

## ARTÍCULO

# II.IV. Ayudando al cliente a evaluar el estado y la vida útil de los equipos de PRFV mediante la sensorización

### Autores

Adriaño Ureña, Chief Technology Officer y Francesc de Haro, Chief Executive Office, en Ollearis.

### Abstract

Cada vez son más los equipos industriales de tratamiento, almacenaje y transporte de fluidos altamente corrosivos fabricados en plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Sus propiedades como material composite le confieren grandes ventajas frente a metales y aleaciones en este tipo de entornos críticos, pero también lo hacen más complicado para poder analizar y evaluar su estado y vida útil.

La evolución tecnológica enmarcada dentro del “Internet of Things” (IoT) y de los propios sensores digitales o analógicos, permiten la captación de datos relaciones con diferentes características del producto o del proceso, permiten conocer cómo se encuentra la robustez e integridad en tiempo real de los equipos construidos en PRFV sometidos a fluidos altamente corrosivos.

### Introducción

La utilización de equipos fabricados en plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) es cada más importante en el ámbito industrial, y muy especialmente en la industria química, cuando hay que gestionar fluidos altamente corrosivos. Son muchas las ventajas que ofrece este material por su alta resistencia a la corrosión,

comparándola incluso con la de metales y aleaciones. Al ser un material heterogéneo (se trata de un composite), ofrece características mecánicas y físico-químicas muy distintas a las de los materiales metálicos. Por esta razón, también es más complejo analizar y evaluar el estado de conservación de un equipo de PRFV.

## Influencia de su estructura laminar en la vida útil de un equipo de PRFV

La pared de cualquier equipo fabricado en PRFV está dividida en tres partes distintas:

- La capa interior anticorrosión, que es la parte que estará en contacto con el fluido que se pretende manejar. Esta capa está constituida por un laminado con un alto contenido en resina, que proporciona una muy buena resistencia a la corrosión, y que sería equivalente al clásico “corrosion allowance” que se emplea en el diseño de equipos metálicos.
- La capa intermedia estructural, que es la parte que proporciona la resistencia mecánica necesaria para soportar las cargas y solicitaciones a las que estará sometido el equipo. Esta capa tiene un mayor contenido en fibra de vidrio que la capa interior anticorrosión, por lo que su resistencia química es inferior a la de ésta. Sin embargo, el mayor contenido en fibra de vidrio proporciona mejores propiedades mecánicas y por lo tanto una mayor resistencia estructural.
- La capa exterior de acabado, que es la parte que estará en contacto con el ambiente en el que se instala el equipo. Su función principal es proteger al PRFV de la degradación que en este material produce la radiación solar ultravioleta.

Teniendo en cuenta esta composición de la pared, los equipos de PRFV pueden llegar al final de su vida útil por dos vías distintas:

- a) Cuando la capa interior anticorrosión se ha degradado por completo, de manera que el fluido contenido empieza a atacar y degradar la capa intermedia estructural. A partir del momento en que la capa intermedia estructural pierde espesor por el ataque químico del fluido, su capacidad portante será inferior a la requerida para soportar las solicitaciones y esfuerzos previstos en su diseño.
- b) Si se producen daños graves en la capa intermedia estructural, que hagan disminuir sus propiedades mecánicas o pongan en riesgo su integridad estructural. Estos daños pueden provenir de defectos constructivos cuyo tamaño se amplía debido a los esfuerzos o ciclos de carga que se aplican, de impactos sobre la pared del equipo (el PRFV no es un material dúctil y se fisura con facilidad por esta causa), o de la degradación por ataque químico que se produce cuando la capa interior anticorrosión deja de cumplir su función por rotura o degradación.

## Diferencias de comportamiento estructural entre equipos metálicos y equipos de PRFV

La integridad estructural en equipos metálicos se ve comprometida por lo general debido a tres factores, que se pueden analizar con facilidad mediante ensayos no destructivos y sin necesidad de poner el equipo fuera de servicio:

- Pérdida de espesor debida a la corrosión atmosférica o al ataque químico del fluido contenido. El espesor de pared se puede medir con facilidad desde el exterior mediante sondas de ultrasonidos, permitiendo

conocer si aún se dispone o no de “corrosion allowance” en el equipo.

- Abolladuras o cambios de geometría debidos a daños estructurales, que son perfectamente detectables a simple vista.
- Fisuras o microrroturas que se propagan a través de la red cristalina del material, casi siempre en las soldaduras o en las zonas adyacentes. Estos defectos se pueden detectar mediante ensayos no destructivos habituales como son los ultrasonidos o las partículas magnéticas.

En lo que a los equipos de PRFV, la integridad estructural puede verse comprometida principalmente por dos factores:

- Exposición de la capa intermedia estructural al ataque químico del fluido contenido. Esta exposición puede deberse a que la capa interior anticorrosión ha sido ya completamente degradada por el fluido, o porque se ha producido una rotura en dicha capa anticorrosión. El ataque químico en el PRFV no produce, salvo en casos muy puntuales, una corrosión y una pérdida de espesor similar a la que aparece en los materiales metálicos. Por lo general dicho ataque químico degrada progresivamente la pared cuando el fluido va permeando y difundiéndose cada vez a mayor profundidad en la capa anticorrosión, hasta alcanzar la capa estructural. Las roturas en la capa anticorrosión tienen un efecto similar, pero localizado, ya que permiten el



**Figura 1 – Muestra extraída de un tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico.** Puede observarse el cambio de coloración en parte de su espesor debido a la difusión del ácido sulfúrico a través de la pared, pero sin pérdida de espesor de ésta.

paso directo del fluido contenido en el interior hacia la capa estructural. La detección de estos mecanismos de degradación no puede hacerse mediante mediciones de espesores, sino que requiere una inspección desde el interior del equipo (que obligará a ponerlo fuera de servicio) o la extracción de una muestra de laminado de la propia pared del equipo para su posterior análisis.

- Propagación de defectos del laminado cuando el equipo se somete a solicitaciones o ciclos de carga. Estos defectos pueden ser fisuras o roturas en la matriz de resina, que pueden terminar afectando a las fibras de vidrio de refuerzo, o deslaminaciones (fallos en la adherencia entre las distintas capas que componen el laminado). Actualmente técnicas como el examen por emisión acústica o la termografía permiten la detección de este tipo de defectos sin necesidad de poner fuera de servicio el equipo, aunque ambas técnicas requieren de equipos complejos y costosos y de especialistas altamente cualificados para su ejecución.

## Sensorización de los equipos de PRFV

El desarrollo actual de la electrónica y los sensores permite su implantación en equipos de PRFV para, a través de la información que

pueden proporcionar cuando dichos equipos están en servicio, poder diagnosticar su estado sin necesidad de ponerlos fuera de servicio

o realizar intervenciones agresivas que requieran reparaciones posteriores (extracción de muestras del propio equipo para su análisis). La sensorización de los equipos puede permitir analizar básicamente dos campos distintos que evolucionan a lo largo de su vida útil:

- **Integridad estructural del equipo (SHM – Structural Health Monitoring).**

En este caso los sensores deben permitir detectar defectos en los laminados cuya propagación pueda poner en riesgo su resistencia o estabilidad. Este campo está ya ampliamente desarrollado para diagnosticar el estado de las piezas de composite que se emplean en aeronáutica, siendo por tanto aplicable a los equipos industriales de PRFV.

La tipología de sensores que se emplea habitualmente para este tipo de análisis es la siguiente:

- **Galgas extensométricas:** Permiten medir las deformaciones que aparecen en el laminado mediante un circuito eléctrico relativamente sencillo. Su coste es bajo y son muy fiables, aunque cada galga requiere un cableado o sistema de transmisión propio.
- **Sensores piezoeléctricos:** Permiten detectar la propagación de ondas elásticas en la superficie del laminado o medir deformaciones en el material. Su gran inconveniente es que son sensibles a las interferencias electromagnéticas y que además pueden generar señales falsas debidas al ruido ambiental o al impacto de partículas o gotas de lluvia sobre el equipo. Los sistemas de adquisición y tratamiento de datos para este tipo de sensores son además complejos y de alto coste, todo ello limita mucho su utilización en entornos industriales.

- **Sensores de fibra óptica (FOS):** Este tipo de sensores también permite la medición de deformaciones, presión, fuerzas o temperatura, seleccionando el sensor adecuado. Son altamente fiables y precisos, pero también son frágiles y sensibles a la corrosión y la humedad, lo que dificulta su uso en entornos industriales agresivos.

- **Sensores de rejilla de Bragg en fibra (FBG):** Son sensores de fibra óptica sobre cuya fibra se graba una rejilla mediante radiación ultravioleta. Son sensibles a la deformación y a la temperatura, lo que permite la medición de estos parámetros. Son insensibles a las interferencias electromagnéticas y muy fiables, pero tienen las mismas limitaciones que los sensores de fibra óptica convencionales. Es una tecnología muy reciente, pero que parece prometedora para la monitorización de la integridad estructural en composites.

- **Acelerómetros:** Permiten medir y monitorizar vibraciones en los equipos, que puedan dar lugar a fenómenos de inestabilidad o roturas. Son útiles en equipos conectados a equipos rotativos que les transmiten vibraciones como bombas o agitadores, o en equipos muy esbeltos en los que las vibraciones generadas por el viento u otros factores pueden dar lugar a fallos catastróficos por resonancia.

- **Degradación del espesor de pared por ataque químico.**

Para desempeñar esta función, los sensores deben ser capaces de medir propiedades físicas o químicas que se vean alteradas conforme el fluido contenido en

**Servitización – Arquitectura de la digitalización de equipos**



Figura 2 – Esquema de la arquitectura de un sistema de sensorización y tratamiento de datos con sensores instalados o embebidos en un equipo de PRFV.

el equipo permea y degrada progresivamente el laminado.

Este tipo de sensores permite controlar el grado de avance de dicha degradación o el momento en el que dicha degradación alcanza la capa intermedia estructural, lo que indicaría que el equipo ha llegado

al final de su vida útil. Aunque este campo está actualmente en fase de estudio y desarrollo, los sensores de conductividad y capacidad eléctrica ofrecen características adecuadas para este tipo de mediciones, por lo que en breve estarán disponibles sistemas que permitan su instalación sobre equipos de PRFV.

**Monitorización de equipos de PRFV a lo largo de su vida útil**

El actual desarrollo de las tecnologías de información y comunicación permite de forma sencilla y económica enlazar los sistemas de sensores instalados en un equipo de PRFV con una plataforma de tratamiento analítico de datos mediante una red de conectividad que

evite, incluso, las interferencias con otros sistemas de información y comunicación propios del cliente, y destinados a la instrumentación en las plantas industriales. De esta forma es posible enviar la información recopilada por los sensores a la nube, donde puede ser procesada

y analizada en tiempo real, además de ser accesible desde cualquier dispositivo conectado (ordenadores, tablets o teléfonos móviles).

Esta arquitectura permite además definir alarmas programadas que avisarán al usuario

del equipo cuando las deformaciones superen un determinado grado, las vibraciones sean excesivas, o la degradación en la capa anticorrosión alcance una profundidad predeterminada.

## Mejorando la seguridad, la fiabilidad y la sostenibilidad de equipos de PRFV

Las grandes ventajas que ofrece el uso de equipos de PRFV, especialmente cuando se trata del manejo de fluidos altamente corrosivos, conllevaban también el pago de un peaje asociado a la dificultad técnica para evaluar su estado a lo largo de su vida útil, y al coste de su periódica puesta fuera de servicio para poder analizar dicho estado con garantías.

Los avances actuales en el campo de la sensorización y las tecnologías de la información y comunicación permiten ya monitorizar en tiempo real las deformaciones y vibraciones que aparecen en este tipo de equipos. Por otra parte, ya se está trabajando en la

implantación de sensores que van a permitir evaluar el grado de degradación de la capa anticorrosión interior en tiempo real, disponiendo además de avisos programados cuando se alcancen niveles críticos en dicha degradación.

Estos sistemas permitirán, por lo tanto, operar los tanques con mayor grado de seguridad y fiabilidad, permitiendo conocer en tiempo real hasta qué punto el tanque está cerca del final de su vida útil, reduciendo además el coste asociado a las tradicionales puestas fuera de servicio para su inspección y análisis.

### Referencias

- Carrino, S. (2021). *Active SHM for composite pipes using piezoelectric sensors*. Retrieved from [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785319340593?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785319340593?utm_source=chatgpt.com)
- Gaiker. (2025). *Gaiker develops new technologies for the contactless monitoring of composite materials*. Retrieved from [https://www.gaiker.es/en/gaiker-develops-new-technologies-for-the-contactless-monitoring-of-composite-materials/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.gaiker.es/en/gaiker-develops-new-technologies-for-the-contactless-monitoring-of-composite-materials/?utm_source=chatgpt.com)
- Varricchio, D. (2025). Structural health monitoring from sensors to safety. *JEC Composites Magazin n° 164*.