

## **Cálculo estructural de tuberías flexibles. Guía de diseño de tuberías de PRFV.**

*Structural calculation of flexural pipes. The GRP pipes design guide.*

### **Francisco Ramón ANDRÉS MARTÍN**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
CEDEX - Centro de Estudios Hidrográficos  
Director de Programa  
[francisco.r.andres@cedex.es](mailto:francisco.r.andres@cedex.es)

### **Ismael CARPINTERO GARCÍA**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
CEDEX - Laboratorio Central  
Coordinador de Programa  
[ismael.carpintero@cedex.es](mailto:ismael.carpintero@cedex.es)

### **RESUMEN**

El CEDEX ha coordinado la redacción y publicación de la “Guía técnica para el diseño, fabricación e instalación de tuberías a presión de poliéster reforzado con fibra de vidrio”, con la que se pretende satisfacer la necesidad de completar los requerimientos técnicos de la norma UNE-EN 1796, actual referencia normativa en España de estas tuberías, para aumentar la seguridad en el uso de estas conducciones. En particular, en cuanto al diseño mecánico, esta guía expone la metodología y planteamientos de los dos procedimientos de cálculo propuestos por la misma: la opción 1 de la UNE-CEN/TR 1295-3 y el del Manual AWWA M45.

### **ABSTRACT**

CEDEX has coordinated the redaction and publication of the “Technical guide for the design, manufacturing and installation of glass-fiber reinforced plastic pressure pipes”, which is expected to satisfy the necessity of completing the technical requirements in the standard UNE-EN 1796, the current Spanish reference regulation for these pipes, in order to improve the security while using GRP pipes. In particular, with regard to its mechanical design, this technical guide presents the methodology and approaches of the two analysis procedures proposed: UNE-CEN/TR 1295-3 Option 1 and Manual AWWA M45.

**PALABRAS CLAVE:** tuberías, PRFV, guía.

**KEYWORDS:** pipes, GRP, guide.

### **1. Introducción**

Hoy en día, los sistemas de tuberías y accesorios de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) son ampliamente conocidos y utilizados en conducciones de agua a presión, ya sea para uso en regadíos, abastecimientos, conducciones de agua potable, etc., siendo principalmente competitivas en el rango de diámetros entre 500 y 1 400 mm y en el rango de presiones nominales entre 6 y 16 bares.

La normativa de referencia de estas tuberías es la norma UNE-EN 1796 [1], la cual establece el cuerpo básico de especificaciones para esta tipología de conducciones. Sin embargo, es un hecho comprobado que el contenido de esta norma no es lo suficientemente completo (en aspectos relativos a la fabricación de la tubería, a su instalación o a su diseño) como para garantizar por sí mismo una total seguridad en el uso de estas tuberías.

Con estos antecedentes el CEDEX ha publicado en el año 2016 la “Guía técnica para el diseño, fabricación e instalación de tuberías a presión de poliéster reforzado con fibra de vidrio” [2],

resultado de diversos Convenios de Colaboración suscritos en 2013 entre el mismo, TRAGSA, SEIASA y AseTUB, si bien en su desarrollo han participado otras instituciones públicas y privadas relacionadas con este sector en un ejercicio colaborativo que ha resultado muy fructífero.

Esta Guía pretende satisfacer esa necesidad de completar los requerimientos técnicos de la norma UNE-EN 1796 con el objetivo de aumentar la seguridad en el uso de las conducciones de PRFV, centrándose, aunque no en exclusiva, en el campo de las tuberías de riego.

Este documento supone un avance muy significativo en aspectos como los ensayos a realizar para el aseguramiento de la calidad, los métodos de dimensionamiento mecánico, la caracterización de los elementos constitutivos de estas conducciones o los criterios de instalación, entre otros muchos. Es un documento técnico que puede servir de referencia a cualquier promotor, tanto público como privado, y que lo puede emplear en sus Pliegos de prescripciones técnicas o Pliegos de condiciones.

## **2. Principales aspectos de la Guía**

El contenido de la Guía se estructura en 8 capítulos y 3 anejos, dando una amplia cobertura a los diferentes conceptos y fases de la vida de estas infraestructuras. Se tratan aspectos como los diferentes componentes del sistema y sus propiedades, la fabricación de los mismos, el diseño de la conducción, su instalación y su mantenimiento. Asimismo, se presta especial atención a la gestión de la calidad en el conjunto de esas etapas

En todos estos puntos se han introducido novedades respecto a la normativa vigente. En concreto, y entre otros muchos, se han actualizado los estándares de calidad exigibles en la fabricación, se han analizado en profundidad las diversas metodologías de cálculo mecánico existentes (comparándolas entre sí), se han unificado criterios (como los de tipo dimensional) con el fin de simplificar la variabilidad vinculada a los diferentes procesos de fabricación, y se han propuesto unas recomendaciones para uniformizar la instalación de las tuberías.

### **2.1. Normativa aplicable**

En España, las tuberías y accesorios de PRFV deben cumplir, con carácter general, con lo especificado en la UNE-EN 1796 [1]. También es recomendable el cumplimiento de lo establecido en la ISO 10639 [3] (de ámbito internacional) y en la AWWA C 950 [4] (procedente de los Estados Unidos). Adicionalmente, es interesante la posible aplicación de otra documentación como el AWWA Manual M45 [5] y las EN 1295-1 [6], CEN/TR 1295-2 [7] y CEN/TR 1295-3 [8]. Y, a partir del año 2016, se recomienda también el empleo de la Guía de la que aquí estamos tratando: CEDEX R-23. “Guía técnica para el diseño, fabricación e instalación de tuberías a presión de poliéster reforzado con fibra de vidrio” [2].

### **2.2. Sistemas de tuberías de PRFV**

Existen multitud de componentes de tubería fabricados en PRFV: tubos, codos, derivaciones, reducciones, conexiones embridadas, etc. Se puede realizar toda la tubería con componentes de este material, aunque también es posible utilizarlos conjuntamente con componentes de otros materiales como, por ejemplo, fundición dúctil, PVC, acero, etc.

El enlace entre los diferentes componentes se puede realizar con distintos tipos de uniones o juntas (flexibles y rígidas): mediante manguito, mediante campana y espiga, con bridas, encoladas y laminadas.

### 2.3. Clasificación de los tubos

Los tubos de PRFV se clasifican por su diámetro nominal (DN), su presión nominal (PN) y su rigidez nominal (SN).

El **diámetro nominal (DN)** indica aproximadamente el diámetro interior (ID) en milímetros.

Estos tubos presentan la singularidad de poder ser fabricados bajo dos series de diámetros nominales (serie A y serie B) en función de si durante la fabricación se toma el diámetro interior o el exterior como fijo, variando el otro en función del espesor de la pared del tubo. A su vez, la serie B se divide en realidad en cuatro subseries (B1, B2, B3 y B4), cada una de las cuales tiene unas dimensiones compatibles con accesorios de otros materiales (PRFV, fundición, PVC y acero). Por lo tanto, bajo un mismo DN se pueden fabricar tubos con diámetros ligeramente diferentes, y esto puede dar lugar a problemas para encontrar rápidamente un tubo compatible en la reparación de una avería.

En la Guía se limita el empleo de DN a las series A, B1 y B2, e inicia un periodo de transición al final del cual se eliminará la superposición entre estas dos últimas.

La **presión nominal (PN)** indica la resistencia a la presión interna expresada en bares. Coincide con la PFA (presión de funcionamiento admisible o presión hidrostática máxima que un componente es capaz de soportar de forma permanente en servicio) en utilización continuada durante 50 años (largo plazo) a la temperatura de servicio de 35 °C.

La **rigidez nominal (SN)** indica el valor mínimo requerido de la rigidez circunferencial específica inicial ( $S_0$ ), expresada en  $N/m^2$ .

Este valor indica la resistencia a la deformación transversal de la pared del tubo o de éste a ser “aplastado”, principalmente como consecuencia de la actuación de cargas exteriores.

Puesto que estas tuberías son plásticas y pueden sufrir una deformación diferida en el tiempo bajo la acción de cargas prolongadas, es importante diferenciar entre las deformaciones iniciales (o a corto plazo) y las de a largo plazo.

### 2.4. Fabricación

Los componentes de las conducciones de PRFV se fabrican con diferentes materiales aplicados de tal forma que se obtenga la estructura deseada para la pared. Esto se puede ejecutar mediante distintos sistemas de fabricación.

#### 2.4.1. Materiales

Los materiales constitutivos de las tuberías de PRFV son la resina de poliéster, la fibra de vidrio y las cargas inertes. Las dos primeras son las materias primas principales, mientras que la última no es imprescindible y se suele emplear en cantidades más pequeñas.

La **resina de poliéster** tiene por misión configurar la estructura final del tubo y contribuir a su resistencia química. Es un material que, a temperatura ambiente, antes de su polimerización se presenta en forma líquida y que tras dicha reacción (mediante catálisis y aportación de calor) se convierte en un sólido con estructura tridimensional estable. Hay muy diversos tipos de esta resina, cada uno de ellos con unas características diferentes.

La **fibra de vidrio** es el material responsable de conferir la resistencia a los esfuerzos a los que los tubos son sometidos. Puede emplearse en distintos formatos, dependiendo del sistema de

fabricación y de la zona de la pared del tubo en que se emplee: hilo continuo (roving), hilo cortado (chop), mantas de hilo tejido o cosido, mantas de hilo cortado (mat) y velos de superficie.

Además de las resinas de poliéster y las fibras de vidrio, pueden utilizarse otros materiales en forma de **cargas inertes**, los cuales influirán en las características y propiedades mecánicas de la tubería a fabricar. Estas cargas inertes son de naturaleza mineral, siendo la más utilizada la arena de sílice. Se suelen emplear, por ejemplo, para aumentar la rigidez circunferencial de una manera económica, para reducir la exotermia durante la polimerización de la resina, reducir la dilatación térmica o reducir la permeabilidad. Sin embargo, hay que tener cuidado con su empleo ya que también pueden presentar inconvenientes como la disminución de la resistencia a tracción del laminado.

#### 2.4.2. *Estructura de la pared del tubo*

Independientemente del sistema de fabricación, la pared del tubo está compuesta por estas tres capas: capa interior (o liner), capa estructural (o capa mecánica) y capa externa (o capa superficial). La interior (o liner) es la responsable de garantizar la resistencia ante posibles agentes químicos y a la abrasión, así como de asegurar la estanqueidad del tubo y de conferirle una baja rugosidad hidráulica. La estructural (o mecánica) es la encargada de garantizar las propiedades mecánicas del tubo. La externa (o superficial) es la que proporciona la resistencia a los agentes externos, bien ambientales o del terreno, y da un color determinado a la tubería.

#### 2.4.3. *Sistemas de fabricación*

Las tuberías de PRFV se fabrican según cuatro sistemas diferentes.

El sistema de **enrollamiento helicoidal** se basa en el arrollamiento de hilos de fibra de vidrio continuos sobre un mandril fijo (que hace de molde interior del tubo) que gira. Un carro de translación incorpora la fibra de vidrio de hilo continuo, la resina y opcionalmente las cargas inertes mediante un movimiento de ida y vuelta.

El sistema de **enrollamiento continuo** es similar al anterior, pero el carro está fijo y lo que avanza es el molde. El avance se produce siempre en el mismo sentido y a la misma velocidad. A medida que el tubo va saliendo del molde, cuando la resina ya ha curado, se procede al corte según la longitud deseada.

El sistema de **centrifugación** se basa en un molde exterior cilíndrico que gira a una velocidad establecida en cuyo interior se introduce, mediante un alimentador, la resina, la fibra de vidrio y las cargas en las proporciones fijadas. Una vez las materias primas están dentro del molde, se produce su compactación mediante una centrifugación a alta velocidad.

En el sistema de **laminación manual** se parte de un molde cilíndrico fijo instalado en una bancada mecánica. Sobre este molde se aplica, de forma manual o automática, la fibra de vidrio preimpregnada en resina.

### 2.5. **Diseño hidráulico**

El diseño hidráulico de las tuberías de PRFV se hace de forma similar al del resto de tuberías. En cuanto al cálculo de las pérdidas de cargas, el coeficiente de rugosidad de Manning de estas tuberías se sitúa entre 0.009 y 0.010.

## **2.6. Mantenimiento y reparación**

En la Guía se detallan recomendaciones para la reparación de las tuberías de PRFV a presión aplicables a todos los sistemas de fabricación. Se indican especificaciones concretas dependiendo del tipo tubo y de junta existentes en la línea y de los que se van a aplicar en la reparación.

En todo caso, con el fin de minimizar los tiempos de reparación y agilizar la puesta en servicio de la línea, es recomendable tener siempre piezas de repuesto (tubos, manguitos mecánicos, etc.). Cuando esto no sea posible y haya que recurrir a unir tubos fabricados bajo series de diámetros diferentes, hay que prestar especial atención a las diferencias entre sus diámetros exteriores. Éste es un aspecto fundamental a la hora de seleccionar el sistema de unión a emplear.

## **2.7. Consideraciones constructivas**

Los aspectos constructivos, fundamentalmente la manipulación de los componentes de la tubería y la ejecución y relleno de la zanja, deben ser cuidados al máximo.

### *2.7.1. Manipulación, transporte y almacenamiento*

Es muy importante en todo momento, pero especialmente en las operaciones de manipulación, transporte y almacenamiento, evitar que los componentes de las tuberías de PRFV se caigan, colisionen, reciban golpes o sufran rozaduras. Debe evitarse que los tubos rueden o se arrastren sobre el terreno y se ha de cuidar al máximo su apoyo, colocando elementos adecuados de amortiguación bajo los mismos.

En el caso de que el tubo no pueda ser montado directamente del medio de transporte al lugar definitivo de instalación, se debe reducir el tiempo de almacenamiento al mínimo posible. Se pueden acopiar al aire libre por un período de un año sin una pérdida inadmisibles de propiedades por degradación de la radiación ultravioleta, aunque siempre es conveniente protegerlos con algún tipo de lona que aminore las radiaciones del sol, recomendándose mantener el embalaje de origen.

### *2.7.2. Instalación en zanja*

Lo más habitual, al menos en el transporte de agua a presión, es que las tuberías de PRFV se instalen enterradas, aunque hay otros posibles métodos de instalación como puede ser mediante hincas o la instalación aérea.

Es importante tener en cuenta que los tubos de PRFV enterrados se comportan como flexibles y que, ante la actuación de cargas verticales externas, reaccionan deformándose en horizontal. Por esta razón, su correcto funcionamiento va totalmente asociado a que, una vez enterrados, el material que los rodea los mantenga confinados, proporcionándoles el soporte que necesitan tanto en vertical como, de manera muy importante, en horizontal. Por lo tanto es fundamental prestar especial atención a que tanto las dimensiones de la zanja como el tipo de material de relleno y su nivel de compactación sean los adecuados para la tubería instalada y el terreno natural existente. En caso contrario, se puede producir una deformación excesiva del tubo.

La instalación de las tuberías, el relleno y la compactación de las distintas zonas de la zanja deben realizarse con las debidas precauciones para evitar dañar los tubos. Se ha de prestar atención a que el relleno quede correctamente colocado y compactado en todos los puntos de la zanja (sin excederse ni por defecto ni por exceso), especialmente en la zona de los riñones entre la cama de apoyo y la parte inferior del tubo.

## 2.8. Gestión de la calidad

Dentro del ámbito de estas tuberías, la gestión de la calidad se puede dividir en dos partes: control de calidad de la fabricación y control de calidad de la instalación.

En la Guía se indican en detalle las propiedades a controlar en cada momento, así como los ensayos a realizar y los requisitos exigidos a los resultados de los mismos.

El **control de calidad de la fabricación** es el que se debe realizar previamente al suministro, fundamentalmente en fábrica, sobre los distintos componentes de la tubería al objeto de comprobar que se cumple los requisitos exigidos a estos productos. Se debe comenzar con el control de calidad sobre las materias primas. Posteriormente, tanto antes como durante el proceso de fabricación de la tubería, se deben realizar controles específicos que dependen del sistema de fabricación empleado. Con el producto ya terminado, se deberá realizar otra serie de controles.

Aparte de los controles y ensayos realizados durante la fabricación, también es importante mantener una buena trazabilidad de la fabricación. Asimismo, antes de salir de fábrica, los tubos deben incluir un marcado fácilmente legible en el que se pueda apreciar con claridad una serie de características (DN y serie de diámetros a la que pertenece, SN, PN, fecha de fabricación, etc.).

El **control de calidad de la instalación** es el que se debe realizar en obra para comprobar que se cumplen los requisitos exigidos en lo relativo a la instalación de la tubería. Aquí se puede diferenciar el control de calidad de la ejecución de las obras y las pruebas de la tubería instalada.

En el control de calidad de la ejecución de las obras es importante prestar especial atención al control de calidad de la ejecución de los rellenos de las zanjas así como al de los materiales empleados para el relleno de las mismas, debido al comportamiento mecánico flexible.

Por último, las conocidas como pruebas de la tubería instalada cobran especial importancia para comprobar el correcto funcionamiento final. Consisten en un ensayo de estanquidad mediante presión hidráulica interior sobre la conducción una vez montada.

## 3. Diseño mecánico

El cálculo mecánico de las tuberías de PRFV se basa en el desarrollo para tuberías flexibles de la formulación de Marston para tuberías rígidas enterradas. Este desarrollo tiene en cuenta que la respuesta estructural del tubo flexible, como es el caso de los tubos de PRFV, depende de su rigidez y de la del terreno en el que está embebido. En realidad, a efectos estructurales, el medio resistente es un sistema mixto tubo-terreno.

A diferencia del caso de los tubos rígidos, donde el diseño suele estar condicionado por la comprobación de agotamiento mecánico del material del tubo, en los tubos flexibles su diseño está en general condicionado por la deformabilidad del tubo frente a las acciones que lo solicitan, o por la posibilidad de abolladura de su pared por inestabilidad (frente a las cargas exteriores y la presión de vacío).

### 3.1. Normativa de cálculo mecánico

Existen diversas normas de cálculo mecánico para tuberías flexibles de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio), entre las que cabe mencionar las siguientes:

- El manual americano AWWA M45 [5], específico para tuberías de PRFV.

- La norma alemana ATV-DVWK-A 127 [9], para tuberías de distintos materiales, sean éstas rígidas o flexibles.
- La norma francesa Fascicule 70 [10].

En 2007 aparece la CEN/TR 1295-3 y en 2011 es publicada como UNE por AENOR [8]. Este documento recoge dos posibles metodologías de cálculo, a elegir por el proyectista, denominadas Opción 1 y Opción 2. Básicamente cada una de estas opciones es el resultado del desarrollo de las mencionadas normas ATV-DVWK-A 127 y Fascicule 70 respectivamente.

En la Guía se establece que el proyectista de la tubería de PRFV deberá elegir el método de cálculo que considere más adecuado entre el indicado en el manual americano AWWA M45 o el indicado en la Opción 1 de la UNE-CEN/TR 1295-3. Además, se acompaña de una versión en desarrollo de una hoja de cálculo para facilitar el diseño mecánico de estas tuberías enterradas según ambos métodos.

### 3.2. Consideraciones generales

El concepto de tubería rígida o flexible hace referencia a si ésta soporta las cargas por sí misma, o si se cuenta con la colaboración del terreno en el que está embebida, que se opone y coarta las deformaciones de la sección transversal del tubo. En el primer caso las deformaciones de la tubería son despreciables, mientras que en el segundo la rotura del tubo se produce por una acusada ovalización de la sección transversal. En el caso de tuberías de PRFV se pueden alcanzar en rotura variaciones del diámetro del orden del 20 %, aunque se suele limitar al 5-6 % para mantener la funcionalidad de los tubos. Por lo tanto, estas tuberías, con las dimensiones y espesores comerciales actuales, son en todo caso tuberías flexibles.

### 3.3. Variables y parámetros mecánicos de la tubería

Para el cálculo mecánico de las tuberías de PRFV, las variables y parámetros de la tubería más importantes a tener en cuenta son la deflexión, la rigidez (circunferencial) de la tubería, la deformación última del material y el espesor de la pared de la tubería.

La **deflexión** es la variación de diámetro en una determinada dirección (habitualmente se refiere a la dirección vertical). Puede medirse en mm ( $\Delta y$ ) o en % respecto del diámetro medio del tubo ( $\delta y$ ). Su valor se limitará al de la deflexión límite para la que la tubería deja de tener un adecuado comportamiento en servicio (por ejemplo por pérdidas en las juntas del líquido contenido). Este es el criterio que suele condicionar el diseño de estas tuberías.

La **rigidez (circunferencial)** es un parámetro que mide la rigidez transversal de la tubería aislada, es decir, la relación entre la carga vertical que se le aplica y la deflexión que se alcanza.

La **deformación última del material** es la deformación de rotura del mismo, asociada a los esfuerzos que solicitan la pared del tubo. En general, para tuberías flexibles, como es el caso, el condicionante de diseño es más funcional que por agotamiento del material, por lo que éste es un parámetro que no suele utilizarse en este tipo de tuberías.

En cuanto al **espesor de pared** hay varios conceptos: el espesor de pared total ( $t_t$ ) es la suma del espesor del liner ( $t_l$ ) y del espesor de pared “estructural” ( $t$ ), es decir,  $t_t = t_l + t$ .

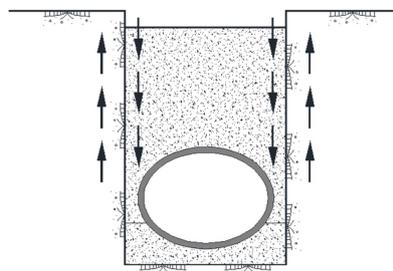
Los dos métodos de cálculo propuestos en la Guía emplean estos conceptos, aunque cada uno de los dos los trata de forma diferente.

### 3.4. Hipótesis sobre el comportamiento mecánico de tuberías flexibles enterradas

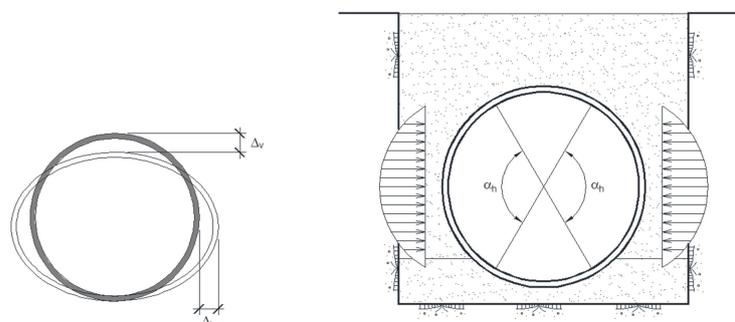
El diseño de tuberías flexibles enterradas pasa por suponer una serie de hipótesis sobre el comportamiento mecánico de la tubería. Las más destacables son las siguientes:

- El “**efecto silo**” de las acciones verticales, de acuerdo a la teoría de Marston, (desarrollada por Spangler para tubos flexibles). Este efecto, también llamado “efecto arco” o “efecto bóveda”, se tiene en cuenta al evaluar la carga gravitatoria que solicita la tubería. La capacidad del terreno de transmitir esfuerzos tangenciales hace que la carga vertical del relleno sobre la tubería pueda transmitirse en parte al terreno adyacente. De este modo la carga de terreno que efectivamente llega al tubo depende de si éste es rígido o flexible; de la distinta consolidación a largo plazo que tiene el terreno de relleno respecto del terreno natural; y de si la tubería está instalada en zanja, en terraplén, en zanja terraplenada, etc.
- La **reacción horizontal del terreno** movilizada por la deflexión horizontal de la tubería en el interior de la zanja. Esta reacción horizontal es el mecanismo por el que, en tuberías flexibles, el terreno que rodea el tubo forma parte junto con éste del sistema resistente. La deflexión horizontal está asociada a la deflexión vertical que se produce por las cargas gravitatorias.
- El “**restablecimiento por redondeo**” en tuberías a presión, es decir, la reducción de flexiones e incremento de axiles de tracción en la pared del tubo en sentido transversal por efecto de la presión interna.

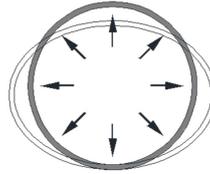
Todos estos efectos son recogidos en distintas formulaciones por las normas a lo largo del proceso de cálculo mecánico.



**Figura 1. Croquis explicativo del efecto silo en tuberías flexibles enterradas en zanja.**



**Figura 2. Deflexión horizontal de la tubería y reacción horizontal del terreno**



**Figura 3. Restablecimiento del redondeo en tuberías flexibles sometidas a presión interna**

### 3.5. Cálculo mecánico

Ambas normas siguen una metodología de cálculo clásica en la que se estiman los efectos de las acciones de servicio (sin mayorar) y se comparan con las capacidades tensodeformacionales nominales últimas de la tubería (sin minorar), exigiendo un determinado margen de seguridad.

Las comprobaciones que se realizan en ambos casos son:

1. Análisis de las condiciones de servicio: comparación de la deflexión esperable en el tubo frente a un límite funcional (normalmente un 5-6 %). En tuberías flexibles es habitual que ésta sea la comprobación condicionante en el diseño.
2. Análisis de la situación de agotamiento: verificación a nivel de deformaciones o tensiones de que no se alcanza la capacidad última del material en la fibra más solicitada del espesor de la pared del tubo.
3. Comprobaciones hidráulicas: verificación del comportamiento del tubo frente a la presión interna y golpe de ariete.
4. Análisis de estabilidad de la pared del tubo frente a la presión interna y las cargas exteriores.

En ambas normativas se contempla la combinación de acciones (presión y acción exterior del suelo y del tráfico).

UNE-CEN/TR 1295-3 Opción 1 contempla el efecto de la ovalización inicial (por compactación del relleno lateral de la zanja) y de la deflexión por peso propio. AWWA M45 considera estos efectos despreciables en tuberías de PRFV si se realiza una correcta ejecución conforme a sus recomendaciones.

En ambos casos el número de parámetros que se utilizan en el cálculo es similar (entre 25 y 30 aproximadamente), relativos a: la geometría de la sección transversal del tubo (diámetro, espesor de pared, espesor del liner); las características físico-mecánicas del tubo a corto y largo plazo (rigidez y deflexión o deformación última); las características del terreno natural, de la cama de apoyo y del relleno envolvente y sobre la tubería (grupo de suelo, grado de compactación, profundidad del nivel freático); las acciones (cargas exteriores, presiones interna y de golpe de ariete); y las condiciones de instalación (geometría de la zanja).

### 3.6. Comparación de resultados

Comparando ambas metodologías se deduce principalmente que:

- La metodología es más sencilla de aplicar en el manual AWWA M45, aunque es más secuencial conforme al modelo físico que se adopta en UNE-CEN/TR 1295-3 Opción 1.
- AWWA M45 tiene una menor dependencia sobre las condiciones de instalación. UNE-CEN/TR 1295-3 Opción 1 permite al proyectista tener en cuenta más parámetros para hallar el diseño óptimo en cada caso.

- AWWA M45 tiene una menor dependencia del ángulo de apoyo de la base del tubo sobre la cama considerado. En este sentido AWWA M45 no da directrices de qué ángulo considerar (salvo 0° en apoyo rígido), mientras que UNE-CEN/TR 1295-3 Opción 1 sí ofrece unas tablas para adoptar tanto este ángulo como el de apoyo sobre las paredes horizontales de relleno.
- En general, comparando AWWA M45 con ATV-DVWK-A 127, para un mismo tipo de terreno y considerando para cada norma las cargas de tráfico que cada una contempla, AWWA M45 parece que exige menores rigideces para mayores alturas de nivel freático y mayores profundidades de enterramiento.

## Agradecimientos

La “Guía técnica para el diseño, fabricación e instalación de tuberías a presión de poliéster reforzado con fibra de vidrio” es el resultado de un gran trabajo colaborativo entre representantes de diferentes sectores. Por esta razón, es importante agradecer el gran esfuerzo realizado a todos los integrantes del grupo del trabajo, empezando por TRAGSA (Blanca Berganza López) y SEIASA (José Ángel Hernández Redondo), promotores iniciales del trabajo, y continuando por el resto de participantes del CEDEX (Luis José Balairón Pérez, María Isabel Berga Cano, Ángel Leiro López y Jorge Mora de Sambricio), los fabricantes representados a través de AseTUB, los laboratorios del Instituto Eduardo Torroja (José María Chillón Moreno) y de la Universidad Rey Juan Carlos (Silvia González Prolongo), el resto de organismos participantes (ITACyL –David Jesús Martínez Paniagua–, SARGA –Domingo Gimeno Crespo– y ACUAMED), y los demás colaboradores que, en mayor o menor medida, han trabajado en la elaboración de esta Guía.

## Referencias

- [1] UNE-EN 1796:2014, Sistemas de canalización en materiales plásticos para suministro de agua con o sin presión. Plásticos termoestables reforzados con fibra de vidrio (PRFV) basados en resina de poliéster insaturada (UP)., AENOR, 2014.
- [2] R-23, Guía técnica para el diseño, fabricación e instalación de tuberías a presión de poliéster reforzado con fibra de vidrio, CEDEX, 2016.
- [3] ISO 10639:2004, Plastics piping systems for pressure and non-pressure water supply -- Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) systems based on unsaturated polyester (UP) resin, ISO, 2004.
- [4] AWWA C950-13, Fiberglass pressure pipe, AWWA, 2013.
- [5] M45, Fiberglass Pipe Design, Second Edition, AWWA, 2005.
- [6] UNE-EN 1295-1:1998, Cálculo de la resistencia mecánica de tuberías enterradas bajo diferentes condiciones de carga. Parte 1: Requisitos generales., AENOR, 1998.
- [7] UNE-CEN/TR 1295-2:2007 IN, Cálculo de la resistencia mecánica de tuberías enterradas bajo diferentes condiciones de carga. Parte 2: Resumen de los métodos de diseño establecidos a nivel nacional., AENOR, 2007.
- [8] UNE-CEN/TR 1295-3:2011 IN, Cálculo de la resistencia mecánica de tuberías enterradas bajo diferentes condiciones de carga. Parte 3: Método común., AENOR, 2011.
- [9] ATV-DVWK-A 127, Statische Berechnung von Abwasserkanälen und –leitungen, Tercera Edición, DWA, 2000.
- [10] Fascicule 70 CCTG travaux, Ouvrages d’assainissement, Ministère de l’Equipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, 2003.