

Un hallazgo contraintuitivo: la corrosión superficial podría reducir la susceptibilidad del acero a la fragilización por hidrógeno

Cuando se plantea reutilizar infraestructuras de acero al carbono existentes para el transporte de hidrógeno (tuberías que llevan años en servicio y que inevitablemente presentan signos de corrosión superficial), surge una pregunta crítica: ¿cómo afecta esa capa de óxido al comportamiento del material frente al hidrógeno? La respuesta intuitiva sería que la corrosión empeora las cosas. Los resultados obtenidos por TECNALIA en ONTZHI-II apuntan en sentido contrario.

El material y las condiciones de ensayo

El material estudiado es el acero X52N normalizado (API 5L), suministrado por Tubos Reunidos Group en forma de tubo sin soldadura de 600 mm de diámetro exterior y 25 mm de espesor, un acero representativo de las redes de distribución y transporte de gas natural, con una microestructura de ferrita-perlita y propiedades mecánicas bien caracterizadas (tensión de fluencia: 384 MPa, resistencia a la tracción: 532 MPa).

Las probetas de ensayo se sometieron a cuatro condiciones de envejecimiento superficial distintas antes de ser ensayadas en hidrógeno puro a 160 bar mediante tracción a velocidad de deformación lenta (SSRT):

- SE: Sin envejecimiento: probetas limpias y pulidas, como referencia.
- E1: 24 horas de niebla salina (según UNE-EN ISO 9227:2023).
- E2: 72 horas de niebla salina.
- E3: 336 horas (14 días) en cámara ambiental a 100% de humedad relativa y 40 °C.





Figura 1. Probetas de acero X52N sin envejecimiento y tras los diferentes envejecimientos

Resultados: más corrosión, menos fragilización

Los ensayos SSRT en hidrógeno a 160 bar revelan un patrón claro y sorprendente: todos los envejecimientos superficiales mejoran la ductilidad del material frente al hidrógeno respecto al acero sin corrosión.

El resultado más destacado es el del envejecimiento E2 (72h de niebla salina), que presenta un índice de fragilización $R_{\epsilon_{pl}}$ de 0,97, prácticamente equivalente al comportamiento en aire, frente al 0,72 del material sin envejecer.

Envejecimiento	Ratio ϵ_{pl} (promedio) en H ₂ /Aire ($R_{\epsilon_{pl}}$)	Ratio UTS (promedio) H ₂ /Aire	Ratio RA (promedio) H ₂ /Aire (RRA)	Observación clave
Sin envejecimiento (SE)	0,72	1,01	0,45	Mayor susceptibilidad a FH
24h niebla salina (E1)	0,86	1,01	0,67	Mejora notable vs SE
72h niebla salina (E2) ✓	0,97	1,01	0,66	Mejor R_{ϵ} — casi equivalente al aire
336h humedad relativa (E3)	0,90	1,00	0,74	Mayor RRA — mejor ductilidad residual

Tabla 1. Índices de fragilización por hidrógeno según envejecimiento: $R_{\epsilon_{pl}}$ (alargamiento plástico H₂/aire), UTS (resistencia mecánica) y RA (reducción de área). ✓ condición con mejor $R_{\epsilon_{pl}}$

Lo confirma la superficie de fractura

El análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) de las superficies de fractura aporta la explicación mecánica. En la probeta sin envejecimiento ensayada en hidrógeno, se observa una grieta semi-elíptica frágil de gran tamaño que abarca la mayor parte de la superficie de fractura, la huella inequívoca de la fragilización por hidrógeno (HE). En cambio, las probetas envejecidas muestran varias grietas frágiles semielípticas de menor tamaño distribuidas alrededor de la circunferencia. Este comportamiento podría estar relacionado con un efecto barrera de la capa de óxido, que redistribuiría y limitaría la penetración del hidrógeno.

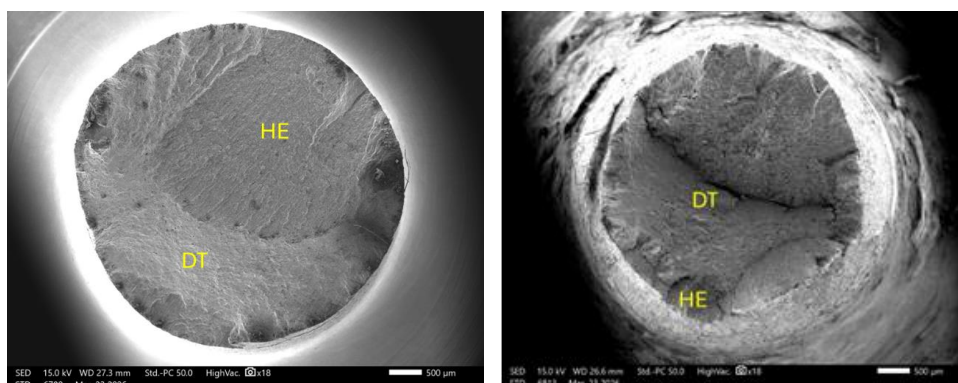


Figura 2. Superficies de fractura SEM en hidrógeno a 160 bar: SE (izda.), E3 (dcha.) Se identifican zonas de desgarramiento dúctil (DT) y zonas con evidencia de fragilización por hidrógeno (HE)

Implicaciones para la reutilización de infraestructuras

Estos resultados podrían tener una implicación industrial relevante: las capas de óxido formadas por corrosión en tuberías de acero X52N no parecen empeorar su comportamiento frente al hidrógeno y podrían ejercer un efecto barrera parcial frente a su penetración. Aunque este mecanismo requiere una investigación más profunda, estos resultados aportan una nueva perspectiva para la evaluación de la aptitud de infraestructuras existentes de transporte de gas natural de cara a su posible reconversión al transporte de hidrógeno.