

Estudio sobre la aplicación de tratamientos para el control de la proliferación de la legionelosis en una instalación de suministro de agua caliente sanitaria realizada con acero galvanizado



UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO
Facultad de Farmacia

UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
FACULTAD DE FARMACIA
DPTO. QUIMICA ANALITICA
c/Paseo de la Universidad s/n
01006 VITORIA-GASTEIZ



EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA
FARMAZI FAKULTATEA
KIMIKA ANALITIKA SAILA
c/Paseo de la Universidad s/n
01006 VITORIA-GASTEIZ

Tfno 945 01 30 00 FAX 945 01 30 14

El presente estudio fue encargado en su día al Departamento de Química Analítica de la UPV/EHU por la Asociación de Fabricantes de Tubo de Acero Soldado Longitudinalmente y Accesorio de Fundición Maleable Roscado para Tubería, AFTA.

.

Participantes en el estudio:

Nora Unceta
Dra. M. Carmen Sanpedro
Dra. M. Aranzazu Goicolea
Dr. Ramón J. Barrio

INDICE

1. PRESENTACION.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2. Resistencia del recubrimiento de cinc.....	5
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	7
3. DISEÑO DEL ESTUDIO	8
4. DESCRIPCION DEL CIRCUITO DE ENSAYO	9
5. FASES DEL ESTUDIO	13
6. METODOLOGÍAS ANALÍTICAS	14
7. CALENDARIO DE TRABAJO	15
7.1. FASE I: Limpieza y desinfección térmica (mantenimiento)	15
7.2. FASE II: Limpieza y desinfección continuada (brote de legionelosis)	15
8. RESULTADOS OBTENIDOS.....	16
8.1. Ensayos previos.....	16
8.1.1. Caracterización química del agua de red empleada en el estudio	16
8.1.2. Reproducibilidad de los ensayos de espesor de Zn	17
8.2. Resultados del tratamiento térmico.....	18
8.3. Resultados del tratamiento con Cloro.....	21
8.3.1. Tratamiento con cloro: tubos del mismo origen	22
8.3.2. Tratamiento con cloro: tubos de diferente origen.....	23
9. CONCLUSIONES	28
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	29

1. PRESENTACIÓN

1.1. Introducción

El agua es una de las sustancias necesarias para el sostenimiento de la vida, y su contaminación es fuente de numerosas enfermedades humanas. A medida que avanza el estado del bienestar, el consumidor exige aguas libres de color, turbiedad, sabor, olor, nitratos, iones metálicos peligrosos y de una amplia variedad de sustancias orgánicas tales como pesticidas y disolventes clorados. Independientemente de todo ello, las administraciones públicas deben garantizar suministros de agua biológicamente aceptables, realizando para ello los controles que sean necesarios.

En este sentido las legislaciones europeas incorporan cada vez con más asiduidad, normativas que afectan ya no tan solo a la calidad de agua destinada a consumo humano, sino incluso disposiciones preventivas relacionadas con el almacenamiento y transporte de agua.

En el año 2001 se publicaba el Real Decreto 909/2001 de 27 de julio por el que se establecen la adopción de medidas higiénico-sanitarias para la prevención y control de la legionelosis, que posteriormente se ha actualizado con la publicación del Real Decreto 865/2003 de 4 de julio. La infección por legionella puede ser adquirida en dos ámbitos, el comunitario y el hospitalario. En ambos casos la enfermedad puede estar asociada a varios tipos de instalaciones, equipos y edificios.

La legionella es una bacteria ambiental capaz de sobrevivir en un amplio intervalo de condiciones físico-químicas, multiplicándose entre 20°C y 45°C, destruyéndose a 70°C. Su temperatura óptima de crecimiento es 35-37°C. Su nicho ecológico natural son las aguas superficiales, como lagos, ríos, estanques, formando parte de su flora bacteriana. Desde estos reservorios naturales la bacteria puede colonizar los sistemas de abastecimiento de las ciudades y, a través de la red de distribución de agua, se incorpora a los sistemas de agua sanitaria (fría o caliente) u otros sistemas que requieren agua para su funcionamiento como las torres de refrigeración. En algunas ocasiones, en estas instalaciones, mal diseñadas, sin mantenimiento o con un mantenimiento inadecuado, se favorece el estancamiento del agua, la acumulación de productos nutrientes de la bacteria, como lodos, materia orgánica, materias de corrosión y amebas, formando una biocapa. La presencia de esta biocapa, junto a una temperatura propicia explica la multiplicación de legionella hasta concentraciones infectantes para el ser humano. Si existe en la instalación un mecanismo productor de aerosoles la bacteria puede dispersarse al aire. Las gotas de agua que contienen la bacteria pueden permanecer suspendidas en el aire y penetrar por inhalación en el aparato respiratorio.

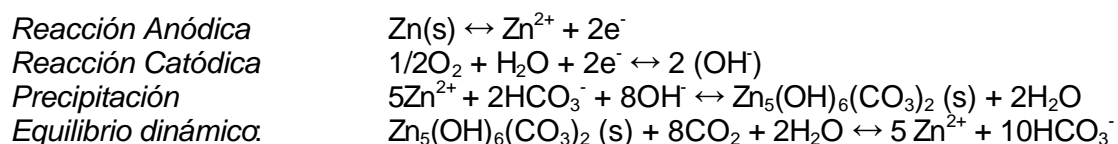
Las instalaciones que con mayor frecuencia se encuentran contaminadas con legionella y han sido identificadas como fuentes de infección son los equipos de enfriamiento de agua evaporativos, tales como las torres de refrigeración y los condensadores evaporativos y los sistemas de distribución de agua sanitaria, caliente y fría, tanto en centros sanitarios como en hoteles u otro tipo de edificios. El Real Decreto 865/2003 establece claramente en su anexo 3 los aspectos mínimos que debe de recoger la revisión y la limpieza así como la desinfección de los sistemas de agua sanitaria caliente y fría de consumo humano. En este anexo se indica que la limpieza y desinfección se realizará al menos una vez al año en la instalación completa, y además en los siguientes supuestos: cuando se ponga en marcha la instalación por primera vez, tras una parada superior a un mes, tras una reparación o modificación estructural, cuando una revisión general así lo aconseje y cuando así lo determina la autoridad sanitaria.

Este Real Decreto describe los procedimientos a seguir tanto para la limpieza y desinfección en caso de mantenimiento de la instalación, como para la limpieza y desinfección en caso de brote de legionelosis. Cabe destacar que los procedimientos establecidos en el antiguo Real Decreto 909/2001 en su anexo 3, son análogos a los descritos en el nuevo Real Decreto 865/2003.

1.2. Resistencia del recubrimiento de cinc

En los últimos años se han realizado numerosos estudios sobre la estabilidad de los recubrimientos de cinc en tubos galvanizados, orientados sobre todo a garantizar la calidad del agua destinada a consumo humano.

De todos ellos se deduce que la corrosión del recubrimiento de cinc se produce mediante una serie de equilibrios químicos cuya resultado final es un carbonato denominado hidrozincita, $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$



Se observa que para que se produzcan fenómenos de corrosión las aguas deben disponer de suficiente oxígeno disuelto para producir iones Zn^{2+} solubles, los cuales precipitarán posteriormente en medios con reserva alcalina. El precipitado, que puede ejercer cierta protección sobre el tubo, se mantiene en equilibrio dinámico por la presencia de dióxido de carbono. Altas concentraciones de CO_2 pueden provocar la redisolución del precipitado, mientras que bajas concentraciones pueden acelerar la corrosión del Zn.

Por otra parte es necesario mencionar las diferentes fases intermetálicas Zn-Fe que pueden llegar a producirse en el proceso de galvanizado. De acuerdo con el diagrama binario, las fases que pueden formarse cuando el Zn difunde en el Fe son η (Fe-Zn saturado), ζ ($FeZn_{13}$), δ_1 ($FeZn_7$), Γ (Fe_5Zn_{21}).

Fase	Fe(wt%), 450°C	Deformabilidad
h-Zn	<0.03	Dúctil
z	5-6	Dúctil
δ_1	7-12	Frágil
Γ	23-28	Frágil
a-Fe	95	Duro y fragil

Tabla 1. Principales fases del sistema Fe-Zn

La difusión del Zn en el Fe varía de acuerdo con el tipo de fase, de ahí que las diferentes fases puedan presentar diferentes espesores. Estudios previos¹ han señalado la influencia de la estructura del recubrimiento de cinc en la calidad del tubo. Cuando el revestimiento consiste enteramente en fases de aleación de Zn-hierro (lo cual puede ocurrir cuando la presión del vapor que limpia el tubo es demasiado alta y arrastra toda la capa η de aleación) la conductividad de la capa de óxido es muy alta desde el principio y las células de corrosión se forman fácilmente.

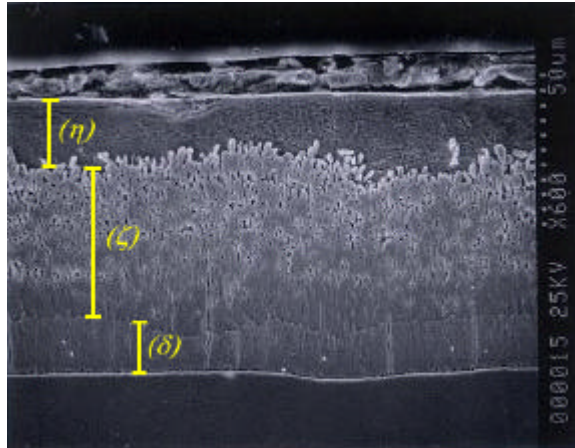


Figura 1. Morfología típica de una sección transversal de recubrimiento galvanizado

De todo ello puede deducirse, que para la realización de cualquier estudio de estabilidad tanto térmica como química de tubos galvanizados, deberán monitorizarse las concentraciones de los iones Zn^{2+} y Fe^{2+} presentes en el agua en contacto con la tubería.

¹ C. L. Kruse. *Corrosion of Galvanized Steel in Potable Water Supplies*, in *Corrosion and Related Aspects of Materials for Potable Water Supplies*, ed P. McIntyre and A.D. Mercer, Institute of Metals, London (1993), p 59

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

La asociación de fabricantes de tubo de acero y accesorios de fundición maleable (AFTA) se encuentra con la necesidad de comprobar que los productos fabricados por sus asociados están preparados y son adecuados para soportar los procedimientos de limpieza y desinfección (con o sin brote de legionelosis) a los que obliga el RD 865/2003.

Para ello se ha diseñado un proyecto de colaboración con el Departamento de Química Analítica de la Facultad de Farmacia de la UPV/EHU, que pretende alcanzar los siguientes objetivos

- Realizar un estudio sobre la estabilidad térmica de los recubrimientos de cinc de los tubos y accesorios galvanizados, después de ser sometidos a los tratamientos de prevención y desinfección de legionelosis previstos en el RD 865/2003.
- Realizar un estudio sobre la estabilidad química de los recubrimientos de cinc de los tubos y accesorios galvanizados, después de ser sometidos a los tratamientos de prevención y desinfección de legionelosis previstos en el RD 865/2003.

3. DISEÑO DEL ESTUDIO

Como ya se ha dicho, el anexo 3 del RD 865/2003 describe el protocolo de limpieza y desinfección como mantenimiento y el protocolo de limpieza y desinfección en caso de brote de legionelosis. En ambos casos se detallan dos tipos de procedimientos distintos: uno de limpieza y desinfección térmica y otro de limpieza y desinfección con cloro.

1. Limpieza y desinfección preventiva

Al menos una vez al año, podrá ser mediante procedimientos térmicos o de tratamiento con cloro:

- 1.1 *Limpieza y desinfección térmica*: elevar la temperatura del agua del depósito hasta 70°C, dejando correr el agua para que en los puntos terminales de la red se alcance una temperatura de 60°C, y mantener durante dos horas.
- 1.2 *Limpieza y desinfección con cloro*: clorar con 20-30 ppm de cloro residual libre, a Tª no superior a 30°C y pH de 7-8, haciendo llegar a los puntos terminales de la red 1-2 ppm y mantener durante tres o dos horas respectivamente.

2. Limpieza y desinfección en caso de brote de legionelosis.

Al igual que en el caso anterior la desinfección denominada ahora de choque podrá realizarse mediante cloro o tratamiento térmico:

- 2.1 *Desinfección térmica*: elevar la temperatura del agua del depósito hasta 70°C, dejando correr el agua para que en los puntos terminales de la red se alcance una temperatura de 60°C y mantener durante cuatro horas
- 2.2 *Desinfección con cloro*: clorar con 15 ppm de cloro residual libre, manteniendo el agua por debajo de 30°C y a un pH de 7-8, y mantener 4 horas. (Alternativamente 20-30 ppm de cloro y 3-2 horas respectivamente). Neutralizar y vaciar depósitos. Volver a clorar con 4-5 ppm y mantener 12 horas comprobando las concentraciones de cloro.

Tras la aplicación de choque, la instalación se mantendrá con un tratamiento continuado que consistirá en mantener 1-2 ppm de cloro residual libre de forma constante en los puntos finales de la red (sistema de agua fría) y 55-60°C en los puntos finales de la red (agua caliente sanitaria).

Con objeto de disponer de datos experimentales que permitan realizar suposiciones sobre estimaciones de duración de los tubos y accesorios, se ha diseñado un protocolo de ensayos sobre una instalación prototipo que se recoge en la Figura 2.

En dicho prototipo se pretenden simular las condiciones de agresión térmica y química que sufriría una red de distribución de agua cuando se somete a los tratamientos que emanan del RD 865/2003.

Los parámetros analíticos que se utilizarán para comprobar la estabilidad de la tubería son el espesor y la densidad superficial de la capa de cinc empleada en el galvanizado del tubo. Se realizarán así mismo medidas de las concentraciones de cinc y hierro en el agua en contacto con la tubería.

4. DESCRIPCION DEL CIRCUITO DE ENSAYO

El prototipo de ensayo consta de una caldera de gas Saunier Duval Modelo Therma Classic ASF24E+Kit. acoplada a un acumulador Saunier Duval, Modelo TyP BDRM-100 de 1500 w. La recirculación de agua se realiza mediante una bomba Grundfos. El sistema posee dos medidores de flujo que permiten controlar el volumen de agua necesario que se introduce en el circuito. Así mismo se han colocado dos termómetros Cewal, A Norme, ISPEL, en dos extremos del circuito con objeto de poder controlar la temperatura en todo momento. Las válvulas de control son de la marca Saycalsa.

El sistema de red de distribución con recirculación del agua, incluye una serie de by-pass que permiten realizar muestreos de tubo, sin afectar al resto del sistema.

El tubo y los accesorios para la construcción de todo el sistema fueron proporcionados por AFTA. Se trata de tubo galvanizado UNE 19047, de 1' para el circuito y de 3/4' para los by-pass y accesorios bajo norma UNE-EN 10242: codos A1,3/4', codos A, 1', y T B1 de 1' a 3/4' y juntas rápidas en los by-pass (DIN-3387)

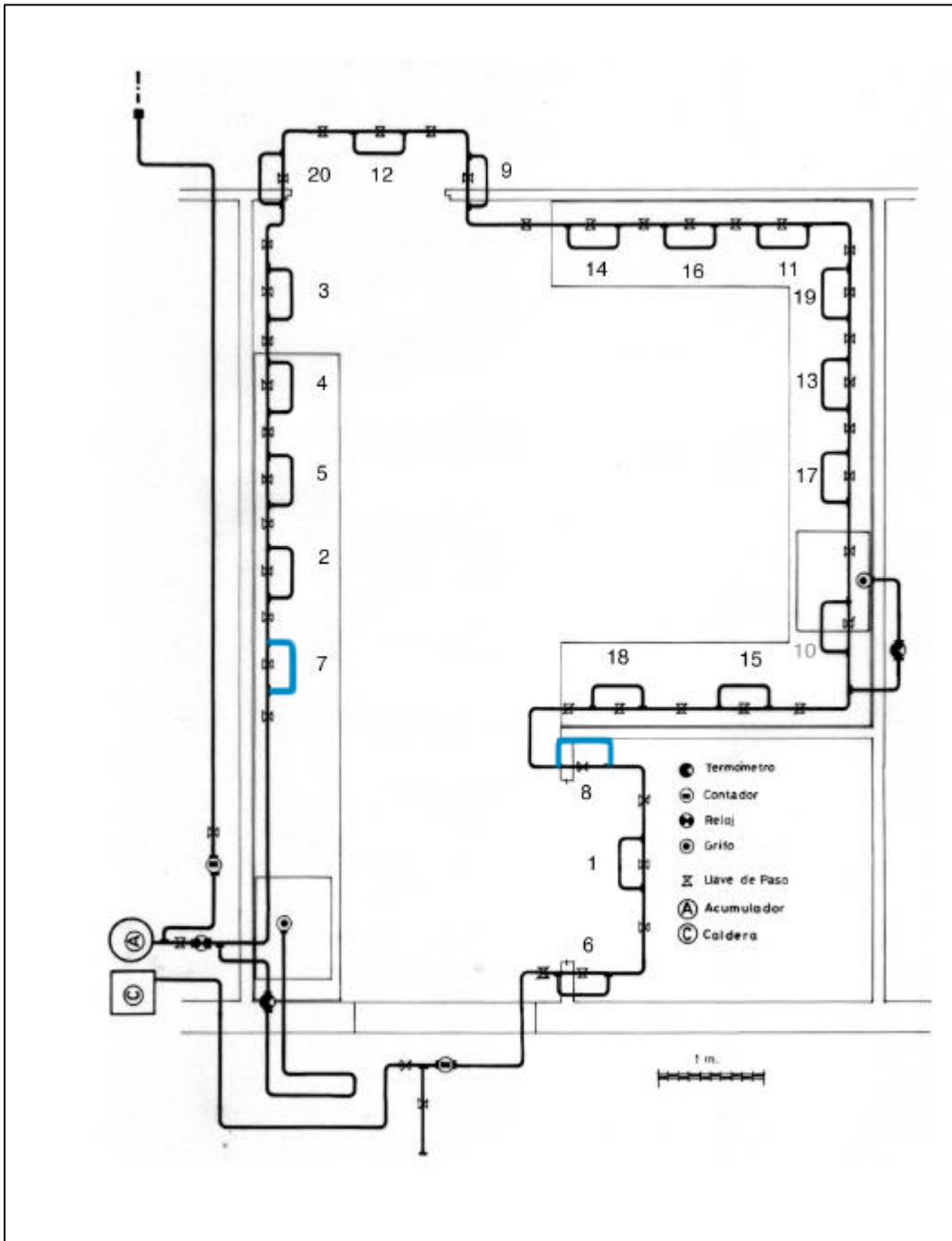


Figura 2: Descripción del circuito de ensayo. En azul se remarcan los by-pass 7 y 8 utilizados en el ensayo sobre tubos del mismo origen de la fase II.

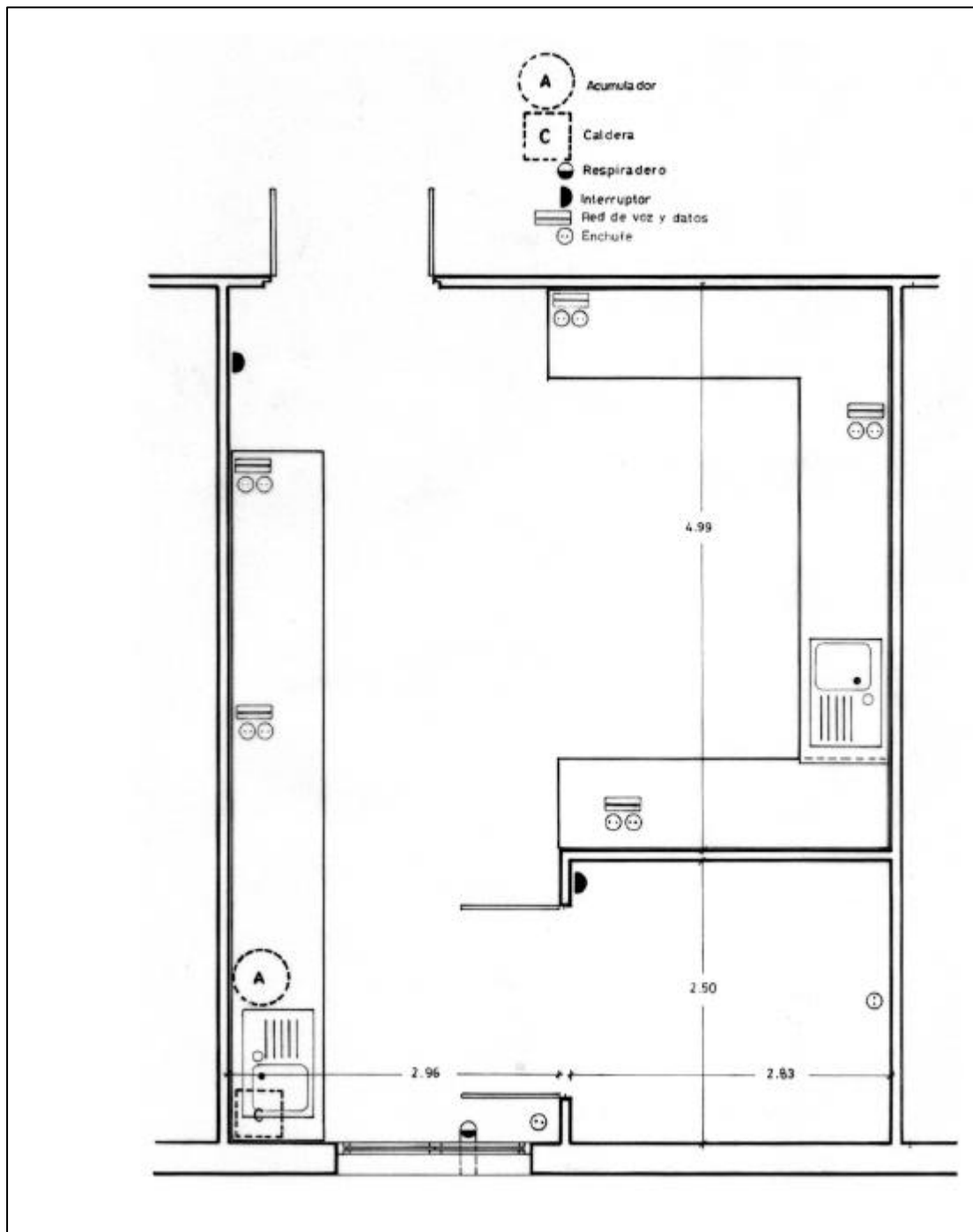


Figura 3. Plano del local donde se realizó la instalación del circuito experimental (unidades en metros)



Figura 4. Fotografías que muestran detalles del circuito experimental

5. FASES DEL ESTUDIO

Los distintos tratamientos preventivos y de choque que propone el RD 865/2003, pueden influir de forma variada en la estabilidad de las tuberías. Con objeto de acercarse al planteamiento preventivo de forma progresiva se ha dispuesto realizar el estudio en dos fases. Cada una de ellas pretende reproducir alguna de las condiciones del RD. Las fases se desarrollaron de forma continuada durante un periodo de tiempo pretendiendo con ello la simulación de los tratamientos obligados por el R.D. a lo largo de los sucesivos años.

Fase I: Tratamiento térmico preventivo

Se elevó la temperatura del depósito hasta 70°C, haciendo circular el agua en circuito cerrado permanentemente, garantizando temperaturas de 60°C en los puntos terminales de la red y manteniendo el proceso durante 2 horas.

- El proceso se realizó diariamente durante 30 días.
- Se vació la tubería de agua todos los días, para iniciar el ensayo con agua de la red. Se evacuaron diariamente 300 litros de agua, cantidad que equivale al consumo medio diario de una vivienda.
- Se tomaron muestras de agua de la tubería después de las 2 horas de tratamiento térmico y al día siguiente antes de vaciar la tubería.
- Cada 7 días de ensayo se eliminó un by-pass y se tomó una muestra de tubo del mismo

Fase II: Tratamiento térmico y desinfección con cloro en caso de brote

Se elevó la temperatura del acumulador a 70°C haciendo circular el agua en circuito cerrado permanentemente, garantizando temperaturas de 55°C en los puntos terminales de la red y manteniendo el proceso durante 24 horas. A su vez se dosificó la instalación con 1-2 ppm de cloro residual, asegurando esta concentración durante las 24 horas del ensayo.

- El proceso se realizó diariamente durante 60 días.
- La dosificación y medida colorimétrica de cloro se realizó dos veces al día, al inicio (8 a.m.) y sobre la mitad del ensayo (19-20h)
- Se vació la tubería de agua todos los días, para iniciar el ensayo con agua de la red. Se evacuaron diariamente 300 litros de agua, cantidad que equivale al consumo medio diario de una vivienda.
- Se tomaron muestras de agua de la tubería después de 24 horas del tratamiento.
- Cada 10 días de ensayo se eliminó un by-pass y se tomó una muestra de tubo de dicho elemento
- Se realizó un ensayo específico sobre dos by-pass, de los que se tomaron cuatro muestras de tubo a lo largo de los tres meses de ensayo. La disminución de la longitud del tubo se solventó con juntas rápidas. Ello permitió realizar ensayos de espesor sobre el mismo tubo.

6. METODOLOGÍAS ANALÍTICAS

A lo largo de todo el estudio se han controlado ciertos parámetros analíticos directamente relacionados con la estabilidad de los tubos y accesorios sometidos a los diferentes tratamientos:

- Concentración de hierro en el agua de la tubería.
- Concentración de cinc en el agua de la tubería.
- Control del recubrimiento de cinc del tubo galvanizado
- Concentración de cloro residual (durante la desinfección en caso de brote).

1. Determinación de hierro en el agua de muestra

A las muestras de agua recogidas se les ha realizado a una digestión ácida asistida por microondas. Para ello se ha utilizado HNO_3 al 65% y la muestra se ha sometido a un programa de temperaturas de hasta 170°C en horno MW.

La determinación de hierro se realiza mediante técnicas electroanalíticas de polarografía diferencial de impulsos. El método se basa en la formación de un complejo de hierro con catecol en presencia de tampón Pippes a un pH de 7, lo que permite la reducción del complejo formado sobre electrodo de gota de mercurio a potenciales de $-450\text{ mV vs. Ag/ClAg}$. Para la determinación de la concentración se utilizó el método adiciones estándar con un patrón de hierro.

El límite de determinación del método se ha estimado en $0,06\text{ mg l}^{-1}$.

2. Determinación de Cinc en la muestra de agua.

La determinación de cinc por absorción atómica se realizó con una lámpara de cátodo hueco de cinc. Las medidas de cinc se realizaron a una longitud de onda de $213,9\text{ nm}$ y una anchura de banda de $0,5\text{ nm}$. La llama utilizada para la atomización de la muestra es de aire/acetileno.

El límite de determinación del método se ha estimado en $0,12\text{ mg l}^{-1}$.

3. Control del recubrimiento del tubo galvanizado

La determinación del espesor exterior e interior de la capa de cinc (μm) se ha determinado por gravimetría siguiendo el protocolo de la Norma ISO 1460. Los tubos de muestra provienen de los by-pass de la tubería. Los tubos analizados deben medir 10 cm de longitud y son sumergidos en una solución de decapado que contiene hexamina (utilizada como inhibidor de ataque del acero) disuelta en ácido clorhídrico y diluída con agua destilada.

4. Medida del cloro residual

La determinación de la concentración de cloro en al agua de la tubería, se ha realizado por colorimetría, con reactivos comerciales. Dicho test fue comprobado previamente a su utilización en rutina por titulación iodométrica con tiosulfato.

7. CALENDARIO DE TRABAJO

7.1. FASE I: Limpieza y desinfección térmica (mantenimiento)

Protocolo del ensayo

Toma de muestra: Tomar muestra de agua a primera hora de la mañana, vaciar la tubería (evacuar 300 litros de agua) y llenar con agua limpia de la red. Calentar todo el circuito a 60°C y dejar 2 h. Una vez pasadas las dos horas tomar una segunda muestra de agua.

Análisis diario de las concentraciones de Hierro y Cinc en el agua. Análisis semanal del galvanizado en los by-pass de la tubería.

La duración de esta primera fase ha sido de seis semanas:

- SEPTIEMBRE 2002:
semana del 9-13, semana del 16-20, semana del 23-27,
- OCTUBRE 2002:
semana del 30-4, semana del 9-13, semana del 16-20,

7.2. FASE II: Limpieza y desinfección continuada (brote de legionelosis)

Protocolo del ensayo

Toma de muestra: Vaciar la tubería (evacuar 300 litros de agua) y llenar con agua limpia de la red. Calentar todo el circuito a 60°C y clorar asegurando 1.5-2 ppm de cloro residual en los terminales de la tubería. A las doce horas medir cloro residual y temperatura y volver a clorar. A las doce horas medir cloro residual y temperatura. Tomar muestra de agua para el resto de los análisis. Vaciar la tubería y volver a repetir el mismo procedimiento.

Análisis diario de las concentraciones de Hierro, Cinc y Cloro residual en el agua. Medida del pH del agua. Cada diez días, análisis del galvanizado en los by-pass de la tubería.

La duración de la segunda fase ha sido de doce semanas:

- NOVIEMBRE 2002
semana del 25-29
- DICIEMBRE 2002
semana del 2-6, semana del 9-13, semana del 16-20
- ENERO 2003
semana del 13-17, semana del 20-24, semana del 27-31
- FEBRERO 2003
semana del 3-7, semana del 10-14, semana del 17-21, semana del 24-28
- MARZO 2003
semana del 3-7

8. RESULTADOS OBTENIDOS

8.1. Ensayos previos

8.1.1. Caracterización química del agua de red empleada en el estudio

pH	7,6
Conductividad	270 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Cloruros	21,2 mg/L
Sulfatos	22,6 mg/L
Sílice(SiO_2)	3,1 mg/L
Calcio	44,6 mg/L
Magnesio	4,5 mg/L
Sodio	10,6 mg/L
Potasio	1,5 mg/L
Aluminio	0,07 mg/L
Dureza total (Ca CO_3)	130 mg/L
Arsénico	<1 $\mu\text{g}/\text{L}$
Cadmio	<0,2 $\mu\text{g}/\text{L}$
Cromo	<1 $\mu\text{g}/\text{L}$
Mercurio	<0,2 $\mu\text{g}/\text{L}$
Niquel	<5 $\mu\text{g}/\text{L}$
Plomo	<2 $\mu\text{g}/\text{L}$
Antimonio	<1 $\mu\text{g}/\text{L}$
Selenio	<1 $\mu\text{g}/\text{L}$
Nitratos	1,6 mg/L
Nitritos	<0,02 mg/L
Amonio	<0,10 mg/L
Oxidabilidad	1,2 mg/L
Carbono Orgánico Total	2,64 mg/L
Boro	<250 $\mu\text{g}/\text{L}$
Hierro	<60 $\mu\text{g}/\text{L}$
Manganeso	<2 $\mu\text{g}/\text{L}$
Cobre	<50 $\mu\text{g}/\text{L}$
Cinc	<30 $\mu\text{g}/\text{L}$
Fósforo (P_2O_5)	<115 $\mu\text{g}/\text{L}$
Fluor	0,08 mg/L
Cloro libre residual	<0,10 mg/L

Tabla 2. Características del agua de red utilizada en los ensayos

8.1.2. Reproducibilidad de los ensayos de espesor de Zn

El circuito experimental fue construido con tubos del mismo fabricante. Se realizó un estudio previo sobre la variabilidad del ensayo de espesor de Zn, utilizando para ello una muestra de cada uno de los tubos empleados en la construcción del circuito. Los resultados obtenidos se reflejan en la Tabla 3

Denominación tubo	μm	g/m^2
a	91,70	660,60
b	75,10	540,60
c	140,60	1012,60
d	121,40	874,00
e	118,70	854,90
f	134,70	970,20
g	107,60	774,70
h	112,60	810,60
i	105,40	759,20
j	102,20	736,00
k	110,60	796,70
l	113,30	816,10
m	113,30	815,80
DESV STAN	16,83	121,23
int. Conf	9,15	65,90
media	111,32	801,69

Tabla 3. Variación de espesor de Zn entre diferentes tubos

Así mismo y con objeto de conocer si las desviaciones del ensayo anterior son imputables a la propia desviación estandar del método de ensayo o al proceso de fabricación del tubo galvanizado, se realizó un ensayo sobre tramos de un mismo tubo en secciones no necesariamente contiguas. Los resultados se reflejan en la Tabla 4.

zonas de tubo no-contiguas	μm	g/m^2
A	135,30	974,10
B	130,40	939,20
C	114,40	823,50
D	115,90	834,50
E	113,30	815,50
DESV STAN	10,22	73,73
int. Conf	8,96	64,63
media	121,86	877,36

Tabla 4. Variación del espesor de Zn entre zonas del mismo tubo

Los resultados de estos ensayos de variabilidad hacen suponer que los intervalos de confianza obtenidos en la medida del espesor de la capa de Zn, son lo suficientemente amplios como para exigir medidas por triplicado de cada uno de los ensayos que se vayan a realizar.

Deberá trabajarse por lo tanto con los intervalos de confianza resultantes de cada medida , al objeto de obtener resultados significativos del estudio.

Dado que las desviaciones estandar de cada uno de los dos estudios, pueden considerarse del mismo orden, se escogió como intervalo de confianza en las medidas de espesor el caso más desfavorable, es decir $\pm 9,15 \mu\text{m}$ ó $\pm 65,90 \text{ g/m}^2$.

8.2. Resultados del tratamiento térmico

Durante seis semanas se sometió al circuito al tratamiento térmico arriba descrito. A continuación se describen los resultados obtenidos, relativos tanto al espesor de la capa de Zn interna del tubo, como a las concentraciones de iones cinc y hierro presentes en el agua en contacto con la tubería.

Fecha	Nº de by-pass	espesor interno (μm)		densidad capa interna (g/m^2)	
		media	Int. Conf.	media	int. Conf.
13/9/02	1	115,25	2,36	829,55	17,01
20/9/02	2	112,15	1,86	807,55	13,53
27/9/02	3	91,55	11,04	659	79,19
4/10/02	4	118,05	2,11	849,8	15,14
11/10/02	5	114,3	9,93	823,25	71,65
18/10/02	6	93,45	0,87	672,6	6,45
Blanco	-	111,32	9,14	801,69	65,9

Tabla 5. Espesores de Zn de la capa interna del tubo expresados en μm y en g/m^2 . El blanco representa tubo de un by-pass después de las pruebas iniciales de funcionamiento del circuito.

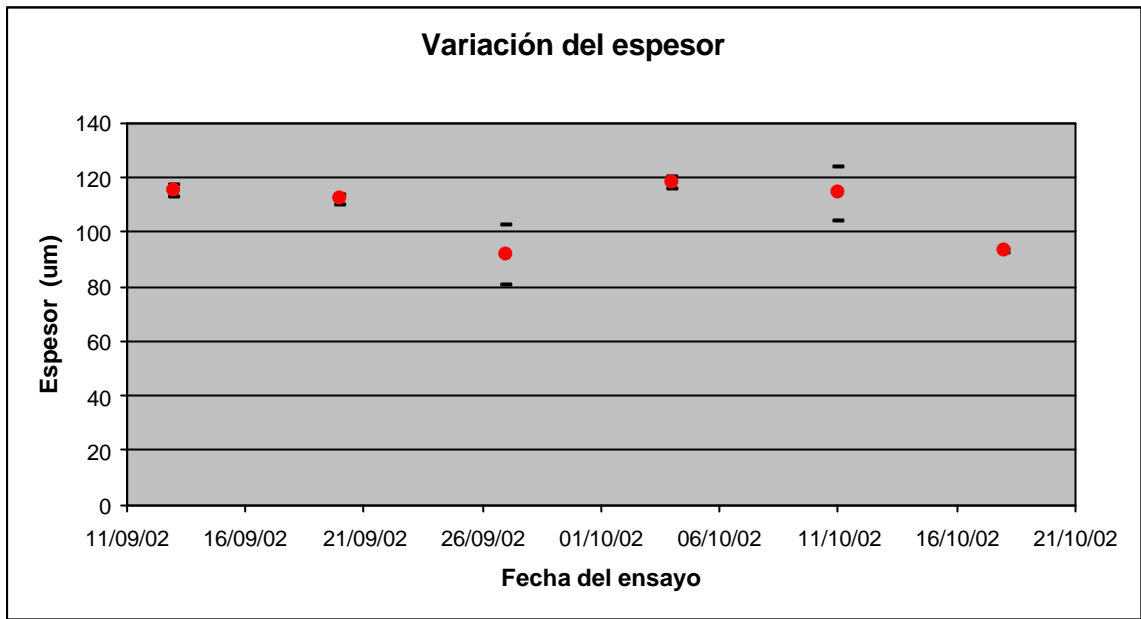


Figura 5. Variación del espesor de la capa de Zn, después de someter a la tubería a tratamiento térmico. Los puntos son media de tres medidas y expresan el intervalo de confianza del resultado. Las líneas negras representan el intervalo de confianza del ensayo general.

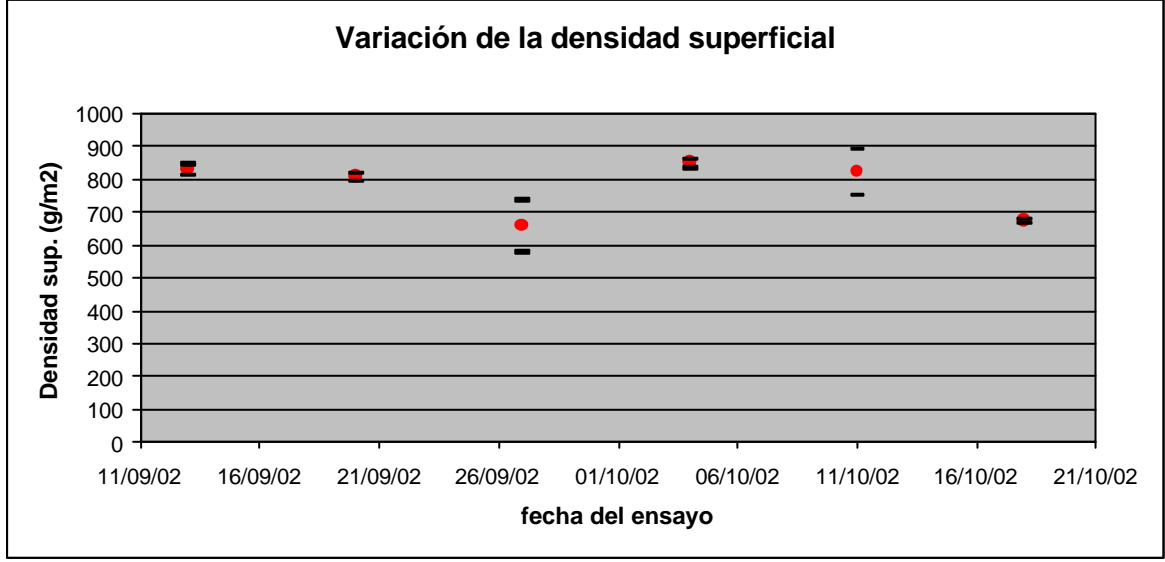


Figura 5 bis. Variación de la densidad superficial de la capa de Zn, después de someter a la tubería a tratamiento térmico. Los puntos son media de tres medidas y expresan el intervalo de confianza del resultado. Las líneas negras representan el intervalo de confianza del ensayo general.

Fecha	Zn (mg/l)		Fe (mg/l)	
	después de 2h a 65°C	después de 20 h a t ^a ambiente	después de 2h a 65°C	después de 20 h a t ^a ambiente
09-sept-02	0,42	0,18	0.08	<0.08
10-sept-02	0,46	1,56	<0.08	<0.08
11-sept-02	0,48	1,53	<0.08	<0.08
12-sept-02	0,67	2,69	<0.08	<0.08
13-sept-02	0,57	2,77	<0.08	<0.08
16-sept-02	0,66	1,38	<0.08	<0.08
17-sept-02	0,57	1,98	<0.08	<0.08
18-sept-02	0,86	2,21	<0.08	<0.08
19-sept-02	0,66	1,93	<0.08	<0.08
20-sept-02	0,42	2,28	<0.08	<0.08
23-sept-02	1,05	4,34	<0.08	<0.08
24-sept-02	0,74	2,24	<0.08	<0.08
25-sept-02	0,58	2,61	<0.08	<0.08
26-sept-02	0,58	2,46	<0.08	<0.08
27-sept-02	0,58	2,50	<0.08	<0.08
30-sept-02	0,68	3,75	<0.08	<0.08
01-octu-02	0,75	1,99	<0.08	<0.08
02-octu-02	0,44	2,06	<0.08	<0.08
03-octu-02	0,50	2,05	<0.08	<0.08
04-octu-02	0,62	2,09	<0.08	<0.08
07-octu-02	0,47	1,30	<0.08	<0.08
08-octu-02	0,72	1,89	<0.08	<0.08
09-octu-02	0,79	1,94	<0.08	<0.08
10-octu-02	0,44	2,07	<0.08	<0.08
11-octu-02	0,75	1,64	<0.08	<0.08
14-octu-02	1,37	2,86	<0.08	<0.08
15-octu-02	0,97	2,30	<0.08	<0.08
16-octu-02	0,59	1,86	<0.08	<0.08
17-octu-02	0,51	1,82	<0.08	<0.08
18-octu-02	0,82	1,87	<0.08	<0.08

Tabla 6. Valores de las concentraciones de iones Zn y Fe presentes en el agua del circuito a dos tiempos diferentes, resultantes del tratamiento térmico. La muestra de agua en contacto con la tubería es renovada todos los días. Los fines de semana la tubería permanece con el agua correspondiente al último ensayo, de ahí que se aprecien valores significativamente superiores para la concentración de cinc el primer día de la semana.

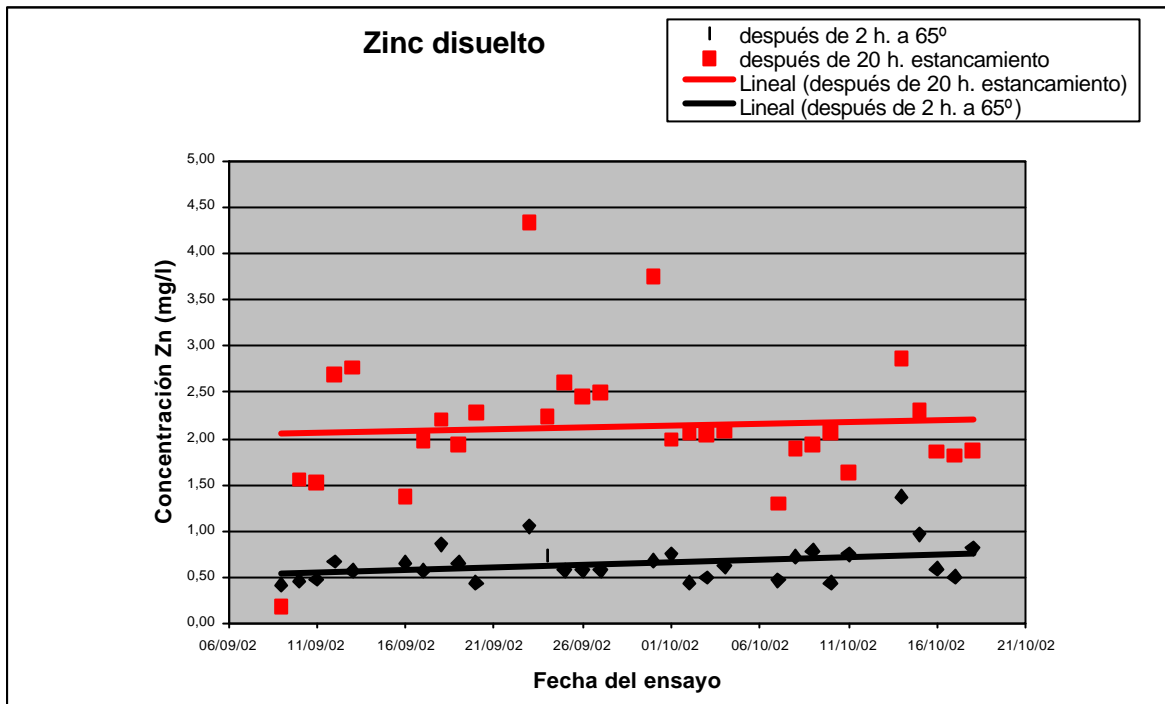


Figura 6. Representación de los datos correspondientes a la Tabla 6

Del estudio de la gráfica pueden deducirse los datos correspondientes a las líneas de tendencia de ambos ensayos. Si se fuerza dicha tendencia a una correlación lineal se obtienen las ecuaciones

$$y = 0,0039x - 137,1$$

$$y = 0,0056x - 202,8$$

para las muestras de 20 h a T^a ambiente
 para las muestras de 2h a 65° C

es decir, rectas con pendientes de 0,0039 y 0,0056 ppm/día respectivamente, que cuantificarían la degradación de la tubería y que en absoluto pueden considerarse significativas.

8.3. Resultados del tratamiento con Cloro

Durante doce semanas se sometió al circuito de ensayo a tratamientos combinados de temperatura y cloración del agua, según el protocolo mencionado anteriormente (apartado 5, fase II).

Con objeto de disponer de datos que pudieran informar sobre la estabilidad de un mismo tubo, en zonas similares, se reservaron dos by-pass (los números 7 y 8 de la Figura 2) para realizar un ensayo adicional. Dicho ensayo consistió en ir determinando el espesor de Zn a lo largo del tratamiento, cortando para ello porciones de tubo contiguas. La parte del tubo dedicada al ensayo, se sustituyó en el by-pass mediante sistemas de acoplamiento, que permitían recuperar la longitud inicial del tubo. Este ensayo no permitió la realización de medidas repetitivas de espesor de capa de Zn, dado la limitación longitudinal de la tubería. Así mismo la longitud del tubo de ensayo se redujo a la mitad. Los resultados se recogen en la Tabla 7 y la Figura 7.

El resto de ensayos se realizaron sobre los by-pass disponibles en el circuito de ensayo, los cuales como ya se ha mencionado anteriormente, presentan cierta dispersión de espesor, al provenir de diferentes tubos. En este caso se pudo establecer el límite de confianza de cada medida, al disponer de tramos de tubo de longitud suficiente para realizar el corte por triplicado.

8.3.1. Tratamiento con cloro: tubos del mismo origen

Ensayos sobre tubo del mismo origen				
Fecha	Tubo origen	By-pass N°	Espesor interno (µm)	Densidad capa interna (g/m ²)
25/11/02	2	8	126,2	908,9
	4	7	99,8	718,2
24/1/03	2	8	126,5	911,0
	4	7	102,5	738,3
5/3/03	2	8	118,3	851,5
	4	7	103,4	745,3

Tabla 7. Resultados de los ensayos de espesor de la capa de Zn de tubo galvanizado, después de someter a la tubería a tratamientos diarios con concentraciones de cloro de 1.5 ppm y temperatura de 55° C. El ensayo se realiza sobre los by-pass 7 y 8, cada uno de los cuales se construyó con un tubo diferente.

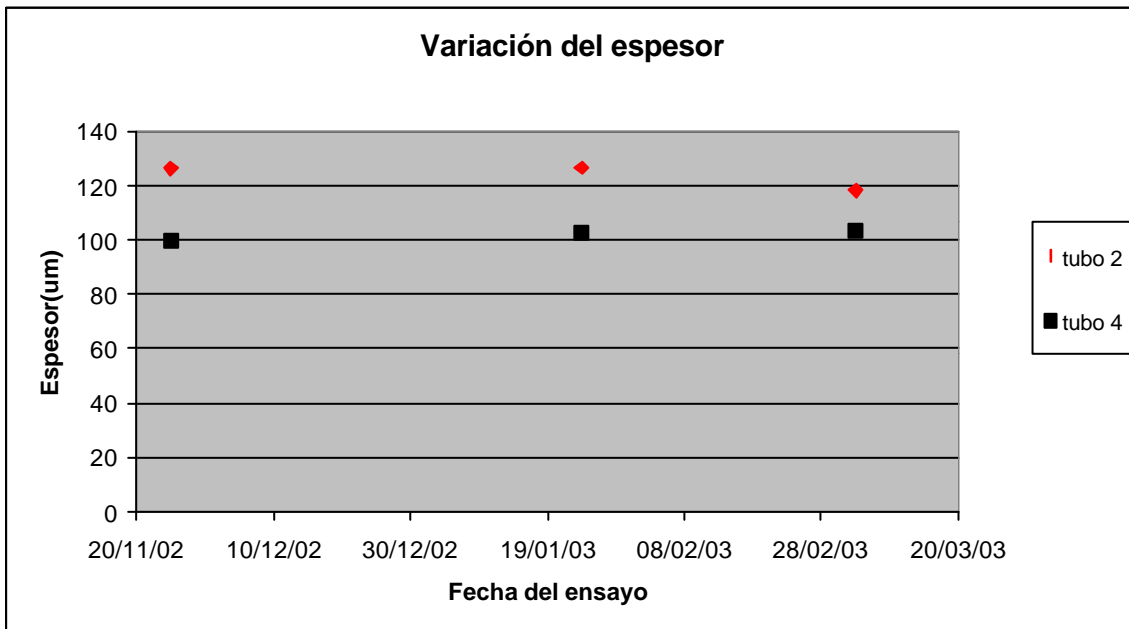


Figura 7. Representación gráfica de los resultados de la tabla 7

8.3.2. Tratamiento con cloro: tubos de diferente origen

Ensayos sobre tubos de diferente origen						
Fecha	By-pass N°	Tubo origen	Espesor interno (μm)		Densidad capa interna (g/m^2)	
			Media	Int. Conf.	Media	Int. Conf.
3/12/02	9	3	116,7	2,48	840,2	18,13
13/12/02	10	2	125,45	0,12	903,3	0,5
14/1/03	11	2	144,65	8,57	1041,55	61,49
23/1/03	12	4	125,65	1,86	904,45	13,54
3/2/03	13	3	124,45	5,59	895,95	40,12
12/2/03	14	3	129,21	6,68	929,8	48,83
21/2/03	15	1	127,7	1,49	919,6	10,68
4/3/03	16	3	102,3	12,42	736,45	89,56

Tabla 8. Resultados de los ensayos de espesor de la capa de Zn de tubo galvanizado, después de someter a la tubería a tratamientos diarios con concentraciones de cloro de 1.5 ppm y temperatura de 55° C.

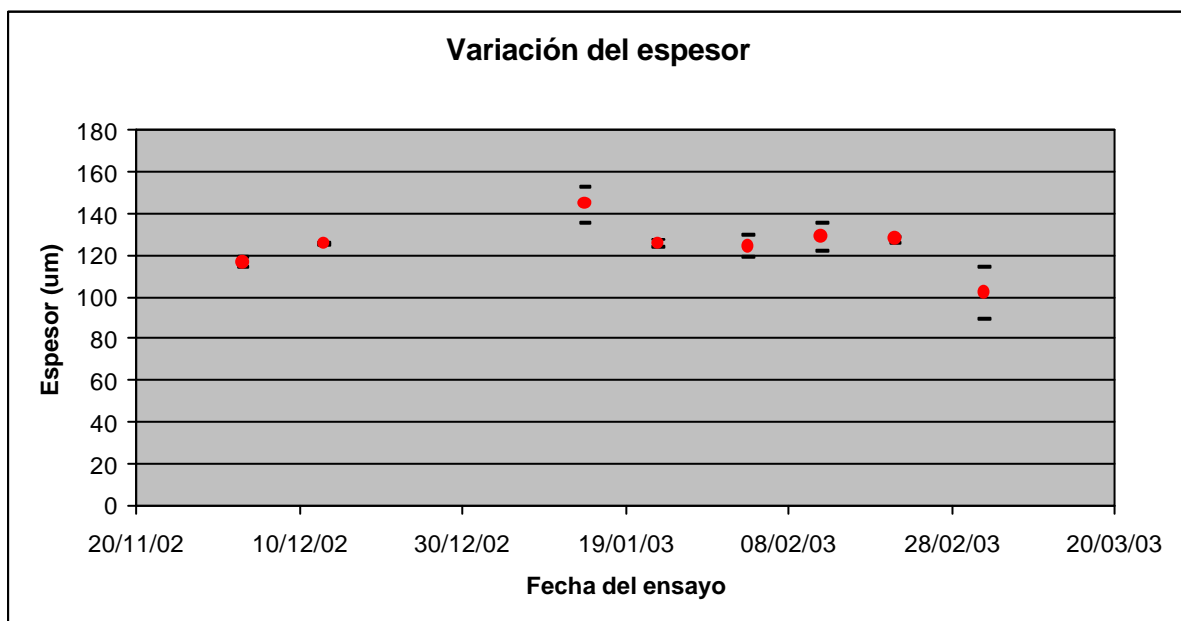


Figura 8. Representación gráfica de los resultados de la tabla 8

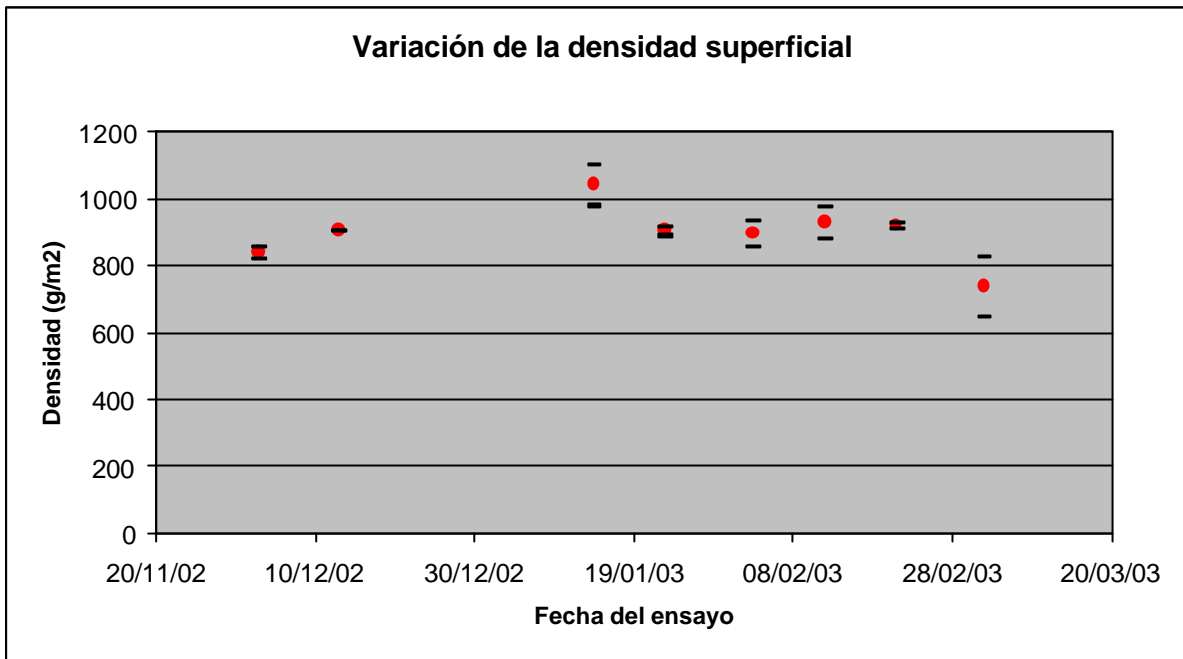


Figura 8 bis. Representación gráfica de los resultados de la tabla 8

Como puede apreciarse los resultados obtenidos de espesor de la capa de cinc de los tubos, durante los meses de duración del tratamiento térmico-químico, se encuentran dentro de los márgenes de confianza del ensayo.

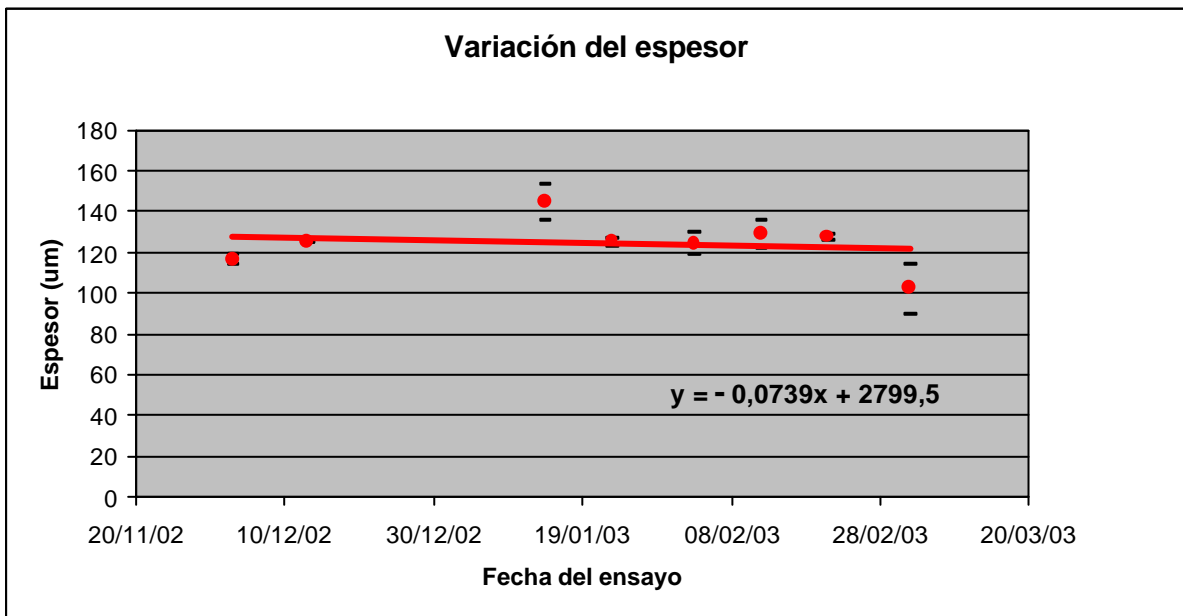


Figura 9. Se recogen los mismos datos que en la Figura 8, remarcándose la línea de tendencia y su ecuación correspondiente

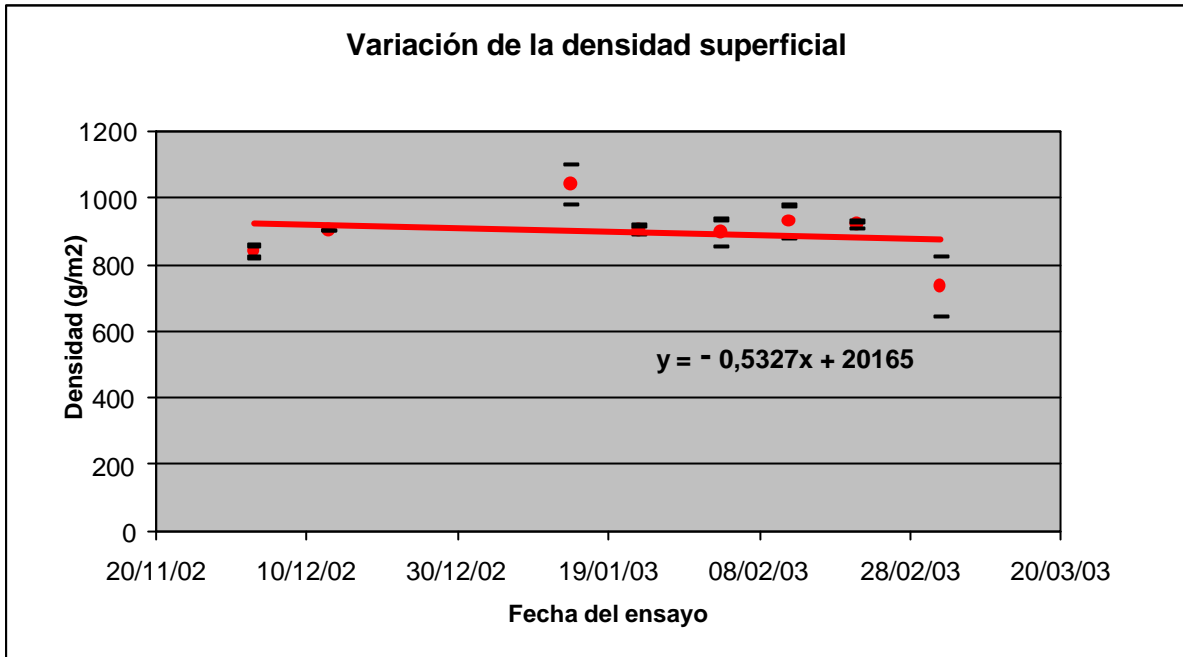


Figura 9. Se recogen los mismos datos que en la Figura 8, remarcándose la línea de tendencia y su ecuación correspondiente

Si una vez más se fuerza la representación gráfica a una línea de tendencia se observa una disminución poco significativa del espesor de la capa de cinc con el tiempo.

Fecha	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)
	24 h a 55° C	24 h a 55° C
25-novi-02	2,3	< 0,06
25-novi-02	1,3	< 0,06
26-novi-02	1,8	< 0,06
27-novi-02	3,6	< 0,06
28-novi-02	3,5	< 0,06
29-novi-02	3,0	< 0,06
2-dici-02	4,4	< 0,06
2-dici-02	5,0	< 0,06
3-dici-02	4,9	< 0,06
4-dici-02	2,5	< 0,06
5-dici-02	1,5	< 0,06
9-dici-02	4,7	0,10
9-dici-02	2,8	< 0,06
10-dici-02	2,9	< 0,06
11-dici-02	2,6	< 0,06
12-dici-02	2,8	< 0,06
13-dici-02	2,2	< 0,06
16-dici-02	5,6	< 0,06
16-dici-02	2,5	< 0,06
17-dici-02	2,8	< 0,06
18-dici-02	2,2	< 0,06
19-dici-02	2,9	< 0,06
20-dici-02	1,6	< 0,06
13-ener-03	0,4	< 0,06
13-ener-03	1,9	< 0,06
14-ener-03	2,5	< 0,06
15-ener-03	2,1	< 0,06
16-ener-03	2,4	< 0,06
20-ener-03	3,6	< 0,06

Fecha	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)
	24 h a 55° C	24 h a 55° C
20-ener-03	2,2	< 0,06
21-ener-03	1,7	< 0,06
22-ener-03	2,0	< 0,06
27-ener-03	6,8	0,23
27-ener-03	3,1	< 0,06
28-ener-03	2,3	< 0,06
29-ener-03	2,3	< 0,06
30-ener-03	2,0	< 0,06
3-febr-03	7,4	< 0,06
3-febr-03	2,4	< 0,06
4-febr-03	2,2	< 0,06
5-febr-03	1,6	< 0,06
6-febr-03	2,1	< 0,06
10-febr-03	5,4	< 0,06
10-febr-03	1,8	< 0,06
11-febr-03	2,1	< 0,06
12-febr-03	2,4	< 0,06
13-febr-03	1,6	< 0,06
17-febr-03	7,6	< 0,06
17-febr-03	2,2	< 0,06
18-febr-03	1,8	< 0,06
19-febr-03	1,4	< 0,06
20-febr-03	2,0	< 0,06
24-febr-03	2,2	< 0,06
24-febr-03	1,8	< 0,06
25-febr-03	2,2	< 0,06
26-febr-03	1,8	< 0,06
27-febr-03	1,5	< 0,06
3-marz-03	5,8	0,09

Tabla 9 Valores de las concentraciones de iones Zn y Fe presentes en el agua del circuito, dosificada con 1.5 ppm de Cl₂, después de mantener el agua en recirculación durante 24 h a una temperatura de 55° C. En azul se representa el dato del agua de todo el fin de semana

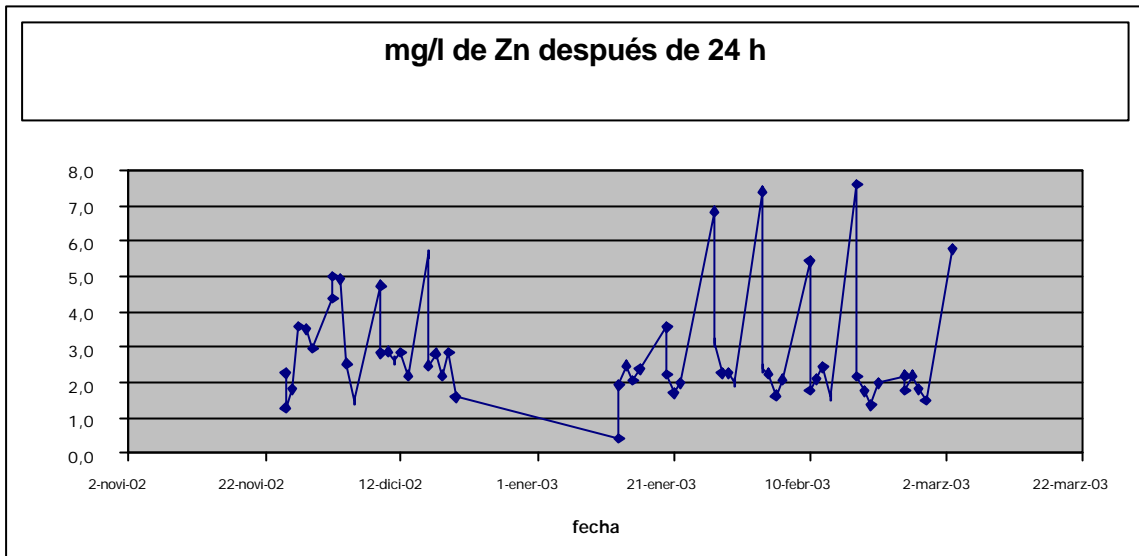


Figura 10. Representación gráfica de los resultados de la Tabla 9 mg/l de Zn después de 24 h

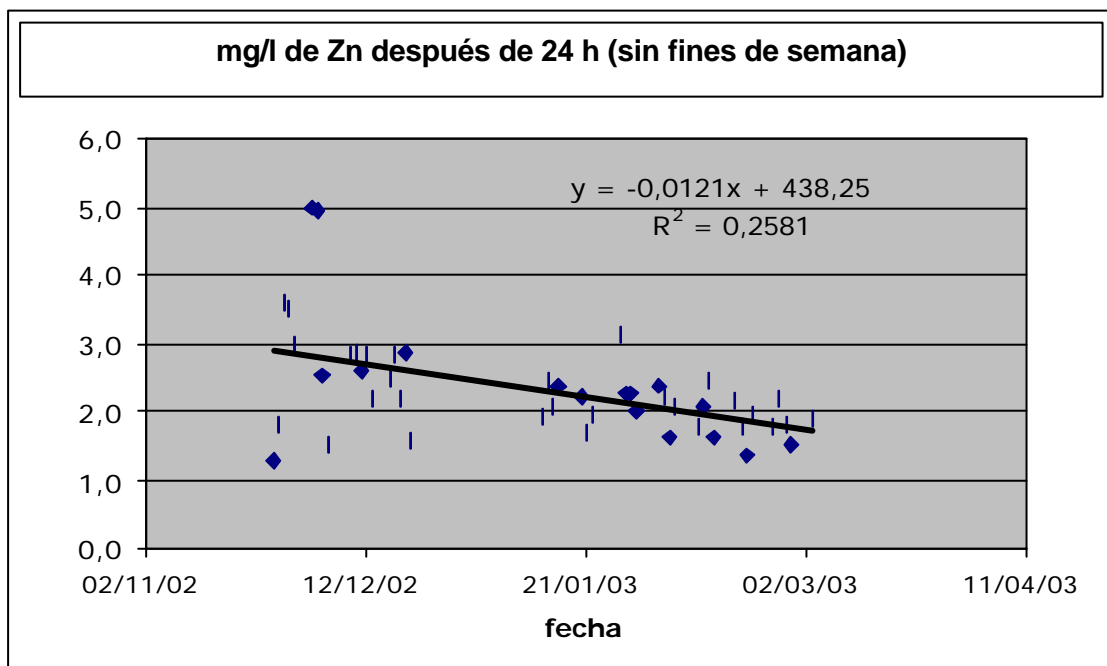


Figura 11. Se han representado los mismos valores que en la figura 10, excluyendo los datos de concentración de Zn en el agua que ha estado en contacto con la tubería durante las 48 h de los fines de semana.

En la Figura 11 se aprecia una cierta tendencia descendente de la concentración de cinc del agua en contacto con la tubería, a lo largo del tiempo. Ello puede ser debido a la propia estabilización de la capa de cinc del galvanizado, dado que no se aprecian disminuciones significativas de esta capa durante el tiempo que ha durado el ensayo.

9. CONCLUSIONES

Tratamiento térmico

1. Después de someter al circuito experimental a temperaturas de 60°C durante 2h, a lo largo de 30 días, los tubos utilizados en su construcción no presentan disminución del espesor de la capa de Zn del galvanizado con significación estadística.
2. Las concentraciones de Zn^{2+} en el agua en contacto con la tubería, tanto en la muestra tomada inmediatamente después, como al cabo de 20 h de estancamiento tras el tratamiento térmico, no presentan incrementos significativos con el tiempo. Las pendientes positivas de ambas líneas de tendencia, son lo suficientemente bajas como para no considerarlas significativas.
3. No se han detectado concentraciones de hierro en el agua en contacto con la tubería, a lo largo de todo el periodo de ensayo térmico.
4. De todo se deduce que los tubos y accesorios galvanizados utilizados en el ensayo soportan el tratamiento térmico a que han sido sometidos, el cual se correspondería con 30 años del tratamiento preventivo de *limpieza y desinfección térmica* al que se refiere el RD 865/2003 (necesario de realizar al menos una vez al año).

Tratamiento térmico-químico

1. Después de someter al circuito experimental a temperaturas de 55°C y dosificaciones de cloro de 1.5 mg/l a lo largo de tres meses, los tubos utilizados en su construcción no presentan disminución del espesor de la capa de Zn del galvanizado con significación estadística.
2. Las concentraciones de Zn^{2+} en el agua en contacto con la tubería, tras 24 h de tratamiento térmico-químico, presentan valores muy similares a lo largo de los tres meses del estudio. La pendiente de la gráfica correspondiente, excluidos los datos posteriores al fin de semana, es ligeramente negativa, lo que indica una estabilización en la pérdida de cinc de la tubería a lo largo del tiempo.
3. Las concentraciones de hierro en el agua en contacto con la tubería son prácticamente nulas, a lo largo del periodo de ensayo. Tan solo han aparecido niveles detectables en tres días, lo que puede ser debido a oxidaciones puntuales no significativas.
4. De todo ello se deduce que los tubos y accesorios galvanizados utilizados en el ensayo soportan el tratamiento térmico-químico a que han sido sometidos. Dicho tratamiento se correspondería con el procedimiento de desinfección continuado a que se refiere el RD 865/2003, para episodios de limpieza y desinfección en caso de brote de legionelosis.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejandre Sanchez, F.J.; Lucas Ruiz, R. Causes and effects of the corrosion of a plumbing galvanized steel. *Materiales de Construccion* (2002), 52(266), 77-83.
- Sakai, Masahiro; Seri, Osami; Yamada, Yutaka; Toda, Iwao; Iitsuka, Masanori. Effect of residual carbon deposits on corrosion behavior of copper tube filled with water. *Zairyo to Kankyo* (2002), 51(1), 12-16.
- Ohba, Marli; Panossian, Zehbour. Corrosion of carbon steel and galvanized carbon steel tubes in contact with natural waters. *Port. Corrosao e Proteccao de Materiais* (2000), 19(1), 13-17.
- Yamada, Yutaka; Atsumi, Tetsuro; Mori, Akihisa; Hatanaka, Takakazu; Nakao, Nobuyuki. Pitting corrosion of copper coiled tubes in air conditioning system having the open heat storage water tank. *Shindo Gijutsu Kenkyu Kaishi* (1998), 37, 287-293.
- Bonora, P. L.; Ghirardelli Corrosion of a welded steel pipe for a potable water supply., L. Editor(s): McIntyre, P.; Mercer, Antony Donald. *Corros. Relat. Aspects Mater. Potable Water Supplies, Proc. Conf.* (1993), Meeting Date 1992, 207-21.
- Subramanian, K. S.; Sastri, V. S.; Connor, J. W. Drinking water quality: impact of non-lead-based plumbing solders. *Toxicological and Environmental Chemistry* (1994), 44(1-2), 11-20.
- Temkar, Prakash M.; Scholze, Richard J., Jr.; Maloney, Stephen W.; Neff, Chester H. Evaluating corrosion control in water distribution systems at U.S. Army bases. *ASTM Special Technical Publication* (1990), 1086(Corros. Nat. Waters), 80-100.
- Haldorsen, O. Hand pump corrosion in deep boreholes - a case study on implementation of groundwater supplies in a developing country. *Aqua (Oxford)* (1989), 38(2), 114-17.
- Al-Malack, Muhammad; Farooq, Shaukat; Ahmad, Zaki. Effects of water quality parameters on corrosion of distribution network. *Arabian Journal for Science and Engineering* (1989), 14(2), 307-16.
- Moerbe, Klaus; Claus, Wolfram; Broese, Frank. Corrosion of hot-dip galvanized pipes in central hot-water supply systems.. *Korrosion (Dresden)* (1986), 17(5), 226-43.
- Kruse, C. L.; Friehe, W.; Schwenk, W. Field tests of galvanized steel tubes in drinking waters. *Werkstoffe und Korrosion* (1986), 37(1), 12-23.

- Nielsen, K.; Yding, F. Influence of pipe quality on corrosion of galvanized steel pipes for domestic water supply. *Werkstoffe und Korrosion* (1983), 34(11), 547-56.
- Schwenk, W.; Friehe, W. Water quality control in domestic galvanized steel pipes during transport. *DVGW-Schriftenreihe, Wasser* (1982), 31(Wasserfachliche Aussprachetab.), 343-54.
- Fujii, Tetsuo. Corrosion resistance of hot-dip galvanized steel pipes and water quality. *Namari to Aen* (1981), 103 17-21.
- Kodama, Toshiaki; Fujii, Tetsuo; Baba, Haruo. Effect of water quality on the zinc products and corrosion rate of galvanized layer in fresh waters. *Boshoku Gijutsu* (1980), 29(11), 551-7
- Sato, Yoshihiro; Yanagimoto, Yotsuko. Detection of zinc in domestic water.. *Yosui to Haisui* (1977), 19(12), 1499-504
- Resch, G.; Zinke, K. Relation between water quality, construction, and corrosion in equipment in contact with water. *Kraftwerke, Vortr.* (1976), 497-516
- Werner, Gerhard. Langenau Corrosion phenomena in hot-galvanized steel pipes. *Ber. Tag.* (1975), Meeting Date 1974, 246-70.
- Ayusawa, Saburo; Tsuchiya, Katsura; Tsutsumi, Masaya. Pretreatment of steel for metal coating by hot-dipping.. *Jpn. Tokkyo Koho* (1976), 3 pp.
- Radke, S. F.; Druelle. Corrosion of galvanized steel pipe in hot and cold water systems., *Australasian Corrosion Engineering* (1975), 19(1-2), 21-5.
- Scimar, R. Corrosion of galvanized steel pipes by potable water. *Tribune du CEBEDEAU* (1972), 25(349), 510-14.
- American Society for Testing Materials, Tentative Standards. (1930), 864 pp.
- American Society for Testing Materials, Tentative Standards (1928), 932 pp.



**ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE TUBO
DE ACERO SOLDADO LONGITUDINALMENTE Y ACCESORIO
DE FUNDICIÓN MALEABLE ROSCADO PARA TUBERIA**

Avda. Gasteiz, 81 1º Izda.
01009 VITORIA
Tels: 945 22 85 00 – 945 22 85 04 * Fax: 945 22 50 25
e-mail: afta@afta-asociacion.com
<http://www.afta-asociacion.com>



ACERALIA TUBOS MADRID. GRUPO ARCELOR



ACERALIA TUBOS MIERES. GRUPO ARCELOR



ACCESORIOS DE TUBERÍA, S.A.



CONDESA FABRIL, S.A.



CHINCHURRETA, S.A.



FUNDICIONES GELMA, S.A.



LAMINACIONES ARREGUI, S.L.