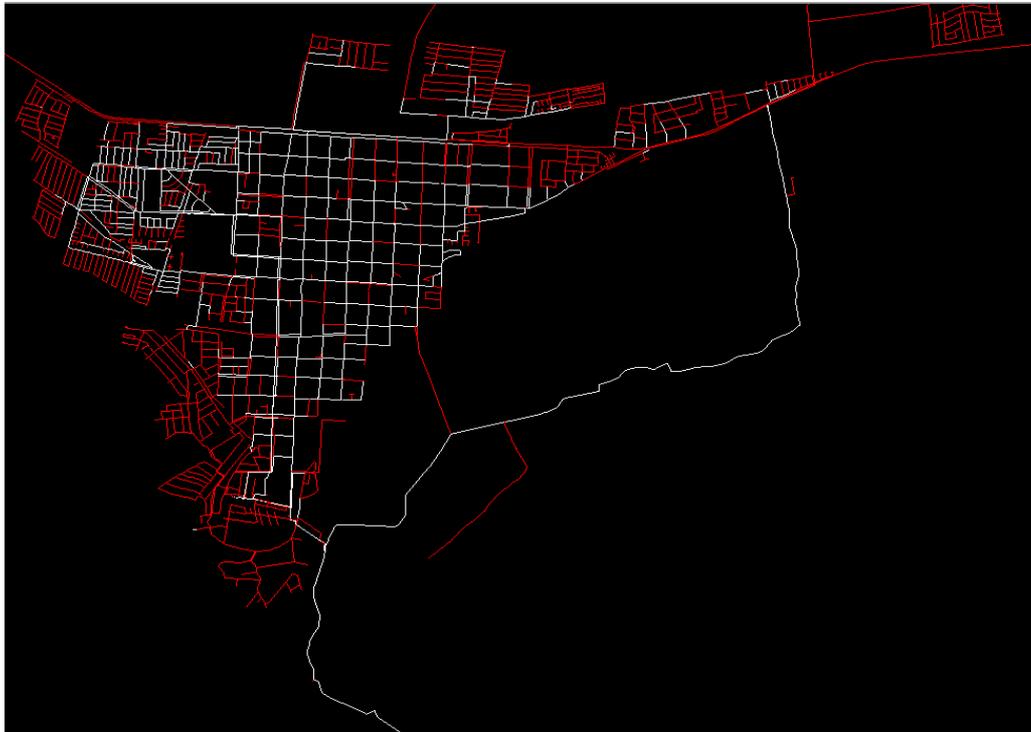
6.2.2. ANALISIS DINAMICO DEL MODELO

El resumen grafico del análisis del modelo hidráulico se presenta en el anexo 3 junto con los valores principales arrojados por el software.

Como era de esperar el comportamiento de la red durante el día es variable, por ende no todas las zonas se mantienen con problemas de bajas velocidades durante el día. Como toda red típica los consumos máximos se dan en la mañana, medio día y al atardecer, eso si estos consumos se ubican en distintas zonas durante el día pasando del sector puramente residencial a lo comercial, y viceversa.

A continuación se muestran los casos límites, es decir las horas de máximo consumo y ahí se definirán las zonas con problemas de bajas velocidades, el resto de los escenarios se pueden ver en el anexo 3.

Figura 14. Zonas con velocidades menores a 0.3 m/s a las 4 PM.



Como aparece explícito en la figura anterior bajo un análisis continuo a las 4 PM esta es la configuración de las zonas con velocidades menores a 0.3 m/s, claramente las zonas con problemas quedan más acotadas, generándose puntos bien definidos con bajas velocidades. Además se ve que en todos los límites sectoriales hay algunos problemas así como en los pasajes interiores perpendiculares a matrices principales.

Del análisis de red presente en el anexo 3 queda claro que no todas las zonas están con déficit en las velocidades durante el día por lo que nos enfocaremos a las zonas que se mantienen constantemente con velocidades menores a 0.3 m/s en todo escenario. Dichas zonas son las mismas que las encontradas en el análisis estático, sólo un poco más acotadas. Lo que sí es claro con ambos análisis es que en los pasajes interiores y en los límites sectoriales las velocidades son muy bajas.

Con esta información procederemos a efectuar un modelamiento hidráulico del lavado de la red en las zonas con problemas, inicialmente consideraremos un lavado convencional mediante la apertura de grifos. Si no se pudiera alcanzar las velocidades de lavado requerida que según la literatura debe ser mayores a 0.7 m/s, se efectuará un lavado hidráulico unidireccional con el apoyo de bombas. Es muy probable que para pasajes con puntos muertos y tuberías de 75 mm de diámetro, el gasto de agua asociado al lavado convencional sea mucho mayor al que se necesitaría con un lavado unidireccional, esto claramente es muy difícil de definir con un modelo, por esta razón es que el lavado de redes es un procedimiento operativo y donde la experiencia de los operadores de las redes es fundamental. Un punto claro a considerar es que los grifos uno los modela para que entreguen un caudal de 16 l/s (caudal de incendio), lo cual comúnmente en la realidad puede llegar a ser otra cosa.

6.3. MODELACION HIDRAULICA DE UN LAVADO DE REDES

En función de los antecedentes recopilados en los puntos anteriores procederemos a modelar un lavado hidráulico convencional, en un par de puntos que identificamos como críticos. De la figura 12 y de los antecedentes de los puntos anteriores vemos que en la Avenida Serrano, se presentan bajas velocidades y muestras con turbiedades superiores a las 2 UNT, llegando hasta 7,3 UNT.

En dicha zona procedemos a lavar la tubería procediendo a abrir el grifo más cercano y analizando si es posible alcanzar las velocidades de lavado requeridas.

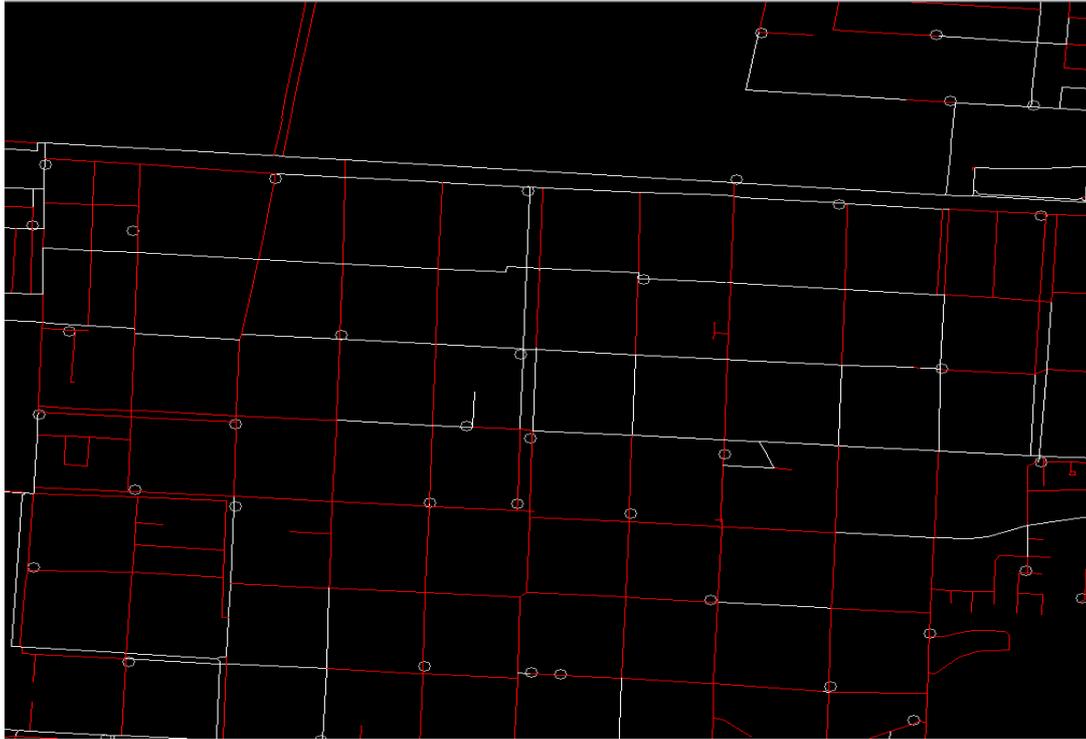
Figura 15. Sector de avenida Serrano con velocidades menores a 0.3 m/s.



El resultado de dicho modelamiento se presenta en la figura 16, cabe destacar que se alcanzaron velocidades de lavado superiores a lo esperado del orden de los 3.6 m/s, para un caudal de 16 l/s. Esto sin duda nos indica que el efectuar un lavado hidráulico convencional en dicho sector es factible, eso si ocasiona un cambio en los flujo del sistema disminuyendo las velocidades en

varios tramos. Lo anterior es puntual por lo que no ocasiona problemas en largo plazo, pero nos indica que cualquier intervención en la red debe ser estudiada, ya que su efecto en su entorno no es medible a priori.

Figura 16. Modelación Hidráulica de un Lavado convencional en Avd. Serrano.



En este punto se está analizando el cómo se comporta hidráulicamente el modelo ante un lavado hidráulico convencional, para ver su implementación hay que seguir los pasos para la formulación de un programa de lavado de redes, dicho programa se abordará nuevamente más adelante.

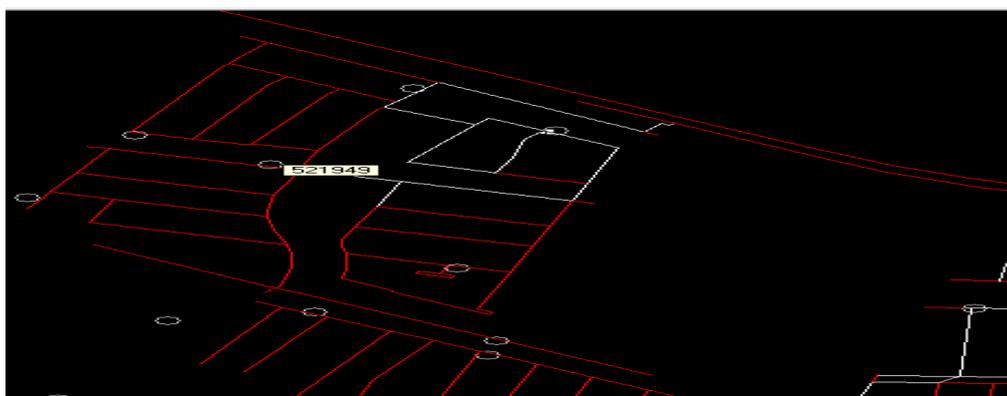
Como se ha dicho en capítulos anteriores el efectuar lavados masivos de la red es impracticable, por ende lo mejor es determinar la zonas con problemas y efectuar lavados localizados. Inicialmente se indicó que hay un par de casos típicos que generan problemas de turbiedad en la red; Puntos muertos, límites sectoriales, cambios de distribución y cortes de agua. Por esta razón se procedió analizar otro lavado en la red, pero en un sector distinto con pasajes pequeños en los límites sectoriales del sistema.

El sector a analizar de acuerdo a los antecedentes previos, que siempre está bajo condiciones de velocidades baja, son pasajes con tuberías de PVC en diámetro 110 mm; la ubicación exacta que se utilizará es el pasaje René Yáñez Pizarro y se ve en la figura siguiente. El modelamiento además nos indicará cuál es el radio de influencia de un grifo.

Figura 17. Situación de la red antes del lavado.



Figura 18. Situación de la red después del lavado.



Las velocidades de lavado alcanzadas están del orden de los 0.5 m/s lo cual es considerado aceptable, a su vez se ve que con la apertura de un grifo es posible en este sector lavar entre tres y cuatro pasajes concurrentes, esto sí habría que chequearlo en terreno. Claramente hubo un cambio en los sentidos de flujo de la red, como conclusión se puede decir que al menos para lavar dicho sector se necesitarían utilizar al menos 5 grifos en forma alternada.

6.4. IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA DE LAVADO EN MELIPILLA

Para la implementación de un programa de lavado en Melipilla, se han seguido cada uno de los pasos indicados en el programa resumen del capítulo anterior. En términos generales lo primero que se analizó son todos los antecedentes de programas de lavado efectuados, experiencias, normativas, parámetros a medir etc. Después se recopilaron todos los problemas de turbiedad en la red de Melipilla, estos se analizaron y compararon con el modelo hidráulico de la red para acotar zonas y criterios para efectuar los lavados. Con los puntos ya definidos se procedió a efectuar un par de lavados localizados en las zonas que se identificaron con problemas, y se encontró que son factibles y que al menos hidráulicamente es posible alcanzar las velocidades de lavado en las tuberías. Otro de los parámetros que fue posible definir es la época más apropiada para efectuar el lavado, la cual sería a finales de julio. Respecto al horario sin duda el más apropiado es en las horas de menor consumo por lo que sería probablemente en la noche entre las 1:00 y 6:00 AM.

El paso siguiente que queda por definir es el coordinar con otras entidades como bomberos, radio, etc. el horario del programa de lavado y finalmente generar un boletín informativo, que indique el porqué se efectúan los lavados, fechas, horas y algún número de teléfono o página Web de la oficina que es responsable de implementar el programa de lavado. Esto último está fuera del alcance de la memoria y sin duda se espera que sea aplicado de alguna forma.

7. CONCLUSIONES

Mediante el estudio de la problemática del lavado de redes de agua potable, se ha encontrado que el tema es muy valorizado y implementado en gran parte del mundo, existen distintos programas pero todos convergen hacia un mismo punto y definen las mismas variables a medir, en el control de la turbiedad, remoción del Biofilm o recuperación del residual del desinfectante. Estas son las tres grandes razones por las que se implementan programas de lavado. El programa de la AWWA es un excelente referente para la formulación de un programa de lavado.

Un programa de lavado enmarcado dentro de las buenas prácticas de manejo de la industria sanitaria, ayuda a optimizar el servicio y garantizar buenos estándares de calidad en el agua producida. Hay todo un conjunto de otras buenas prácticas que complementan los programas de lavado y ayudan a mantener una buena calidad del agua tratada.

El objetivo de la presente memoria era generar una tentativa de norma de procedimiento operativo para el lavado de redes, por consiguiente del estudio de muchos de programas de lavados en el mundo así como boletines informativos de lavados ejecutados, se formuló un programa que resume los pasos a seguir y las variables a tener en cuenta cuando se desea implementar un lavado de redes en el sistema de distribución de agua potable de alguna localidad.

Muchos de los problemas operativos de la red se deben a que no existen políticas preventivas durante su diseño y operación. Una red de distribución se diseña básicamente por presión, esto quiere decir asegurando una presión mínima en la red de 15 mca, para el caudal máximo horario, lo cual no ocurre a cada momento por lo que la red se encuentra la mayor parte del tiempo con consumos menores a los de diseño y por ende con velocidades mucho menores a las esperadas, generando zonas propicias para acumulación de sedimentos o aguas muertas. Otro punto importante es que a pesar de estar normada la ubicación de los grifos

existen configuraciones que se ajustan a la norma pero que hidráulicamente no son las más apropiadas.

Otra de las consideraciones importantes a tener en cuenta en el diseño de una red es el evitar los puntos muertos, es decir hay que tratar siempre de generar circuitos o loop. Esto se repite mucho en los pasajes residenciales de las poblaciones, el generar un loop muchas veces significa instalar el doble de cañerías y por lo tanto se desecha y se hace lo más económico.

Una de las recomendaciones importantes para efectuar un programa de lavado, es contar con un modelo hidráulico de la red mediante un software que permita analizar el sistema en distintos escenarios y modelar las intervenciones.

En la evaluación e implementación práctica de un programa de lavado de Melipilla se aplicaron todos los conocimientos previos de programas de lavados. Se formuló un modelo y se definieron claramente los sectores con velocidades menores a 0.3 m/s, que pueden presentar problemas de turbiedad, los cuales fueron coincidentes con los puntos donde se han tomado muestras de agua con turbiedad mayor a 2 UNT. En resumen se ve que el modelo hidráulico de la red de Melipilla es capaz de identificar las zonas más propensas a tener problemas de turbiedad, y modelar hidráulicamente un lavado de tuberías. Puede ser necesario apoyar el lavado convencional en algunos puntos con equipos auxiliares de bombeo.

Es fundamental para tener un eficiente programa de lavado guardar registros y alimentar con datos de terreno el programa, ya que en todo el mundo se indica que a pesar de poder identificar la mayoría de los parámetros en forma analítica, la experiencia de los operadores es la única capaz de definir cómo y por cuánto tiempo es necesario lavar la red.

En resumen los objetivos de la presente memoria fueron logrados a cabalidad. Primeramente se estudió la problemática asociada al lavado de redes, de ahí se recopilaron las experiencias y normativas relacionadas al lavado de redes en el mundo, para con esto formular un programa de lavado resumen, que sirva como guía para evaluar e implementar un programa de lavado en cualquier parte. Finalmente con este programa como base se procedió a analizar la localidad de Melipilla, y definir que efectivamente tiene algunos problemas puntuales donde es factible aplicar un lavado localizado.

El tema del lavado de redes no es un tema complejo pero sí extenso, porque abarca varias áreas dentro de una empresa sanitaria, como son el área de diseño, modelamiento, calidad de agua y control operativo. Todas estas deben tenerse en cuenta al analizar un sistema. El programa resumen presentado en este informe, básicamente nos indica que hay que tener todos estos puntos presentes.

8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. Correspondencia vía email con personas y organizaciones relacionadas a la agua DWI, OFWAT, y EDU. (dwi.enquiries@defra.gsi.gov.uk, James.Field@ofwat.gsi.gov.uk, lfcarvaj@unalmed.edu.co)
2. ESTÁNDAR TÉCNICO ST GA 1396/1.DESINFECCIÓN DE OBRAS DE AGUA POTABLE. PARTE 1: TUBERÍAS.
3. <http://www.awwa.org/communications/opflow>
4. http://www.bcwwa.org/BMP/bmp_07_flushing/Unidirectional_Flushing_BMP_Draft_Version_1.pdf
5. <http://www.co.hanover.va.us/utilities/flushing.htm>
6. <http://www.dwi.gov.uk>
7. http://www.epa.gov/safewater/disinfection/stage2/pdfs/guide_st2_pws_simultaneous-compliance.pdf
8. <http://www.epanet.com/>
9. <http://www.gov.ns.ca/enla/water/docs/MaintainDistributionSystemWaterQuality.pdf>
10. <http://www.ofwat.gov.uk/aptrix/ofwat/publish.nsf>
11. <http://www.oieau.fr/espagnol/index.htm>
12. <http://www.siss.cl>
13. <http://www.water.ky.gov/dw/techdoc/flushing.htm>
14. <http://www.watercad.com/>
15. HYDRAULIC FLUSHING MODELING IN PIPES TO CONTROL OF BIOFILM GROWTH Dyna, Año 74, Nro. 152, pp 63-72. Medellín, Julio de 2007.
16. Main Disinfection-Why Do it the Way we Do?. American Water Works Association, Opflow. Vol. 22 N°9, pp1, 4, September 1996.
17. Microbial Regrowth and Distribution System Management. American Water Works Association, Opflow. Vol. 23 N°8, pp1-6, August 1997.
18. Norma Chilena 2890. Procedimientos de desinfección de agua potable, Anexo A. (Informativo).

19. Norma Chilena 409. Norma Chilena que regula la Calidad del Agua Potable, Parte I. "Requisitos".
20. Norma Chilena 691.of 98. "Agua Potable - Conducción, regulación y distribución".
21. Norma Chilena 777/2.of 2000. "Agua Potable – Fuentes de abastecimiento y obras de captación – Parte 2: Captación de aguas subterráneas.
22. Optimizing Distribution System Operations. American Water Works Association, Opflow. Vol. 22 N°11, pp1,4-6, November 1996.
23. Reuniones técnicas con los ingenieros Francisco Grau, Mario Donoso y Michell Buguño de la empresa Aguas Andinas S.A. (mdonosos@aguasandinas.cl, mbugueno@aguasandinas.cl)
24. Unidirectional Flushing Program is Clean Sweep. American Water Works Association, Opflow. Vol. 26 N°1, pp1, 6,7, January 2000.
25. Water Transmission and Distribution de la AWWA, Flushing and Cleaning
26. What to Do with Unavoidable Dead Ends. American Water Works Association, Opflow. Pp 20, 21, February 2007.
27. http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/netze/iwa_wloss.pdf