

1 ESTUDIO SOBRE PERDIDAS DE CARGA

La realización de este estudio fue motivada por la convicción de los fabricantes de que los datos existentes desde hace décadas sobre rugosidad y pérdidas de carga de los tubos de acero galvanizados, son en la actualidad ampliamente mejorados como consecuencia de la progresiva implantación a lo largo del tiempo de métodos, tecnología y sistemas de calidad sensiblemente optimizados.

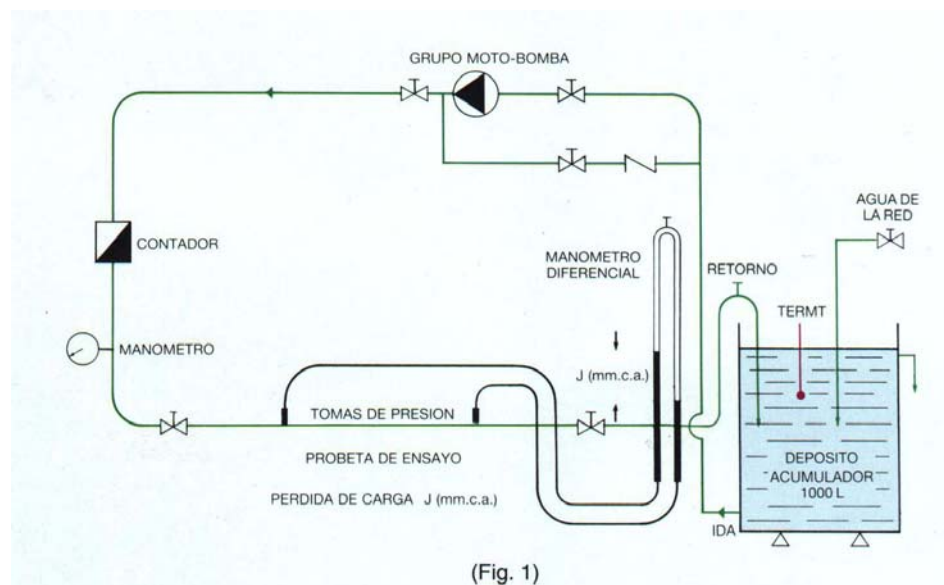
Se trataba, de comprobar y medir la mejora de las características hidráulicas de los tubos de acero galvanizado, y realizar una valoración comparativa con los tubos de cobre.

La primera fase de la investigación se inició con un estudio bibliográfico y el establecimiento de unas consideraciones básicas en base a los criterios que fijaban el entorno donde, en las condiciones normales de aplicación (abastecimiento de agua fría y caliente sanitaria) se iba a desarrollar el trabajo de investigación.

- Diámetros de los tubos: desde DN 10 a DN 80
- Velocidades de circulación: entre 0,5 y 3m/s.
- Flujo de fluido: considerado unidireccional, permanente y uniforme.
- Temperatura del agua: entre 14°C y 18°C.
- Fórmulas básicas: ecuaciones de la continuidad y de la energía.
- Pérdidas energéticas:
 - Régimen laminar y turbulento según velocidad media de circulación de fluido, su viscosidad, diámetro interior del tubo y rugosidades.
 - Pérdida de carga



La segunda fase fue el análisis experimental para una gama de tubos de acero galvanizado desde 3/8 (DN 10) hasta 3 (DN 80) y para otra gama de tubos de cobre de diámetros desde 12 x 14 mm hasta 51,6 x 54 mm. Y la tercera fase, el estudio y tratamiento estadístico de los resultados obtenidos.



(Fig. 1)

Lo primero fue determinar el valor exacto de los diámetros interiores de los tubos efectuando 12 mediciones en 3 secciones deferentes del tubo sobre diámetros equidistantes. A continuación se prepararon unas probetas, un esquema de trabajo y un banco de ensayo con un sistema de circulación en circuito cerrado (Fig. 1)

Se hizo circular agua a través del tubo a ensayar variando el caudal circulante. Los caudales eran medidos en función del diámetro por contadores de agua. Se utilizaron tramos de tubería de longitudes 20 veces el diámetro aguas arriba de la forma de presión y 30 veces dicho diámetro aguas abajo. Se dejaba el sistema durante unos diez minutos en unas mismas condiciones con el fin de regularizar las condiciones de flujo a lo largo del tubo. Para cada variación de caudal se obtenía una pérdida de carga J en mm de columna de agua, leyéndose ésta en un manómetro diferencial graduado en mm. Previamente se nivelaba el conducto a medir para equilibrar la altura geométrica.

A continuación se realizó el consiguiente estudio y tratamiento de los resultados obtenidos, determinando primero los valores del coeficiente de fricción o rozamiento y la rugosidad media para cada tubo. También para cada uno de ellos se obtuvieron parejas de valores que relacionaban caudales y pérdidas de carga que ajustados en curvas exponenciales y tras un tratamiento de datos se aproximaron a curvas tipo.

Trasladados todos estos datos a unos ejes de coordenadas logarítmicas, se obtuvieron líneas rectas, formando dos gráficos generales, una para acero galvanizado y otra para cobre, en los que se puede calcular la pérdida de carga unitaria en función del caudal y del diámetro de tubería. Una fusión de las dos gráficas generales se presenta en el desplegable de este Manual.

Ejemplo de utilización del gráfico:

Cálculo de la pérdida de carga de una tubería de acero galvanizado de diámetro 1 (DN 25) siendo el caudal del agua circulante 2.000 l/h.

En el eje horizontal que indica los caudales tomamos el valor de 2.000 y subiendo verticalmente buscamos la intersección con la línea oblicua que corresponde al diámetro y material señalado. Desde ese punto nos trasladamos hacia la izquierda horizontalmente, obteniendo así en el eje vertical el valor de la pérdida de carga: 48 mm de columna de agua por metro de tubería.

Las conclusiones del análisis general del estudio experimental y del tratamiento de los datos obtenidos se resumen en:

- Disminución de las pérdidas de carga provocadas por la circulación de agua, (del orden del 30% respecto a datos anteriores sobre tubos de acero galvanizado)
- Disminución de la rugosidad media de los tubos de acero galvanizado, en un 73% con relación a la de diseño
- Nuevo valor de la rugosidad para los tubos galvanizados: $\epsilon = 0,0033$ cm.

Estudio realizado por:
INSTITUTO DE LA CONSTRUCCION
Y DEL CEMENTO
EDUARDO TORROJA-MADRID
CENTRO SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES CIENTIFICAS (C.S.I.C.)
Expte. nº 15.735

1.1 EQUIVALENCIA ENTRE DIÁMETROS DE TUBO DE ACERO GALVANIZADO Y TUBO DE COBRE

La equivalencia entre diámetros de distintos materiales debe estar basada en dos conceptos fundamentales: **Pérdida de carga** (la tabla I recoge los valores obtenidos en el estudio) y la **Capacidad de evacuación teórica** (la tabla II recoge los valores obtenidos en el estudio)

Del análisis conjunto de ambas tablas, surge la propuesta de equivalencia de diámetros entre tubos de acero galvanizado y tubos de cobre que comercialmente son empleados en instalaciones de edificación. Propuesta que queda reflejada en la tabla III.

TABLA I . PERDIDAS DE CARGA

Tubo acero galvanizado	Pérdida de carga J (mm c.a/m)	Tubo cobre	Pérdida de carga J (mm c.a/m)
3/8 DN 10	109,78	12 x 14 13 x 15	160,91 124,31
½ DN 15	109,38	16 x 18	87,18
¾ DN 20	69,64	20 x 22	69,29
1 DN 25	52,02	26 x 28	48,49
1 ¼ DN 32	33,60	33 x 35	39,43
1 ½ DN 40	31,55	40 x 42	33,27
2 DN 50	20,86	51,6 x 54	19,12
2 ½ DN 65	16,15	-	-
3 DN 80	13,33	-	-

TABLA II . CAPACIDAD DE EVACUACIÓN TEÓRICA

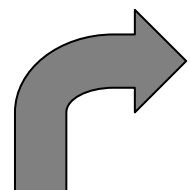
Tubo acero galvanizado	Caudal l/h	Tubo cobre	Caudal l/h
3/8 DN 10	431,95	12 x 14 13 x 15	416,71 490,42
½ DN 15	695,12	16 x 18	732,90
¾ DN 20	1342,48	20 x 22	1149,00
1 DN 25	2055,10	26 x 28	1926,08
1 ¼ DN 32	3573,32	33 x 35	3084,68
1 ½ DN 40	4930,75	40 x 42	4544,27
2 DN 50	7804,99	51,6 x 54	7437,06
2 ½ DN 65	13379,60	-	-
3 DN 80	18605,80	-	-

TABLA III EQUIVALENCIA DIÁMETROS TUBOS DE ACERO GALVANIZADO-COBRE

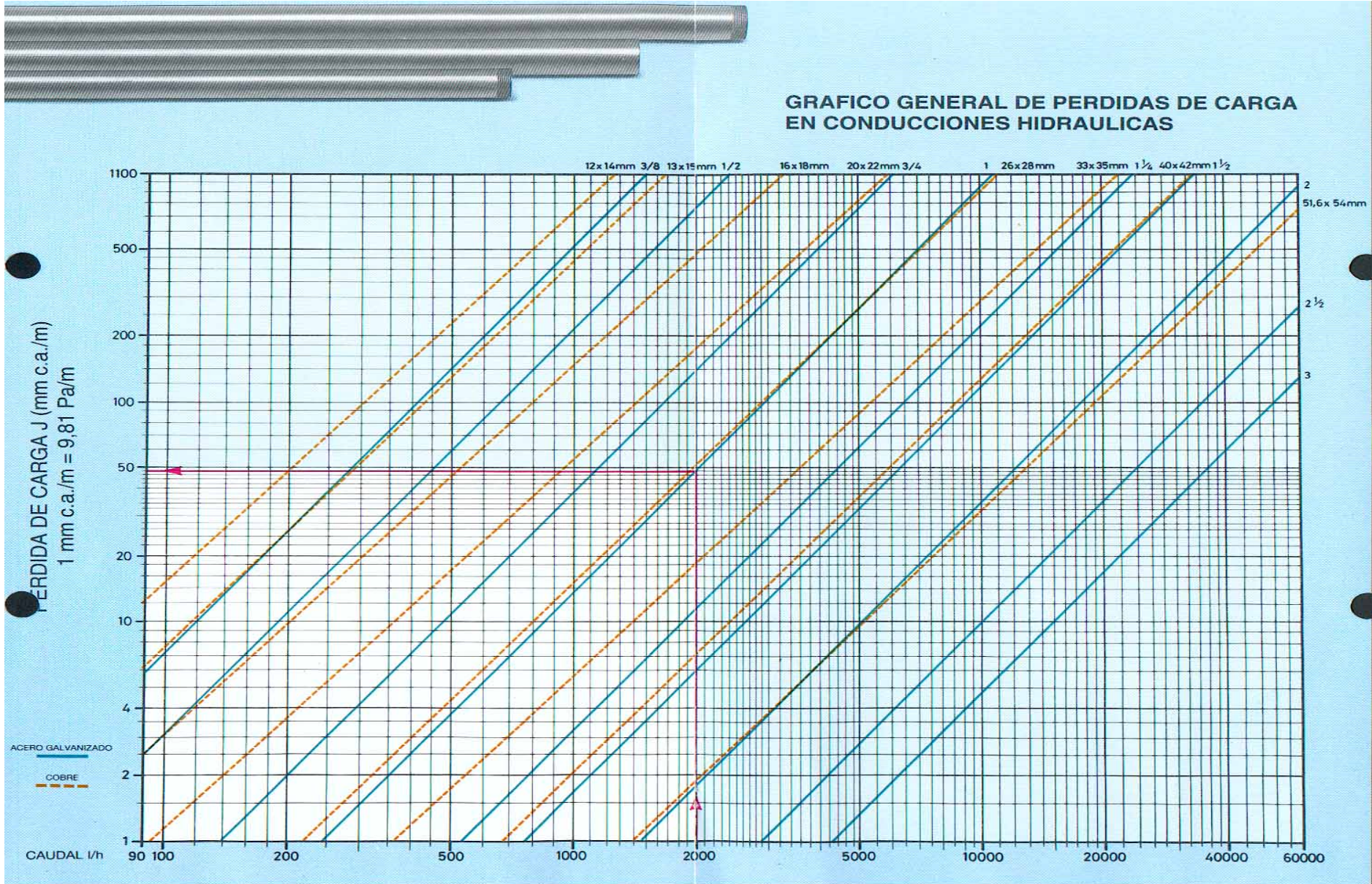
Tubo acero galvanizado	Tubo cobre
3/8 DN 10	13 x 15 *
1/2 DN 15	16 x 18 *
3/4 DN 20	20 x 22
1 DN 25	26 x 28
1 1/4 DN 32	33 x 35
1 1/2 DN 40	40 x 42
2 DN 50	51,6 x 54

* Estas equivalencias en cobre deberían ser 12 x 14 y 15 x 17 mm respectivamente. Dado que estas medidas no se comercializan, se adoptan las de características más cercanas: 13 x 15 y 16 x 18 mm.

**ÁBACO DE PERDIDAS DE CARGA
EN CONDUCCIONES HIDRÁULICAS**



ESTUDIOS DE INVESTIGACIÓN



2 ESTUDIO SOBRE ALTAS PRESIONES

Se trata de un estudio llevado a cabo por el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) para verificar la estanqueidad de tubos y accesorios bajo condiciones de alta presión y baja temperatura.

Como documentación de referencia se utilizó el Reglamento de aparatos de presión del Ministerio de Industria y Energía.

En la figura 1 aparece recogido el esquema del sistema de funcionamiento del banco hidráulico.

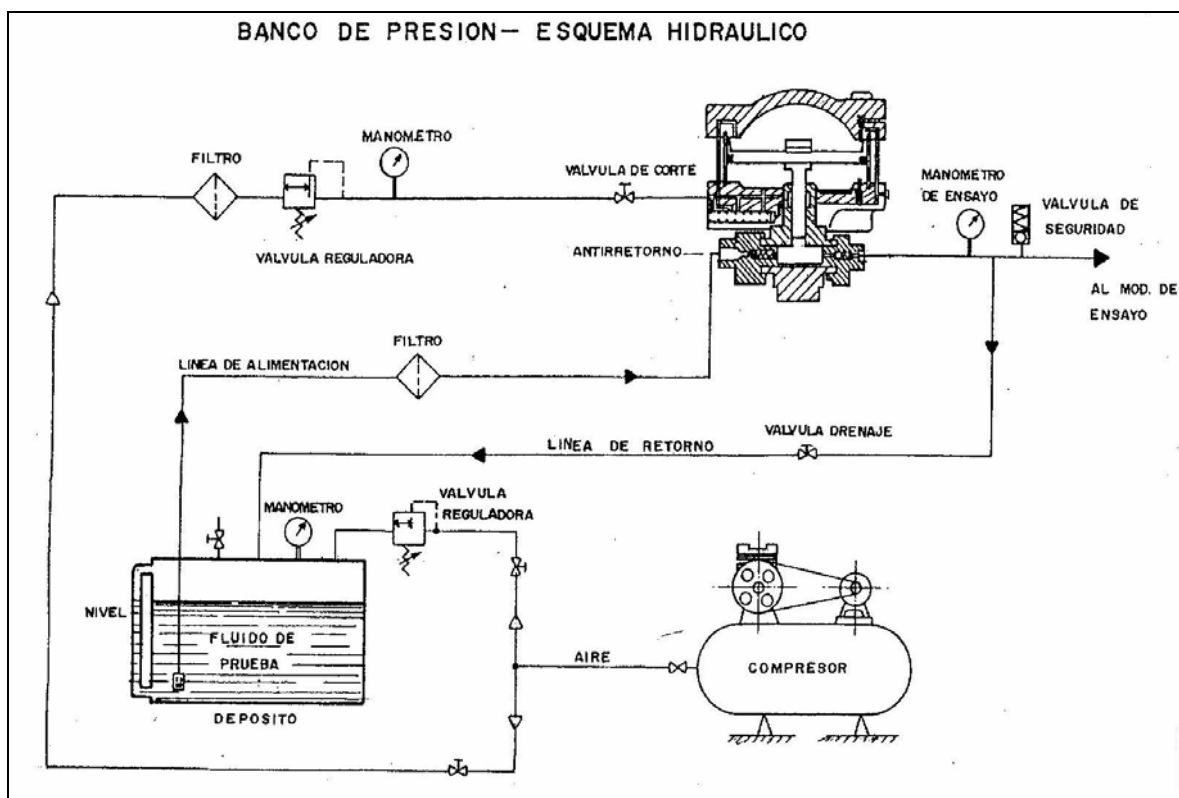


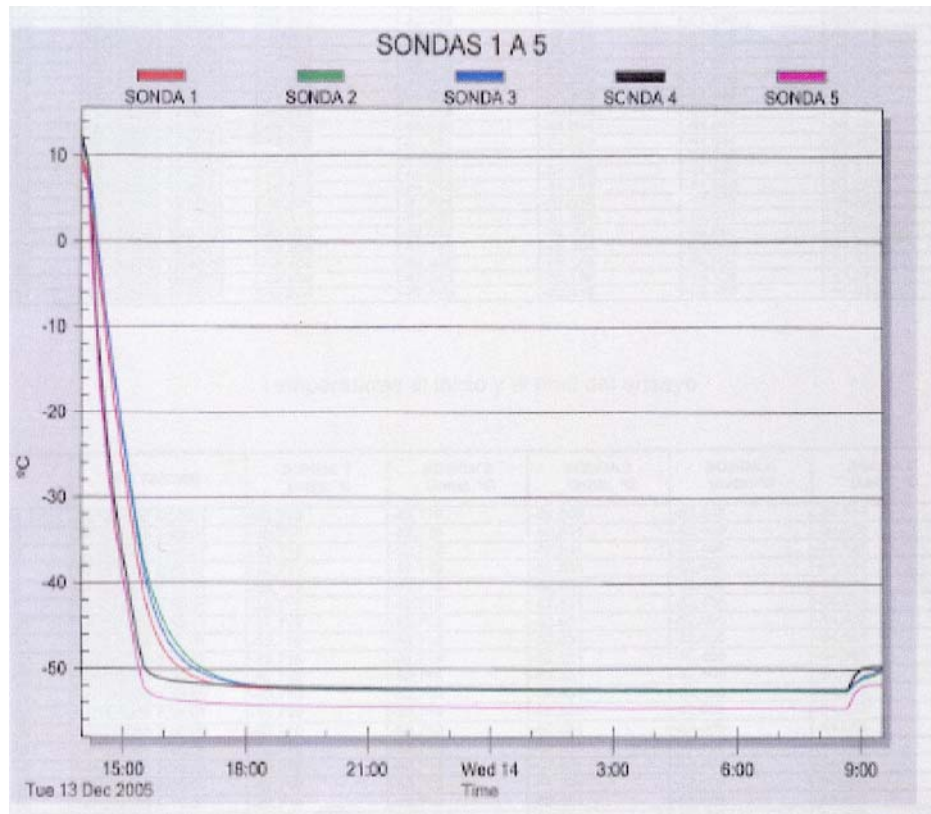
Fig.1

La realización de los ensayos de tubos y accesorios roscados se realizó en dos fases:

1. En la primera fase se realizaron los ensayos a temperatura ambiente (variación entre 15°C y 18°C) y a la presión de 300 bares con 5 minutos de subida, 10 minutos de mantenimiento y 1 minuto de bajada.
2. En la segunda fase se realizaron los ensayos a baja temperatura (-50 °C), vaciando el banco hidráulico de agua y sustituyendo el agua por una mezcla de anticongelante con agua. Cuando la cámara climática alcanzó la temperatura del ensayo se procedió a aplicar la presión de 300 bares con 2 minutos de subida, 6 minutos de mantenimiento y un minuto de bajada .

ESTUDIOS DE INVESTIGACIÓN

Se midió la temperatura de las probetas, durante el ensayo, en tres puntos diferentes, correspondiendo estas medidas a las sondas 1, 2 y 3 de la gráfica adjunta.



Previamente a la realización de los ensayos propiamente dichos, se purgó toda la instalación con el fin de evitar bolsas de aire en el interior de la probeta y se comprobaron posibles fugas por las conexiones de los racores.

Se realizaron ensayos a tubos de acero soldados longitudinalmente conformes a la norma UNE EN 10255 serie media y a accesorios roscados de fundición maleable conformes a la norma UNE EN 10242.

Las roscas en los extremos de los tubos fueron realizadas conforme a la norma UNE EN 10226-1.

Se ensayaron tubos y accesorios de todas las empresas asociadas en AFTA.

Todas las probetas (tubos y accesorios) superaron la prueba de estanqueidad a 300 bares, manteniendo la presión de ensayo constante durante la ejecución del mismo, tanto a temperatura ambiente como a baja temperatura (-50°C), no apreciándose grietas ni deformaciones posteriores a los ensayos realizados.

3 ESTUDIO SOBRE CHOQUE TÉRMICO Y QUÍMICO

Se trata de un estudio que verifica que los tubos de acero soldados y galvanizados y los accesorios de fundición maleable galvanizados están preparados y son adecuados para soportar los procedimientos de limpieza y desinfección a los que obliga la legislación vigente (*Real Decreto 865/2003 de 4 de julio por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la Legionelosis*). Para realizar la verificación se diseñó un proyecto de colaboración con el Departamento de Química Analítica de la Facultad de Farmacia de la UPV/EHU (Universidad del País Vasco), que pretendía alcanzar los siguientes objetivos:

- Realizar un estudio sobre la estabilidad térmica de los recubrimientos de zinc de los tubos de acero galvanizado y de los accesorios de fundición maleable, después de ser sometidos a los tratamientos de prevención y desinfección de Legionelosis.
- Realizar un estudio sobre la estabilidad química de los recubrimientos de zinc de los tubos de acero galvanizado y de los accesorios de fundición maleable, después de ser sometidos a los tratamientos de prevención y desinfección de Legionelosis.

3.1 TRATAMIENTOS PREVISTOS EN EL RD 865/2003

El RD 865 establece los aspectos 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.

A. Limpieza y desinfección preventiva

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. Se podrá realizar mediante procedimientos térmicos o de tratamiento con cloro

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.
2. Limpieza y desinfección con cloro: clorar con 20-30 ppm de cloro residual libre, a T^a 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 dos horas

B. Limpieza y desinfección en caso de brote de Legionelosis.

La desinfección de choque podrá realizarse mediante cloro o tratamiento térmico:

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. Desinfección con cloro: clorar con 15 ppm de cloro residual libre, a T^a no superior a 30°C y pH de 7-8, y mantener 4 horas. Neutralizar y vaciar depósitos. Volver a clorar con 4-5 ppm y mantener 12 horas haciendo llegar a los puntos terminales de la red 1-2 ppm.

Posteriormente la instalación se mantendrá con un tratamiento continuado durante tres meses que consistirá en mantener 1-2 ppm de cloro residual libre de forma constante en los puntos finales de la red (para sistemas de agua fría) y 55-60°C en los puntos finales de la red (para sistemas de agua caliente sanitaria).

3.2 DISEÑO DEL ESTUDIO

Con objeto de disponer de datos experimentales que permitieran realizar suposiciones sobre estimaciones de duración de las tuberías, se diseñó un protocolo de ensayos sobre una instalación prototipo (Fig. 1). En dicho prototipo se pretendía simular las condiciones de agresión térmica y química que sufriría una red de distribución de agua cuando se sometiese a los tratamientos indicados en el Real Decreto.

Los parámetros analíticos que se utilizaron para comprobar la estabilidad de la tubería eran el espesor y la densidad superficial de la capa de zinc empleada en el galvanizado del tubo, así como medidas de las concentraciones de zinc y hierro en el agua en contacto con la tubería.

El prototipo de ensayo constaba de una caldera de gas acoplada a un acumulador de 80 litros. La recirculación de agua se realizaba mediante una bomba. El sistema poseía dos medidores de flujo que permitían controlar el volumen de agua que circulaba por el circuito y el volumen de agua evacuado. Así mismo se colocaron dos termómetros, en dos extremos del circuito con objeto de poder controlar la temperatura en todo momento. El sistema incluía una serie de by-pass que permitían realizar muestreos de tubo, sin afectar al resto del sistema. El tubo para la construcción del sistema era tubo galvanizado UNE EN 10255 serie media de 1' para el circuito y de 3/4' para los by-pass. Los accesorios utilizados cumplían la norma UNE-EN 10242 y las juntas rápidas la norma DIN-3387.

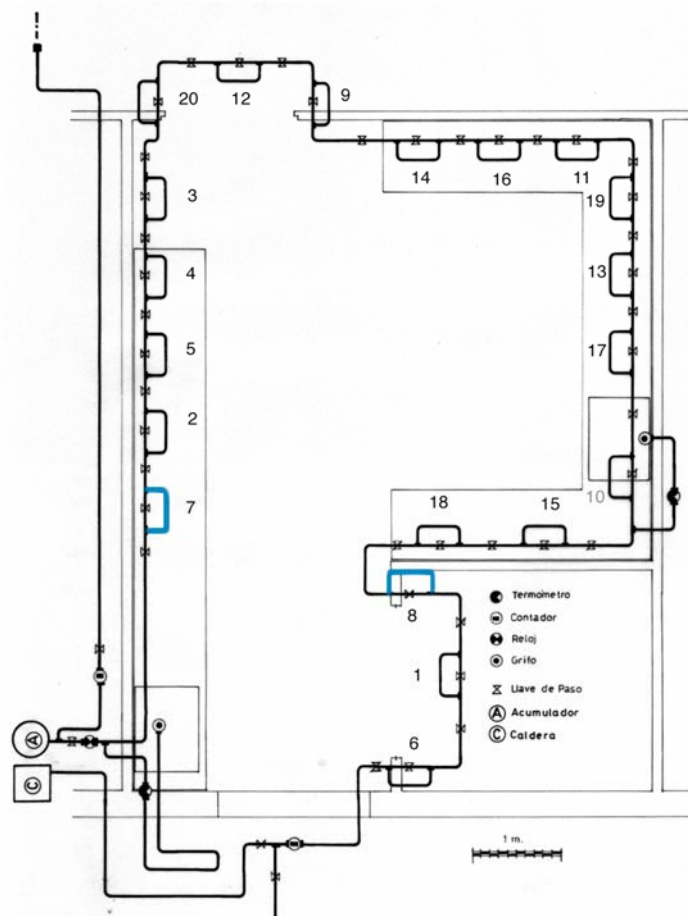


Figura 1

3.3 PROTOCOLOS DEL ENSAYO

Fase I: Tratamiento térmico preventivo

Se elevó la temperatura del depósito hasta 70°C, haciendo circular el agua en circuito cerrado, garantizando 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 evacuaron diariamente 300 l de agua (cantidad que equivale al consumo medio diario de una vivienda)
- Análisis diario de las concentraciones de hierro y zinc en el agua (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)
- Análisis del galvanizado: 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 realizó un tratamiento continuado durante tres meses que consistió en elevar la temperatura del acumulador a 70°C haciendo circular el agua en circuito cerrado, garantizando temperaturas de 55°C en los puntos terminales de la red y manteniendo el proceso durante 24 horas. A su vez se mantenía la instalación con 1-2 ppm de cloro residual, asegurando esta concentración durante las 24 horas del ensayo.

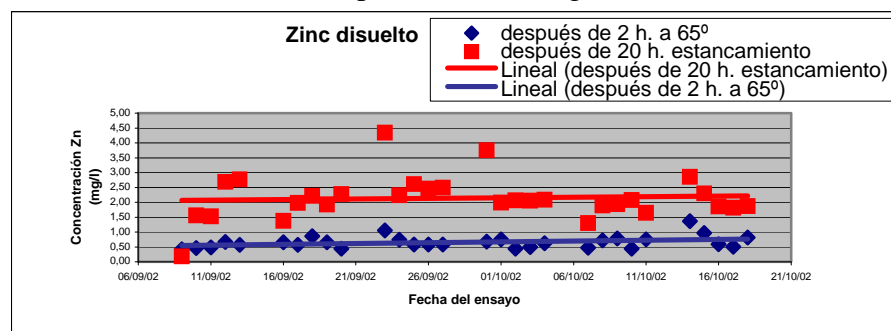
- Se evacuaron todos los días 300 litros de agua
- Dosificación y medida colorimétrica de cloro dos veces al día
- Análisis diario de las concentraciones de hierro, zinc, y cloro residual en el agua. Medida del pH del agua (se tomaron muestras de agua de la tubería después de 24 horas del tratamiento)
- Análisis del galvanizado: cada 10 días de ensayo se eliminó un by-pass y se tomó una muestra de tubo del mismo.
- Se realizó un ensayo específico sobre dos by-pass, de los que se tomó muestra de tubo cada 20 días. La disminución de la longitud del tubo se solventó con juntas rápidas. Ello permitió realizar ensayos de espesor sobre el mismo tubo.

3.4 RESULTADOS OBTENIDOS

A. Resultados del tratamiento térmico (FASE I)

Durante seis semanas se sometió al circuito al tratamiento térmico arriba descrito. A continuación se describen los resultados obtenidos:

1. Concentraciones de iones hierro presentes en el agua en contacto con la tubería: todas las medidas fueron menores a 0.08 mg/l
2. Concentraciones de iones zinc presentes en el agua en contacto con la tubería:



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

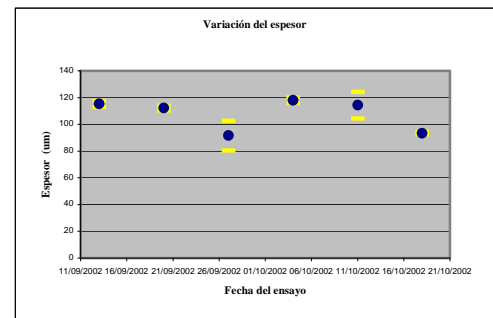
$$y = 0,0039x - 137,1 \quad \text{para las muestras de 20 h a } T^a \text{ ambiente}$$

$$y = 0,0056x - 202,8 \quad \text{para las muestras de 2h a } 65^{\circ}\text{C}$$

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.

- Los resultados obtenidos de espesor de la capa de zinc interna de los tubos, se encuentran dentro de los márgenes de confianza del ensayo.

Fecha	espesor interno (μm)		densidad capa interna (g/m^2)	
	media	Int. Conf.	media	int. Conf.
Blanco	111,32	9,14	801,69	65,90
13/09/02	115,25	2,36	829,55	17,01
20/09/02	112,15	1,86	807,55	13,53
27/09/02	91,55	11,04	659,00	79,19
04/10/02	118,05	2,11	849,80	15,14
11/10/02	114,30	9,93	823,25	71,65
18/10/02	93,45	0,87	672,60	6,45

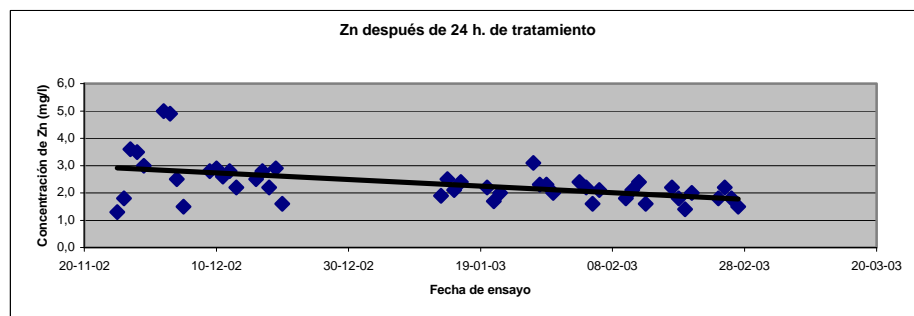


*El blanco representa tubo de un by-pass después de las pruebas iniciales de funcionamiento del circuito.

B. Resultados del tratamiento con cloro (FASE II)

Durante tres meses se sometió al circuito a tratamientos combinados de temperatura y cloración del agua, según el protocolo mencionado anteriormente. A continuación se describen los resultados obtenidos:

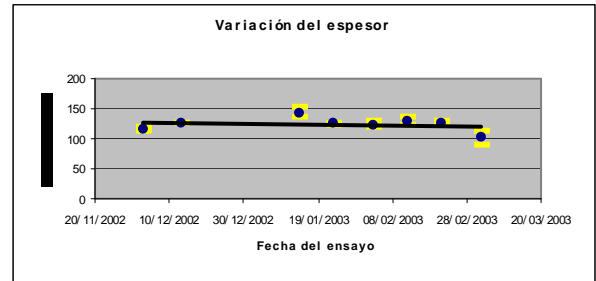
- Concentraciones de iones hierro presentes en el agua en contacto con la tubería: todas las medidas fueron menores a 0.08 mg/l
- Concentraciones de iones zinc presentes en el agua en contacto con la tubería:



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

- Los resultados obtenidos de espesor de la capa de zinc interna de los tubos, se encuentran dentro de los márgenes de confianza del ensayo. 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 zinc con el tiempo.

Fecha	espesor interno (μm)		densidad capa interna (g/m^2)	
	media	Int. Conf.	media	int. Conf.
03/12/02	116,70	2,48	840,20	18,13
13/12/02	125,45	0,12	903,30	0,50
14/01/03	144,65	8,57	1041,55	61,49
23/01/03	125,65	1,86	904,45	13,54
03/02/03	124,45	5,59	895,95	40,12
12/02/03	129,21	6,68	929,80	48,83
21/02/03	127,70	1,49	919,60	10,68
04/03/03	102,30	12,42	736,45	89,56



3.5 CONCLUSIONES

A. Resultados del tratamiento térmico (FASE I)

- Después de someter al circuito experimental a temperaturas mayores a 60°C durante 2h, a lo largo de 30 días, los tubos no presentan disminución del espesor de la capa de Zn del galvanizado con significación estadística.
- Las concentraciones de Zn^{2+} en el agua en contacto con la tubería, no presentan incrementos significativos con el tiempo. Las pendientes positivas de ambas líneas de tendencia, son lo suficientemente bajas como para no considerarlas significativas.
- 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.

De todo se deduce que los tubos y accesorios galvanizados 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).

B. Resultados del tratamiento térmico-químico (FASE II)

- Después de someter al circuito experimental a temperaturas mayores a 55°C y dosificaciones de cloro de 1.5 mg/l a lo largo de tres meses, los tubos no presentan disminución del espesor de la capa de Zn del galvanizado con significación estadística.
- Las concentraciones de Zn^{2+} en el agua en contacto con la tubería, presentan valores muy similares a lo largo de los tres meses del estudio. La pendiente de la gráfica correspondiente, es ligeramente negativa, lo que indica una estabilización en la pérdida de zinc de la tubería a lo largo del tiempo.
- Las concentraciones de hierro en el agua en contacto con la tubería son prácticamente nulas, a lo largo del periodo de ensayo.

De todo ello se deduce que los tubos galvanizados soportan el tratamiento térmico-químico a que han sido sometidos. Dicho tratamiento se correspondería con el procedimiento de desinfección térmica y química a que se refiere el RD 865/2003, para episodios de limpieza y desinfección en caso de brote de Legionelosis