

B-10-2021

Comunicación científico-técnica

## Estudio de envejecimiento real en tuberías de PRFV en servicio, en redes de distribución de agua para riego.

Berganza López B., Chillón Moreno, JM, González Prolongo, S.

- 1 Jefe de Departamento Obras de Riego, TRAGSA; [bberganz@tragsa.es](mailto:bberganz@tragsa.es)
- 2 Jefe del Laboratorio de Instalaciones, Instituto Torroja (CSIC); [jmchillon@ietcc.csic.es](mailto:jmchillon@ietcc.csic.es)
- 3 Catedrática de Universidad. Universidad Rey Juan Carlos; [silvia.gonzalez@urjc.es](mailto:silvia.gonzalez@urjc.es)

### Resumen:

Tras la alta tasa de incidencias ocurridas en los últimos años en el sector del regadío español con tubería de PRFV de un fabricante concreto, se ha realizado un estudio comparativo entre muestras extraídas de este fabricante y de otros 4 fabricantes (que no han presentado fallos). Para ello, se realizó la extracción de muestras representativas con una antigüedad similar (unos 10 años). El objetivo era evaluar la pérdida de prestaciones con el tiempo (envejecimiento del material) -medida a través de sus propiedades mecánicas- así como comparar los resultados obtenidos entre las tuberías que presentan fallo y las que no. También se realizó un estudio exhaustivo de la composición de los tubos y sus materiales. El desarrollo de estos trabajos se ha realizado bajo el amparo del proyecto de I+D+I TUBCAL1618 de TRAGSA. Los resultados indican que la evolución de las propiedades en el tiempo de los tubos que presentan fallo no es la esperada y sus valores absolutos están por debajo de los valores declarados por el propio fabricante (la pérdida de propiedades en el tiempo es muy superior a la declarada). Estos resultados resultan coherentes con la tasa de averías que las obras en las que están instalados están sufriendo. Además, del análisis complementario de la información de calidad disponible se ha podido comprobar la enorme variabilidad de resultados. Esto es indicativo de un pobre control de proceso durante la fabricación. En el estudio detallado de las muestras y su composición se puede comprobar, también, que hay multitud de defectos de fabricación y elección de materiales que contribuyen a los fallos anticipados.

Por el contrario, de los resultados de los ensayos mecánicos de la tubería de PRFV extraída de otros fabricantes –sin fallo- son, en general, muy buenos. La variabilidad de resultados -por fabricante- es escasa (indicando que los procesos de fabricación son mucho más estables y controlados). La pérdida de propiedades de los tubos es mucho menor, de media. Los valores obtenidos de pérdida de propiedades son muy inferiores a las curvas de referencia empleadas, por lo que el envejecimiento real es menor de lo previsto (y apunta a que su vida útil está garantizada). Los valores -en términos absolutos- obtenidos siguen siendo, además y en la mayoría de los casos, superiores a los requisitos de tubo nuevo de la norma para cada una de las referencias analizadas.

Todo esto permite corroborar que la garantía de funcionamiento de las tuberías de PRFV está directamente relacionada con la calidad en su fabricación y el cumplimiento estricto de las especificaciones a corto y largo plazo definidas por la normativa vigente y las declaraciones de los propios fabricantes.

**Palabras clave:** tubería de PRFV, fallo de tuberías en servicio, patología de tuberías PRFV, envejecimiento de materiales, garantía de vida útil.

B-10-2021

*Scientific-technical communication*

## Study of actual creeping in GRP pipes in service, in water distribution networks for irrigation.

Berganza López B., Chillón Moreno, JM, González Prolongo, S.

- 1 Jefe de Departamento Obras de Riego, TRAGSA; [bberganz@tragsa.es](mailto:bberganz@tragsa.es)
- 2 Jefe del Laboratorio de Instalaciones, Instituto Torroja (CSIC); [jmchillon@ietcc.csic.es](mailto:jmchillon@ietcc.csic.es)
- 3 Catedrática de Universidad. Universidad Rey Juan Carlos; [silvia.gonzalez@urjc.es](mailto:silvia.gonzalez@urjc.es)

**Abstract:** After the high rate of failures that occurred in recent years in the Spanish irrigation sector with GRP pipes from a specific manufacturer, a comparative study has been carried out between samples taken from this manufacturer and from 4 other manufacturers (who have not experienced failures). For this, representative samples were extracted with a similar age (about 10 years). The objective was to evaluate the loss of performance over time (aging of the material) -measured through its mechanical properties- as well as to compare the results obtained between the pipes that present failure and those that do not. An exhaustive study of the composition of the pipes and their materials was also carried out. The development of these works has been carried out under the R + D + I project TUBCAL1618 from TRAGSA.

The results indicate that the evolution of the properties over time of the pipes that show failure is not as expected and their actual values are below the values declared by the manufacturer itself (the creeping over time is much higher than expected). These results are consistent with the failure rate that the systems they are installed in are suffering.

Moreover, the further analysis of the quality data available has been able to verify the enormous variability of results. This is indicative of poor process control during manufacturing. The detailed study of the samples and their composition shows there are a multitude of manufacturing defects and a wrong choice of materials that contribute to anticipated failures.

On the other hand, the results of the mechanical tests of the GRP pipes extracted from other manufacturers - without failure - are, in general, very good. The variability of results -by manufacturer- is scarce (indicating that the manufacturing processes are much more stable and controlled). The loss of properties of the pipes is lower, on average. The values obtained for creeping are much lower than the reference curves used, so the actual aging is less than expected (and indicates that its design life is guaranteed). The values -in absolute terms- obtained continue to be, in addition and in most cases, higher than the new pipe requirements of the standard for each of the references analyzed.

All this allows to declare that the performance guarantee of the GRP pipes is directly related to the quality in their manufacture and the strict compliance with the short and long-term specifications defined by the current standards and the declarations of the manufacturers themselves.

**Keywords:** GRP pipe, failure of pipes in service, pathology of GRP pipes, creeping, guarantee of design life

## 1. Introducción

En el período 2006-09 se llevó a cabo en España una inversión pública extraordinaria (unos 2.400 M€ previstos) en materia de modernización de regadíos. El llamado Plan de Choque de Regadíos. Esto requirió unos volúmenes muy elevados de fabricación e instalación de diferentes materiales de riego (entre ellos destacan las tuberías, por su relevancia económica). La empresa pública TRAGSA fue la responsable de ejecutar una parte importante de los trabajos encomendados (más de 1.300 M€).

Este período de inversión extraordinaria llevó a una gran expansión del sector productor de las tuberías empleadas en el mundo del riego (principalmente materiales plásticos). Sólo TRAGSA necesitó unos 250 M€ en tubería (un 80% de materiales plásticos -200 M€-) de los cuales, el 50% (unos 125 M€), correspondió al material que nos ocupa (PRFV). En aquel momento existían 5 fabricantes nacionales (con diferentes sistemas de fabricación) que se repartieron equitativamente la fabricación requerida.

La tubería de PRFV es un composite que aglutina diferentes componentes (resina de poliéster, fibra de vidrio y cargas inertes) para aportar, cada uno, propiedades mecánicas particulares. Cada fabricante es responsable del diseño particular del tubo que fabrica (secuencia de capas, materiales y geometría). Cada diseño, además, es característico de los diferentes sistemas de fabricación que existen y particular para las características concretas de las materias primas que utiliza.

Finalizada la ejecución de las obras encomendadas, y en la puesta en marcha, empezaron a sucederse una serie de fallos (roturas) que se consolidaron e incrementaron a lo largo del tiempo. La distribución de los mismos fue generalizada por todo el territorio nacional, pero afectando de forma única y exclusiva a una de las tipologías de tubería (sistema de fabricación) puesta en el mercado por un fabricante en concreto. Las obras más afectadas fueron 4, con 95 km totales de tubería de PRFV instalada y más de 450 averías acumuladas a lo largo del tiempo.

Consecuencia de las distorsiones en la gestión cotidiana de las redes distribución de riego que las roturas provocaban, así como de sus elevados costes económicos, TRAGSA decidió iniciar una investigación profunda de causas para tratar de determinar la patología subyacente así como acotar la magnitud del problema. Para ello, suscribió sendos convenios de colaboración con el Instituto Torroja (CSIC) y la Universidad Rey Juan Carlos, bajo un proyecto de investigación (TUBCAL1618). Tras los resultados obtenidos se decidió proceder a la sustitución progresiva del material afectado como única alternativa de solución garantizada.

## 2. Materiales y métodos

El objetivo de la investigación desarrollada ha sido determinar con claridad las causas detrás de los numerosos fallos detectados en campo, que apuntaban directamente a un error sistemático en la calidad de la fabricación de la tubería. Así mismo, se ha pretendido realizar un estudio comparativo entre los diferentes fabricantes que existían entonces (5) y los diferentes métodos de fabricación (3).

Una vez descartadas las condiciones de instalación (verificando la idoneidad de los criterios de diseño empleados –hidráulicos y mecánicos–, así como la condiciones de ejecución reales) y explotación (mediante la comprobación de los históricos de funcionamiento –presiones de trabajo–) como potenciales causas de los fallos mostrados por la tubería, se puso el foco de atención sobre aspectos relacionados con la calidad de la fabricación de las mismas.

Se realizaron dos tipos de estudio sobre los diferentes fabricantes y muestras recogidas en campo (con una antigüedad similar -10 años- e instalados en condiciones parecidas). Un estudio de propiedades mecánicas ordinarias (medidas a través de los diferentes parámetros y requisitos normativos existentes –rigidez, deflexión, tracción longitudinal y tracción circunferencial), llevado a cabo en el Laboratorio de Instalaciones del Instituto Torroja (CSIC) y un estudio de microscopía y

caracterización de los materiales, desarrollado en el Departamento de Ingeniería de Materiales de la Universidad Rey Juan Carlos.

En el mercado de tubería de PRFV existen 3 sistemas de fabricación diferentes: centrifugado (centrifugal casting), continuo (filament winding) y cruzado (crossed filament winding). Si bien todos utilizan materias primas similares, cada uno presenta particularidades propias que confieren a la tubería prestaciones mecánicas diferentes. Así pues, el sistema centrífugo (el que utilizaba el fabricante que ha presentado fallos) consiste en introducir en un molde cilíndrico -que gira a gran velocidad-, y de forma secuencial, los diferentes componentes de cada capa para ir construyendo la estructura del tubo, desde la parte exterior hacia la parte interior. Este sistema nació con vocación de uso en tuberías de saneamiento sin presión. Por este motivo, la fibra de vidrio que utiliza es del tipo cortada (a diferencia del resto de sistemas de fabricación que utilizan, también, fibra de vidrio continua). Teniendo en cuenta que la fibra de vidrio es la responsable principal de proporcionar la resistencia global del tubo a presión interna, el sistema centrifugado partía en clara desventaja respecto al resto de sistemas para su competencia en tuberías a presión.

Las muestras seleccionadas se han clasificado por fabricante, siendo esto, a su vez una clasificación implícita entre las muestras que habían presentado fallo (todas de un único fabricante y sistema de fabricación) y las tuberías que presentaban, 10 años después de su instalación, un desempeño ordinario de las prestaciones esperadas (de los otros 4 fabricantes).

A continuación se presenta un resumen de las muestras analizadas:

Fabricante	Nº muestras	Fallo	Sistema de fabricación
A	12	SI	Centrifugado
B	2	NO	Continuo
C	2	NO	Continuo
D	2	NO	Cruzado
E	2	NO	Continuo

De todas y cada una de las muestras se ha obtenido la siguiente información:

1. Trazabilidad y resultados de controles internos ordinarios a tubo nuevo del fabricante (ensayos mecánicos normativos –rigidez, deflexión, tracción longitudinal y tracción circunferencial-).
2. Ensayos mecánicos a las muestras con 10 años de antigüedad –rigidez, deflexión, tracción longitudinal y tracción circunferencial- y comparación con las curvas de fluencia –pérdida de prestaciones- esperables en su vida útil (50 años).
3. Composición (% en peso de cada material –fibra de vidrio, resina de poliéster, arena y  $\text{CaCO}_3$ -).
4. Análisis en microscopía (para la determinación de defectología visible).
5. Caracterización de la resina interior y envejecimiento hidrotérmico.

Los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos ordinarios de los tubos con 10 años de antigüedad se han comparado con los resultados obtenidos en la fabricación (controles ordinarios del fabricante de tubería nueva) para los lotes de las muestras extraídas. La variación de propiedades obtenida en el tiempo se ha comparado con la curva de regresión a largo plazo esperada (a 50 años) para comprobar si los valores reales de pérdida de prestaciones están por encima o por debajo de los valores esperados en cada caso (propiedades a largo plazo de resistencia a presión interna y rigidez).

Por otro lado, se han comparado los valores de composición (% en peso de cada material –fibra de vidrio, resina de poliéster, arena y/o carbonato cálcico-) entre fabricantes (y entre muestras) para evaluar las diferencias obtenidas y la estabilidad del proceso de producción de fabricante, en función de la repetitividad o variabilidad de los resultados obtenidos.

Por último, se ha realizado un estudio en detalle de microscopía para detectar los defectos de fabricación más habituales en cada sistema de fabricación, su frecuencia de ocurrencia y su relación (en cuanto a la gravedad de los mismos) con la tasa de fallo comprobada. El análisis de envejecimiento hidrotérmico aporta, además, información sobre la idoneidad (o no) de las materias primas empleadas (en especial, las resinas) por cada fabricante y su relación, también, con la tasa de fallos encontrada.

Las normativas de producto y ensayo aquí empleadas son las correspondientes al período de fabricación de los productos analizados. La UNE 53323 EX aprobada en Marzo 2001 y la UNE-EN 1796 en Octubre del 2006.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Trazabilidad y resultados de controles internos ordinarios

##### 3.1.1. Fabricante A

Para una misma referencia (en este caso, 400/10/5000) se puede observar la enorme variabilidad de resultados de los tubos nuevos fabricados, en fechas próximas. Se obtienen valores reales en rigidez entre 6.400 y 17.361. Así mismo, hay grandes oscilaciones –entre tubos que deberían ser iguales- en espesor (entre 9,8 y 11,1 mm) y resistencia a presión interna (entre 44 y 60,2 bar). Esto es ya, en si mismo, un indicativo notable de la variabilidad en el producto producido (reflejando un pobre control de producción) y un nivel de prestaciones completamente diferente.

FABRICANTE A . DN 400 PN 10 SN 5000								
	Fechas de fabricación	Ensayo	F máx (N)	Pr (bar)	Rigidez (N/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)	TL (N/mm)	Variación (%)
LOTE 1	20/05/2006 - 16/10/2006	26/09/2006	5722	46,23	8270	10,5	164,4	4,452
LOTE 2	17/10/2006 - 08/11/2006	17/10/2006	6794	52,18	9758	10,4	227,2	7,704
LOTE 3	09/11/06 - 21/05/2007	09/11/2006	7624	53,18	11646	10,5	246,4	10,59
LOTE 4	22/05/2007 - 31/05/2007	22/05/2007	4727	44	6400	9,8	163,9	2,632
LOTE 5	01/06/2007 - 21/06/2007	01/06/2007	10120	60,2	17361	11,7	181,3	3,863
LOTE 6	22/06/2007 - 02/10/2007	22/06/2007	8457	55,6	13485	10,7	180	2,898
LOTE 7	03/10/2007 - 03/12/2007	03/10/2007	7857	56	10718	11,1	177	6,978
LOTE 8	04/12/2007 - 31/12/2007	04/12/2007	-	-	8458	10,6	-	-

##### 3.1.2. Resto de fabricantes

Se observa, por comparación, que los resultados de los controles internos son mucho más estables y repetidos, para referencias iguales, dentro de un mismo fabricante. Esto denota un control de proceso en la fabricación mucho más cuidado y una uniformidad mayor en el producto puesto en mercado.

FABRICANTE	DN	PN	SN	FECHA FABR.	R (N/mm <sup>2</sup> )	TL (N/mm)	TC (N/mm)	e (mm)
C	600	10	10000	11/07/2012	10732	416	2172,8	12,6
C	600	10	10000	11/07/2012	10732	416	2172,8	12,6
D	600	10	5000	may-03	5688	-	-	10,2
D	600	10	5000	may-03	5688	-	-	10,2
B	600	10	5000	07/09/2004	5176	387,4	3360,9	9,35
B	600	10	5000	07/09/2004	5611	394,3	2846,2	9,7
E	600	10	5000	27/11/2005	9085	-	-	-
E	600	10	5000	27/11/2005	9085	-	-	-

### 3.2. Ensayos mecánicos a las muestras con 10 años de antigüedad

#### 3.2.1. Fabricante A

Se presentan los resultados más significativos (aunque son todos similares), de 6 de las 12 muestras analizadas de este fabricante. En las muestras P1, P2 y P3 destaca la caída de rigidez (por encima de los valores esperados en dos de ellas –un 40 y 50% en P1 y P3–, mientras que la muestra P2 apenas cae –un 22%–). Aquí la pérdida de resistencia a la presión es, sin embargo, bastante constante (en torno al 50%).

	P1			P2			P3		
	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)
<b>VALOR NOMINAL</b>	<b>10.000</b>	<b>10</b>	<b>160</b>	<b>5.000</b>	<b>10</b>	<b>190</b>	<b>5.000</b>	<b>10</b>	<b>250</b>
ENSAYOS EN FÁBRICA	9.758,00	52,18	227,20	7.583,00	42,20	188,80	9.441,00	53,70	300,40
ENSAYOS ACTUALES	<b>5.833,00</b>	26,20	104,50	5.865,00	22,20	137,40	<b>4.657,00</b>	26,60	277,50
REQUISITO ACTUAL	6.342,70	24,52	-	4.928,95	19,83	-	6.136,65	25,24	-
PÉRDIDA DE PRESTACIONES (%)	<b>40,22</b>	<b>49,79</b>	<b>54,00</b>	<b>22,66</b>	<b>47,39</b>	<b>27,20</b>	<b>50,67</b>	<b>50,47</b>	<b>7,60</b>

En las muestras M1, M2 y M3 destaca la caída de resistencia a presión interna (entre un 55 y 66%, todas por encima de los valores esperados). Aquí la pérdida de rigidez es, sin embargo, mucho más baja en las muestras anteriores (entre un 15 y 26%).

	M1			M2			M3		
	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)
<b>VALOR NOMINAL</b>	<b>5000</b>	<b>10</b>	<b>220</b>	<b>5000</b>	<b>10</b>	<b>220</b>	<b>5000</b>	<b>10</b>	<b>220</b>
ENSAYOS EN FÁBRICA	7.896,00	5.020,00	225,10	5.945,00	50,60	275,30	5.689,00	48,90	295,30
ENSAYOS ACTUALES	5.772,00	<b>16,80</b>	114,90	5.010,00	<b>22,44</b>	109,30	4.312,00	<b>20,03</b>	168,00
REQUISITO ACTUAL	5.088,18	23,61	-	3.830,96	23,80	-	3.665,99	23,00	-
PÉRDIDA PRESTACIONES(%)	<b>26,90</b>	<b>66,53</b>	<b>48,95</b>	<b>15,73</b>	<b>55,65</b>	<b>60,30</b>	<b>24,20</b>	<b>59,04</b>	<b>42,87</b>

A la vista de estos datos se puede comprobar ya lo anteriormente señalado: una enorme variabilidad en el comportamiento de los tubos a medio plazo, resultado de un escaso control en la fabricación y en un diseño inapropiado. La evolución en el tiempo de propiedades iguales es muy dispar, y en muchos casos, con una pérdida de prestaciones superior a lo previsto.

### 3.2.2. Resto de fabricantes

Por el contrario, los resultados del resto de fabricantes presentan un comportamiento completamente diferente. Los valores son muy estables, dentro de un mismo fabricante y la pérdida de propiedades es mucho inferior (y siempre superior a los valores esperados). Se presentan los resultados más significativos de 2 de los otros 4 fabricantes analizados.

FABRICANTE	B1			B2		
	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)
<b>VALOR NOMINAL</b>	<b>5000</b>	<b>10</b>	<b>220</b>	<b>5000</b>	<b>10</b>	<b>220</b>
ENSAYOS EN FÁBRICA	5.176,00	112,29	387,40	5.611,00	95,14	394,30
ENSAYOS ACTUALES	4.866,00	67,22	295,60	4.982,00	58,03	268,20
REQUISITO ACTUAL	3.201,66	16,50	-	3.194,00	16,50	
<b>PÉRDIDA PRESTACIONES (%)</b>	<b>5,99</b>	<b>40,14</b>	<b>23,70</b>	<b>11,21</b>	<b>39,01</b>	<b>31,00</b>

FABRICANTE	C1			C2		
	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)	RIGIDEZ (N/m <sup>2</sup> )	PRESIÓN (bar)	TL (N/mm)
<b>VALOR NOMINAL</b>	<b>10000</b>	<b>10</b>	<b>220</b>	<b>10000</b>	<b>10</b>	<b>220</b>
ENSAYOS EN FÁBRICA	10.732,00	73,30	416,00	10.732,00	73,30	416,00
ENSAYOS ACTUALES	10.604,00	71,10	408,00	10.696,00	72,00	333,00
REQUISITO ACTUAL	6.550,00	17,12	-	6.550,00	17,12	-
<b>PÉRDIDA DE PRESTACIONES (%)</b>	<b>1,19</b>	<b>3,00</b>	<b>1,80</b>	<b>0,33</b>	<b>1,17</b>	<b>19,80</b>

### 3.3. Ensayos de composición

Se ha analizado la composición de las diferentes muestras (medido en % en peso de cada material –fibra de vidrio, resina de poliéster, arena y/o carbonato cálcico-). Se observa que el fabricante A (con fallos recurrentes en su tubería) es el único que presenta carbonato cálcico en su composición (material más barato que el resto de componentes y que se utilizó como filler en proporciones muy elevadas). La proporción de fibra de vidrio, además, es notablemente más baja que en el resto de fabricantes (entre el 13-15%, siendo el componente que aporta la resistencia a presión interna, cuando el resto incluye entre 23-26%) y del tipo fibra cortada (en vez de fibra continua, del resto de sistemas de fabricación).

#### 3.3.1. Fabricante A

	M1	M2	M3
CONTENIDO EN FIBRAS (%)	12,60	14,00	15,40

CONTENIDO EN CARGAS MINERALES (%)	56,70	54,70	52,50
CONTENIDO RESINA POLIESTER (%)	30,70	31,40	32,00
CONTENIDO EN CARGAS SOLUBLES	32,80	35,00	32,30

### 3.3.2. Resto de fabricantes

	B1	B2	C1	C2
CONTENIDO EN FIBRAS (%)	25,60	25,00	23,00	26,10
CONTENIDO EN CARGAS MINERALES (%)	43,40	44,10	48,20	43,80
CONTENIDO RESINA POLIESTER (%)	30,90	30,90	28,70	30,10
CONTENIDO EN CARGAS SOLUBLES	0,20	0,20	0,40	0,30

### 3.4. Análisis en microscopía (para la determinación de defectología visible).

Se ha realizado un estudio macroscópico y microscópico de las muestras con varios objetivos:

- Medir el espesor y estudiar la distribución en capas de la pared del tubo, con objeto de ver si cumplen normativa y de analizar la calidad del procesado. De hecho, los resultados se comparan con las evidencias suministradas por el propio fabricante en sus catálogos.
- Evaluar la presencia de defectos morfológicos y estructurales, como agrietamiento, porosidad, presencia de aglomerados o ausencia de capa estructural.
- Determinar la presencia de restos de corrosión biológica

#### 3.4.1. Resto de fabricantes

Si bien se observan -al utilizar las mismas técnicas de análisis- algunos defectos puntuales (como presencia de pequeñas grietas por envejecimiento del material o burbujas atrapadas de aire), también se observa una mayor homogeneidad en las capas y menores contaminaciones cruzadas. Por comparación, la intensidad y frecuencia de defectos es mucho menor que en el caso del fabricante A, y las cuestiones observadas entran dentro de los parámetros esperables del normal envejecimiento del material.

#### 3.4.2. Fabricante A

A continuación se presenta un resumen de lo observado. Como se puede comprobar los defectos son repetidos, diversos y de elevada importancia y repercusión en el desempeño esperado.

Defectología	Origen
Heterogeneidad de las capas (entre tuberías y dentro de la misma tubería)	Falta de control en el procesado Incorrecta dosificación
Falta de capa estructural	Falta de control en el procesado Incorrecta dosificación
Aglomerados de áridos	Falta de control en el procesado Incorrecta dosificación, falta de secado, exceso de áridos
Contaminación cruzada	Falta de control en el procesado
Presencia de fibras y áridos en el liner	Incorrecta dosificación
Presencia de grietas en el interior	Falta de control en el procesado
Agrietamiento generalizado del liner	Falta de control en el procesado Incorrecta dosificación Incorrecta selección de la resina

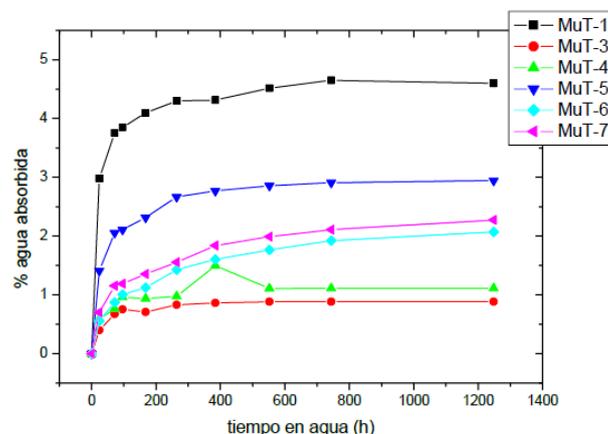
Corrosión bacteriológica del liner interior	Incorrecta selección de la resina
Elevada variabilidad de la resina del liner	Incorrecta selección de la resina
Elevada variabilidad de la resina del liner con la temperatura	Incorrecta selección de la resina
Falta de impermeabilidad. Elevada capacidad de absorción de agua del liner. Embolsamientos en el liner	Incorrecta selección de la resina
Plastificación de la resina por absorción de agua	Incorrecta selección de la resina

### 3.5. Caracterización de la resina interior y envejecimiento hidrotérmico

Se ha buscado la caracterización de la resina interior como elemento estructural más débil y por su importante funcionalidad como barrera a la entrada del agua al material. Para ello, se han realizado varios ensayos para evaluar su comportamiento térmico y mecánico, debido a que la resina termoestable es la más susceptible y débil mecánicamente de todos los materiales que componen la tubería. Posteriormente, se ha procedido al envejecimiento hidrotérmico para conocer cómo el material envejece con el tiempo al estar en contacto con el agua, imitando su uso.

#### 3.5.1. Fabricante A

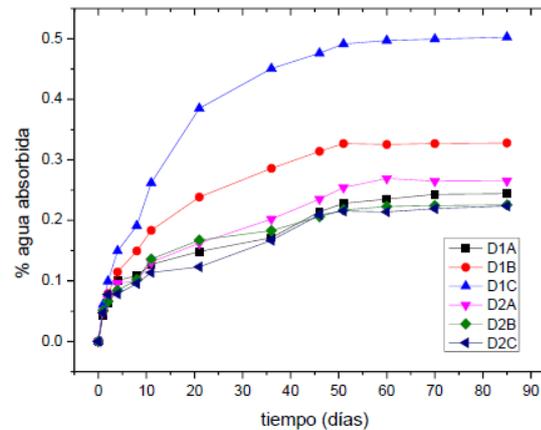
Lo primero que se aprecia es una gran variabilidad en el comportamiento de la resina interior en función de la tubería analizada, ya que puede absorber desde menos de 1% hasta casi un 8% en peso. Esta variabilidad se justifica por el agrietamiento del liner y la presencia de fibras y áridos. Por otro lado, este contenido de agua es muy elevado, para ser un material cuya principal función es ser impermeable. Además, la entrada de agua en la resina provoca su plastificación, esto es variación de sus propiedades mecánicas. Se observa cómo el módulo de almacenamiento, que mide la rigidez de la capa, varía por la absorción de agua. La resina presenta una alta variabilidad de propiedades con la temperatura, lo que las convierte en impredecibles. Esto es debido a que todos los polímeros amorfos, como resinas termoestables y elastómeros, tienen una temperatura característica, llamada temperatura de transición vítrea o  $T_g$ , a partir de la cual cambian radicalmente sus propiedades y comportamiento.



#### 3.5.2. Resto de fabricantes

Las tuberías de PRFV analizadas presentan un contenido de absorción de agua a saturación comprendido entre 0,26 y 0,33 %, muy inferior al límite máximo fijado en la Guía Cedex de 1,25%. Además,

no se aprecian diferencias significativas entre fabricantes en cuanto a la impermeabilidad de sus superficies interior y exterior.



#### 4. Conclusiones

- La tubería de PRFV fabricada por el método de centrifugación nació con una vocación clara de uso en tuberías sin presión (por el uso de fibra de vidrio cortada y la inexistencia de fibra de vidrio continua -para aportar resistencia a presión interna-), a diferencia del resto de sistemas de fabricación, con mejores prestaciones mecánicas para el uso en redes a presión.
- Los resultados de los controles internos del fabricante A muestran una elevada variabilidad de resultados entre tubos iguales (DN/PN/SN). Es un indicador claro de la falta de control de proceso y de la enorme heterogeneidad en el producto que salía a mercado. Las prestaciones mecánicas, por tanto, eran completamente dispares. Por comparación, el resto de fabricantes presentan valores mucho más estables y homogéneos, indicativo de procesos bien controlados.
- La composición de la tubería del fabricante A presenta valores notablemente más bajos que otros fabricantes –a igualdad de referencias- en % de fibra de vidrio (que aporta resistencia a la presión interna) y presenta, además, un elevado contenido en carbonato cálcico (material soluble utilizado como filler que, en ocasiones, alcanza el 40% en peso en la composición del tubo). El carbonato cálcico era un producto más barato que aquellos otros componentes a los que reemplazaba en la fórmula de composición.
- Las muestras ensayadas del fabricante A para las diferentes propiedades mecánicas ordinarias, arrojan valores residuales de resistencia a presión interna y rigidez muy por debajo de los valores esperados (y declarados por el propio fabricante) para el tiempo de vida de los tubos. El resto de fabricantes, por el contrario, presenta poca pérdida de prestaciones en el tiempo y siempre por encima de los valores esperados.
- El fabricante A presenta una alta tasa de defectos diversos (heterogeneidad en las capas, aglomerado de áridos, contaminación cruzada, presencia de grietas, corrosión biológica...) que comprometen la vida útil de la tubería. Por el contrario, el aspecto de las muestras del resto de fabricantes es mucho más homogéneo y con menor tasa de defectos (cuya relevancia es, además, limitada). El fabricante A presenta una tipología de resina en el liner inadecuada para el uso pretendido (cambia sus propiedades con la temperatura y la absorción de agua).
- Los fabricantes con procesos de fabricación bien controlados ofrecen al mercado productos con las máximas garantías y cuyo desempeño es incluso mejor que el esperado (un envejecimiento menor de lo previsto). La tubería de PRFV es un producto de alto interés para el riego.