

## REHABILITACIÓN DE CONDUCCIONES DE AGUA POTABLE CON TECNOLOGÍA DE INFUSIÓN Y VACÍO

**Francesc Robles\*, Vicente Mohedano\*\***

\*Director División Ingeniería Aplicada Grupo Navec, frobles@gruponavec.com

\*\*Director General Grupo Navec, vmohedano@gruponavec.com

### INTRODUCCIÓN

En la apuesta de una economía circular para conservar, mantener y alargar el valor de las redes de distribución y abastecimiento de agua, la tecnología de infusión y vacío empleada para la fabricación in situ de tuberías mediante fibra de carbono supone una alternativa segura, fiable y eficaz para todas aquellas conducciones, cuya reparación supone un importante desafío debido a la complejidad de actuación por medios tradicionales. Grandes excavaciones, interferencias con otros servicios y presión social ejercida por cortes excesivos de tráfico y suministros, son adversidades que demandan un cambio cultural y estratégico hacia la implantación de estas soluciones innovadoras, que ya son una realidad.



Figura 1. Sistema de infusión y vacío en tubería de distribución de agua potable DN 1600 mm.

El crecimiento de las ciudades, en extensión y población, ha generado incrementos importantes en el nivel de operación de las redes, diseñadas y construidas decenas de años atrás. Esta situación implica un aumento progresivo del riesgo asociado a la aparición de nuevas patologías, así como su velocidad de deterioro; agravante que, añadido a las complejidades mencionadas, dificulta en muchos casos los protocolos de actuación. El sistema de reacondicionamiento de tuberías y accesorios con tecnología de infusión y vacío, desarrollado por

Grupo Navec, permite restaurar la integridad estructural perdida, proporcionando las propiedades mecánicas requeridas en cualquier punto de la conducción sin las contraprestaciones anteriores: sin excavaciones, sin interferencias con el resto de las instalaciones o servicios cercanos y sin interrupciones de tráfico y/o suministros, además de eliminar de la ecuación el error humano.

En función del estado y del material base de la tubería original, esta puede considerarse como molde perdido, exterior o interior, no contribuyendo a la soportación de cargas estructurales. Asimismo, puede incrementarse su capacidad estructural para soportar caudales y presiones mayores a las originales de diseño sin modificar la instalación, alargando la vida de las conducciones existentes sin reposiciones totales ni desmantelamientos, mejorando al mismo tiempo su capacidad de transporte.



Figura 2. Diseño de colocación de fibra de carbono continua en tramos horizontales.

## **DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYOS**

El sistema nace de la necesidad específica de reacondicionar 1,5 km de conducción DN 800 mm perteneciente al circuito de refrigeración de un reactor nuclear con dos premisas claras. Por una parte, garantizar la fiabilidad y homogeneidad del conjunto en cualquier punto de la superficie instalada. Por otra parte, asegurar una metodología de aplicación respetuosa con la seguridad de los trabajadores y el medio ambiente, evitando la exposición continua a la inhalación de vapores provenientes de los materiales empleados. Una vez auditado y aprobado por el consejo de seguridad nuclear, su adaptación al sector del agua potable ha supuesto una alternativa firme y segura para todas las compañías que gestionan el ciclo integral del agua.

Consiste en fabricar una tubería con fibra de carbono in situ mediante la infusión de una resina epoxi de alta resistencia y su posterior consolidación a presión de vacío, mantenida hasta la finalización del ciclo de polimerización. El conjunto resultante, homogéneo en toda la superficie,



resuelve las carencias e incertidumbres generadas por las aplicaciones manuales derivadas del factor humano, como pueden ser falta de impregnación o exceso de resina, oclusiones de aire, sensibilidad a la delaminación, falta de compactación entre capas, insuficiente adherencia sobre el sustrato o mala adaptación a la geometría existente. Se emplea fibra ensamblada, cosida, y se absorbe únicamente la cantidad de resina necesaria en función del gramaje utilizado en la fibra de carbono, obteniendo las propiedades mecánicas óptimas extraídas en las hipótesis de cálculo.



Figura 3. Diseño de colocación de fibra de carbono continua en tramos verticales o inclinados.

Existen estándares internacionales que regulan la implantación de este tipo de soluciones en materia de cualificación, diseño, instalación, ensayos e inspección. AWWA C305 & AWWA M9 para sustratos de hormigón pretensado y ASME PCC-2 o ISO 24817 para sustratos metálicos o de GRP/GRE. Además, para el cálculo de espesor de fibra de carbono a emplear en cada caso, se utiliza el criterio Tsai-Wu en la simulación numérica por elementos finitos como criterio de falla cuadrática en el espacio de tensión, dado por:

$$f^2 = \sum_{i=1}^6 F_i \sigma_i + \sum_{i,j=1}^6 F_{ij} \sigma_i \sigma_j$$

Para condiciones de tensión plana, la ecuación se reduce a:

$$F_1 \sigma_1 + F_2 \sigma_2 + F_4 \tau_{23} + F_5 \tau_{13} + F_6 \tau_{12} + F_{11} \sigma_1^2 + 2F_{12} \sigma_1 \sigma_2 + F_{22} \sigma_2^2 + F_{44} \tau_{23}^2 + F_{55} \tau_{13}^2 + F_{66} \tau_{12}^2 = 1$$

Donde,  $F_4$ ,  $F_5$  y  $F_6 = 0$ , y  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_{11}$ ,  $F_{12}$ ,  $F_{22}$ ,  $F_{44}$ ,  $F_{55}$  y  $F_{66}$ :

$$F_1 = \frac{1}{\sigma_{11u}^f} - \frac{1}{\sigma_{11u}^c} ; \quad F_2 = \frac{1}{\sigma_{22u}^f} - \frac{1}{\sigma_{22u}^c}$$

$$F_{11} = \frac{1}{\sigma_{11u}^f \sigma_{11u}^c} ; \quad F_{12} = -\frac{1}{2} \sqrt{F_{11} F_{22}} = k \sqrt{F_{11} F_{22}}$$

$$F_{22} = \frac{1}{\sigma_{22u}^f \sigma_{22u}^c} ; \quad F_{44} = \frac{1}{\tau_{23u}^p \tau_{23u}^n} ; \quad F_{55} = \frac{1}{\tau_{13u}^p \tau_{13u}^n} ; \quad F_{66} = \frac{1}{\tau_{12u}^p \tau_{12u}^n}$$

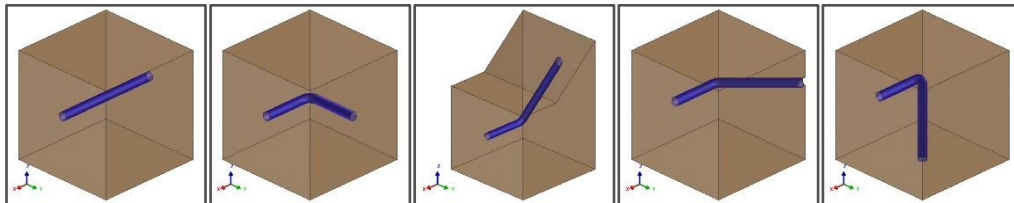


Figura 4. Cálculo y simulación numérica por elementos finitos de puntos críticos.

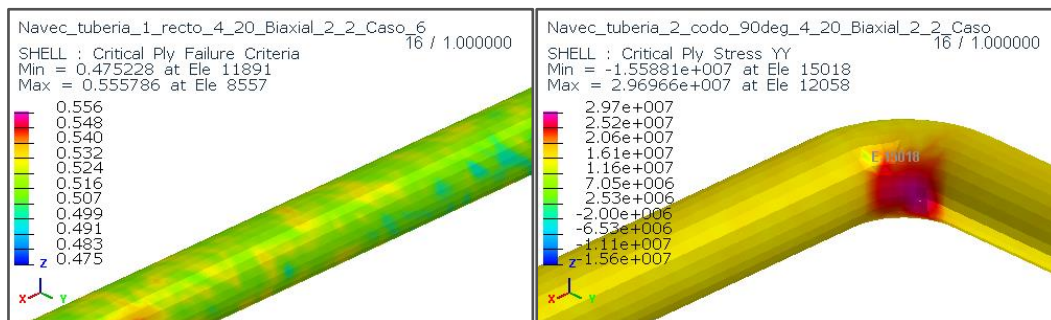
Por otra parte:

$$\sigma_{11u}^f ; \sigma_{11u}^c \text{ y } \sigma_{22u}^f ; \sigma_{22u}^c$$

son las tensiones de falla a tracción y a compresión en la dirección de la fibra y en la dirección transversal, respectivamente; y:

$$\tau_{12u}^p ; \tau_{23u}^p ; \tau_{13u}^p$$

son las tensiones últimas de cizallamiento +(p), -(n).



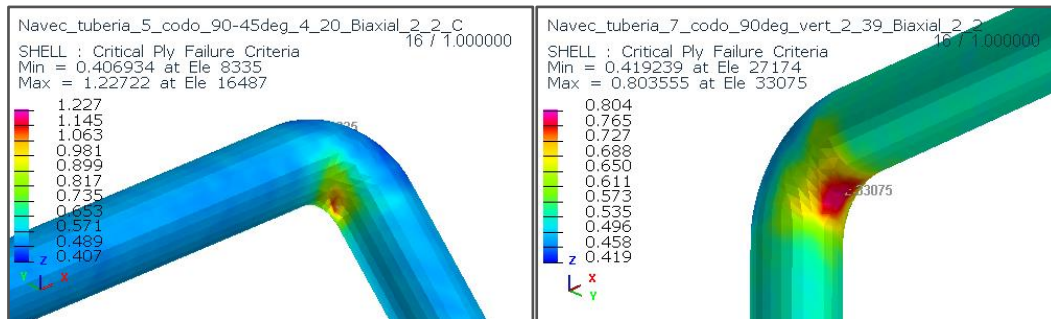


Figura 5. Cálculo y simulación numérica por elementos finitos de puntos críticos.

En función de los requerimientos de diseño de cada proyecto o instalación, se realiza una modelización específica para determinar el dimensionamiento del laminado. La consideración de cargas se trabaja juntamente con el cliente o propietario de la instalación, como pueden ser cargas permanentes, peso propio, peso del fluido, presión interna, acciones del terreno, acciones del tráfico, acciones térmicas o sismo, entre otras.

Para cada elemento de la instalación, codos, téis, injertos, bridas o bocas de hombre, tramos horizontales, inclinados o verticales, se diseña la configuración de cada pieza de fibra de carbono que compone cada capa, en gramaje, patronaje y ensamblado, así como el solape y las dimensiones para garantizar la continuidad de todo el sistema.

Se dispone de ensayos de caracterización necesarios por laboratorios externos acreditados para comprobar las propiedades resultantes: resistencia a tracción, compresión, adherencia, cizalladura, temperatura de transición vítrea, coeficiente de expansión térmica, dureza y resistencia al desprendimiento catódico, entre otras.

## DESARROLLO

Para entender el funcionamiento del conjunto resultante de fibra de carbono en una conducción, estructura o equipo, de ahora en adelante laminado, es necesario comprender la aportación de los distintos elementos que lo componen y la forma en que se procesa. Un laminado es un material bifásico compuesto por al menos dos elementos que trabajan juntos, fabricado expresamente para mejorar las propiedades que los materiales constituyentes presentan por separado. Está formado por un refuerzo, o fibra, la cual soporta los esfuerzos mecánicos aportando rigidez y resistencia; y por una matriz, o resina polimérica, la cual aporta geometría y cohesión al material compuesto y transmite los esfuerzos de unas fibras a otras para trabajar como un conjunto. La particularidad principal de un laminado es la anisotropía, es decir, sus propiedades dependen de la orientación del material de refuerzo.

Tanto las propiedades mecánicas resultantes como la homogeneidad de los parámetros finales dependen principalmente del proceso utilizado en la obtención del laminado. En el caso de las conducciones de agua a presión, únicamente puede garantizarse la fiabilidad del laminado in situ cuando este se conforma mediante tecnología de infusión y vacío.





Figura 6. Distribución y sellado del sistema de regulación y control de infusión y vacío.

Sobre las capas de fibra de carbono que conforman el laminado se instala el material consumible del sistema. El proceso se logra generando un sellado con presión negativa a través de una bolsa tubular flexible, colocada sobre el laminado en la conducción. Esta, se mantiene comprimida hasta el final, encapsulando el sistema de regulación y control, que, a su vez, está conectado a una bomba de vacío para extraer el aire de la superficie.

En el proceso de vacío, los puntos de succión se diseñan en el frente de avance de la resina para que contribuyan con el gradiente de presión que hace de fuerza impulsora. Seguidamente se sella el laminado de la zona perimetral con masilla de cierre; la presión atmosférica obliga a salir el aire que se encuentra dentro, generando la compresión final de la bolsa de vacío contra el laminado.

Una vez comprobado que el sellado es correcto, se procede a la introducción de la resina facilitando un flujo constante por capilaridad y saturación. La entrada se realiza a través de los perfiles de infusión en distintas secciones, los cuales están distribuidos para garantizar la impregnación completa del laminado, y se regulan dependiendo del plan de diseño.



Figura 7. Proceso de infusión en un tramo inclinado de un sifón de agua potable.



Figura 8. Conjunto resultante de fibra de carbono y matriz epoxi una vez retirado el sistema.

Este sistema garantiza la adherencia con el sustrato, elimina el exceso de absorción de resina, remueve el aire ocluido entre capas, compacta las capas mejorando la solidez interlaminar, evita cambios de orientación de fibras durante la manipulación y el curado, reduce la humedad y optimiza el contenido de resina en el material compuesto final.

Asimismo, los ensayos realizados según el RD 140/2003 de no migración certifican la compatibilidad del laminado en contacto con agua para consumo humano, por lo que puede emplearse para cualquier conducción de agua potable, desmineralizada o tratada.



Figura 9. Revestimiento de protección de la nueva conducción de fibra de carbono.

## **FACTORES CLAVE**

Entre los principales factores clave, se encuentra:

- **Fiabilidad.** Realización de grandes superficies de forma homogénea, obteniendo las mayores fracciones de volumen de fibra posibles con el mínimo peso en cualquier punto. Bajo contenido de resina y alta reducción de huecos vacíos o aire.
- **Homogeneidad de propiedades mecánicas** a lo largo de todo el laminado o estructura. Ideal para geometrías complejas, tramos verticales, inclinados, techos, generatriz superior de tuberías o depósitos, accesorios, etcétera.
- **Proceso industrializado e independiente** de las habilidades del trabajador o aplicador.
- **Seguridad.** Ausencia de volátiles en la atmósfera de trabajo, eliminando el contacto directo con vapores de productos químicos, punto clave en espacios confinados.
- **Respetuoso con el medio ambiente** favoreciendo la economía circular.
- **Sin interferencias con el resto** de las instalaciones y servicios cercanos, sin excavaciones, y sin interrumpir la vida normal de la ciudad.



- Mejores prestaciones mecánicas en un procesado in-situ sin equipos auxiliares de autoclave. Puede llegar a tener hasta 10 veces más resistencia que un mismo laminado realizado por medios manuales.
- Alargar la vida de los activos, incluso incrementando y mejorando las operaciones por aumento de caudales y presiones.
- Con respecto a las conocidas mangas de rehabilitación, admite diámetros y presiones mayores, puede realizarse en cualquier tipo de accesorio, te, curva o codo, y puede aplicarse en secciones concretas de hasta 0,5 ml, sin necesidad de rehabilitar tramos completos de conducción.

## **OTRAS APLICACIONES**

Entre las aplicaciones posibles, se destaca:

- Reparación y refuerzo estructural, interior o exterior, de tanques y depósitos de almacenamiento, metálicos, de hormigón o de GRP/GRE, afectados por corrosión, fisuración o deterioro, incluyendo techos, envolventes y fondos.
- Recuperación estructural de equipos estáticos y dinámicos, como bombas, volutas, impulsores, difusores, soplantes, etc.
- Impermeabilización y refuerzo estructural de balsas, canales, cubetos, etc.



Figura 10. Reacondicionamiento de bridas y bocas de hombre de fundición gris.



Figura 11. Reacondicionamiento interior de depósitos con dificultad de desmantelamiento.

## CONCLUSIONES

El sistema con tecnología de infusión y vacío desarrollada por Grupo Navec, se ha convertido desde hace años en una realidad que demanda un cambio cultural y estratégico a la hora de replantearse la conservación y mantenimiento, e incluso el alargamiento, de las redes de distribución y abastecimiento de agua. La mayor ventaja se encuentra en sistemas enterrados donde las dificultades logísticas de acceso y medios auxiliares pueden ser un impedimento debido a la complejidad de actuación por medios tradicionales.

La dosificación homogénea de los materiales constituyentes, llevando a la práctica con efectividad las hipótesis de cálculo teóricas, afianzan la fiabilidad y homogeneidad del conjunto resultante, garantizando las mismas propiedades mecánicas en cualquier punto de la superficie. A su vez, la eliminación del factor humano y la longevidad de este tipo de materiales, en términos de resistencia a la degradación y corrosión, brindan una visión largoplacista dentro del ámbito del mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones existentes en el sector del agua.

## PALABRAS CLAVE

Economía circular, agua potable, infusión y vacío, fibra de carbono.

## Referencias

SAE R-424, Composite Materials Handbook (CMH-17), Edition (2012) Volume 3, Polymer Matrix Composites: Materials Usage, Design, and Analysis”, SAE International.