LOCTITE®

BEYOND THE BOND

HYDROGEN READY SOLUCIONES DE SELLADO *PARA APLICACIONES DE FORMACIÓN DE JUNTAS*

SIMONE ZANETTI, *Ingeniero de aplicaciones, Henkel Italia*

MIKE FEENEY, *Ingeniero de aplicaciones, Henkel Canadá*

DAVID CONDRON, *Desarrollo de productos, Henkel Irlanda*

• **DOCUMENTO TÉCNICO**



Henkel

Henkel Adhesive Technologies

CONTENIDOS

RESUMEN 03

INTRODUCCIÓN 04
SOLUCIONES DE SELLADO PARA CONEXIONES CRÍTICAS

ENSAYO 06
VALIDACIÓN DE LOS FORMADORES DE JUNTAS MEDIANTE ENSAYOS DE CAÍDA DE PRESIÓN

RESULTADOS 08

CONCLUSIÓN 10

REFERENCIAS 11



RESUMEN

El hidrógeno está emergiendo como una importante fuente alternativa de energía, gracias a su abundancia y a su potencial de reducir las emisiones de efecto invernadero. Pero la utilización del hidrógeno conlleva desafíos significativos, especialmente en relación a la gestión de las conexiones y uniones de los sistemas de hidrógeno. El sellado de las conexiones es crucial para garantizar la fiabilidad, eficiencia y seguridad de dichas aplicaciones, ya que el hidrógeno es un gas altamente permeable e inflamable que requiere de soluciones precisas para prevenir fugas y asegurar la seguridad del sistema.

En este contexto, es esencial utilizar selladores y técnicas que además de ser compatibles con el hidrógeno, son capaces de resistir las condiciones ambientales y de servicio. Elegir el método de sellado adecuado puede marcar la diferencia entre un sistema altamente fiable y eficiente y otro que esté expuesto a riesgos significativos.



INTRODUCCIÓN

SOLUCIONES DE SELLADO *PARA CONEXIONES CRÍTICAS*

El hidrógeno, como vector energético limpio, está ganando cada vez más atención en el contexto del cambio hacia fuentes de energías renovables, debido a su potencial para impulsar la transición a una economía con baja emisión de carbono. Sin embargo, uno de los desafíos técnicos más críticos es el control de las fugas de H_2 a lo largo de las etapas de producción, almacenamiento, distribución y uso final, especialmente en las conexiones embridadas.

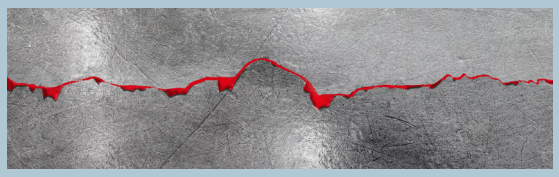
Las bridas son piezas fundamentales en los sistemas de tuberías y depósitos, así como en bombas, compresores y válvulas, y su estanqueidad es esencial para garantizar la seguridad y la eficiencia operativa. La molécula de H_2 es pequeña y ligera, lo que la hace especialmente propensa a penetrar en materiales y uniones, aumentando así el riesgo de fugas y comprometiendo la eficiencia, la fiabilidad y la seguridad de los sistemas. En este contexto, un sellado eficaz de las bridas desempeña un papel clave para garantizar la estanqueidad de los sistemas que operan con H_2 a alta presión. La elección de los formadores de juntas, el diseño del sistema de apriete y las condiciones de operación son factores esenciales para prevenir fugas de hidrógeno y fenómenos de fragilización, que pueden comprometer la integridad estructural de las bridas y los elementos de sellado.

Los selladores anaeróbicos proporcionan una solución de sellado para el H_2 gaseoso. Son adhesivos reactivos que, al estar en contacto con superficies metálicas y en ausencia de aire, curan formando un plástico termoestable.

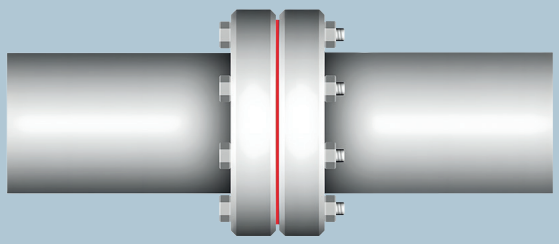
Las bridas metálicas ajustadas crean condiciones casi perfectas para el curado de estos formadores de juntas, lo que los convierte en selladores ideales que superan muchas de las limitaciones de los métodos de sellado tradicionales. Como se aplican en estado líquido, rellenan cualquier holgura o imperfección superficial. Cuando quedan confinados entre las superficies metálicas, no hay suficiente oxígeno para mantener el material estable en su estado líquido, por lo que el curado crea un plástico termoestable que proporciona una unión mecánica entre los dos componentes. Dado que el rendimiento del sellado no depende de la compresión entre las caras de la brida, el montaje se puede alinear inicialmente en cualquier orientación y cualquier exceso de material que se expulse de la unión se puede limpiar. Por lo que la unión tiene una apariencia limpia y proporciona: resistencia frente al aflojamiento por vibración, a temperaturas de hasta 200 °C y a presiones hasta la presión de rotura nominal de la mayoría de los sistemas. Puede encontrarse un análisis más detallado sobre los anaeróbicos y su capacidad para ofrecer una solución de sellado para gases y líquidos en el documento técnico de McGurk et al [8].







Como se puede ver en esta imagen aumentada de dos bridas metálicas rígidas ajustadas, los formadores de juntas anaeróbicos sellan al 100 % rellenando todo el espacio y las irregularidades superficiales entre las dos superficies, creando un sellado estanco y eficaz frente a las fugas de hidrógeno.



Los formadores de juntas anaeróbicos LOCTITE curan formando un plástico termoestable duradero, añadiendo rigidez estructural y eliminando los micromovimientos del montaje embridado. El sellador no se deslizará, asentará ni relajará con el tiempo, manteniendo así la tensión del elemento de fijación. Además, distribuye las tensiones de manera uniforme, evitando cualquier grieta o desgarro en la junta curada que pudiera provocar fugas de hidrógeno.

ENSAYO

VALIDACIÓN DE LOS FORMADORES DE JUNTAS *MEDIANTE ENSAYOS DE CAÍDA DE PRESIÓN*

Para demostrar la compatibilidad y eficacia de las soluciones de sellado, en Henkel se diseñó un experimento y se contrató a un laboratorio externo para realizar un ensayo de fuga de hidrógeno gaseoso con tres formadores de juntas diferentes, utilizando el método de caída de presión.

Henkel encargó a un laboratorio externo la evaluación del rendimiento de doce montajes, incluyendo dos selladores en cada dispositivo, con hidrógeno al 100 %, midiendo la caída de presión en dos condiciones diferentes ensayadas de forma secuencial. Se seleccionaron bridas conforme al Código ASME B31.12-2023 para tuberías y conducciones de hidrógeno. El montaje se realizó con bridas roscadas NPT de 1/2" Clase 300 y accesorios Schedule 80 fabricados en acero inoxidable 304. Las presiones y temperaturas se seleccionaron según las especificaciones.

Cada montaje se ensayó a dos presiones y temperaturas diferentes, tal como se muestra en la Tabla 1.

Para realizar los ensayos de forma óptima, fue necesario preparar adecuadamente las piezas. Ambas superficies de las bridas se limpiaron y, a continuación, se aplicó un cordón continuo de formador de juntas anaeróbico en una de las bridas en la zona a unir, tal como se muestra en la figura 1. Para sellar los montajes para los ensayos, se utilizaron dos selladores de roscas aptos para hidrógeno en las partes roscadas: LOCTITE 567 y LOCTITE 577. Estos selladores de roscas habían sido previamente ensayados para alta presión y certificados por Kiwa conforme a la norma AR 214 para contacto con hidrógeno puro al 100 %, tal como se indica en el documento técnico anterior



FIGURA 1: Forma correcta de aplicar el producto.



FIGURA 2: Especificación de los selladores A y B.

"Soluciones de sellado para hidrógeno y prevención de fugas" [9].

Todos los productos se dejaron curar al menos durante 72 horas antes de realizar los ensayos.

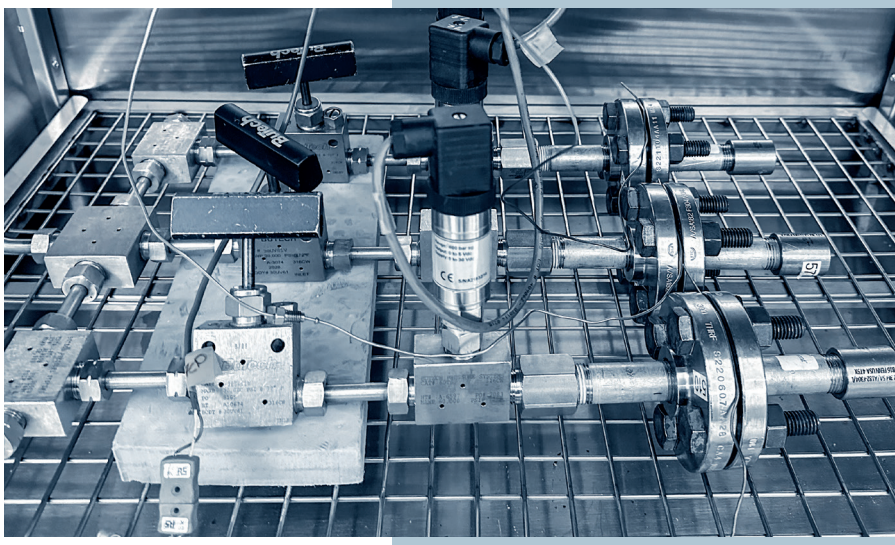


FIGURA 3: Montaje del ensayo.

TABLA 1: Presión y duración de cada ensayo de fuga

Sellador A	Sellador B	Paso 1			Paso 2		
		Presión	Temperatura	Duración	Presión	Temperatura	Duración
LOCTITE 510	LOCTITE 567	41 bar	Ambiente	18 h	20 bar	80 °C	6 h
	LOCTITE 577						
LOCTITE 518	LOCTITE 567	41 bar	Ambiente	18 h	20 bar	80 °C	6 h
	LOCTITE 577						
LOCTITE 574	LOCTITE 567	41 bar	Ambiente	18 h	20 bar	80 °C	6 h
	LOCTITE 577						

RESULTADOS

Los siguientes gráficos muestran un ejemplo de los resultados obtenidos con tres formadores de juntas anaeróbicos diferentes, ensayados bajo diversas condiciones.

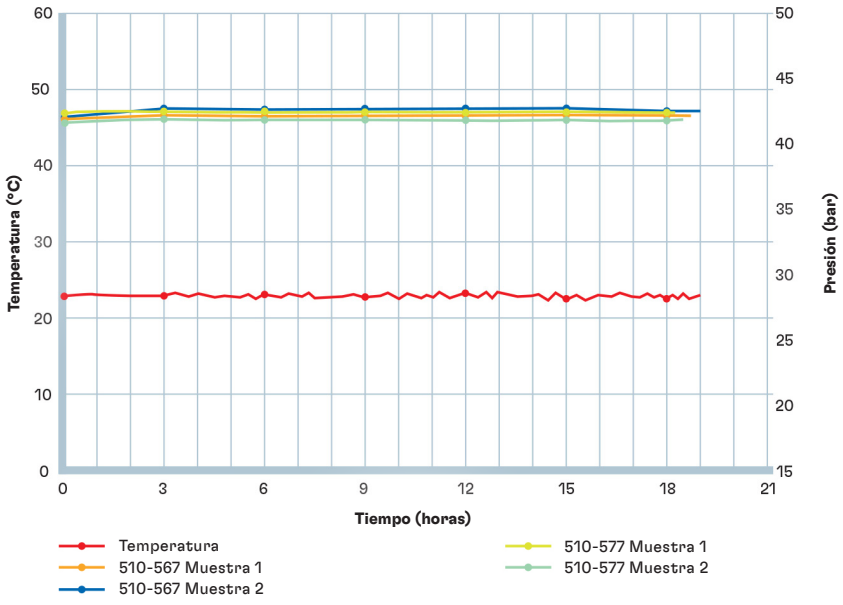
La temperatura y la presión se registraron a lo largo de cada uno de los ensayos. Los gráficos se proporcionan para ilustrar el rendimiento de sellado de cada fijación, y estos se han agrupado bajo el título “Sellador A” para minimizar el número de gráficos requeridos para representar los datos. El volumen de gas en el sistema era muy pequeño, por lo que cualquier caída de presión se notaría.



LOCTITE 510

La figura 4 muestra la gráfica de presión y temperatura en función del tiempo para el ensayo de fuga de 18 horas a una presión de 41 bar con hidrógeno. Como no se detectaron fugas, se empezó el segundo paso.

FIGURA 4: Gráfico de temperatura y presión para LOCTITE 510 a 41 bares de presión y a temperatura ambiente.



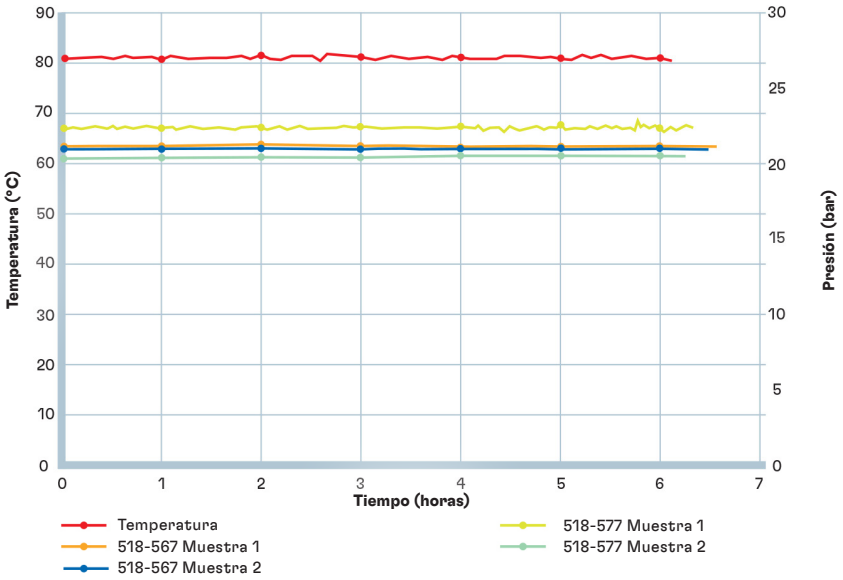


LOCTITE 518

La figura 5 muestra la gráfica de temperatura y presión a una presión de 20 bar y 80 °C. No se observó ninguna disminución de presión, por lo que se puede concluir que no hubo fugas.

La muestra 1 de LOCTITE 518-577 se presurizó inadvertidamente a la presión más alta. Sin embargo, se mantuvo estable, por lo que se decidió no reducir la presión.

FIGURA 5: Gráfica de temperatura y presión para LOCTITE 518 a una presión de 20 bar y 80 °C.

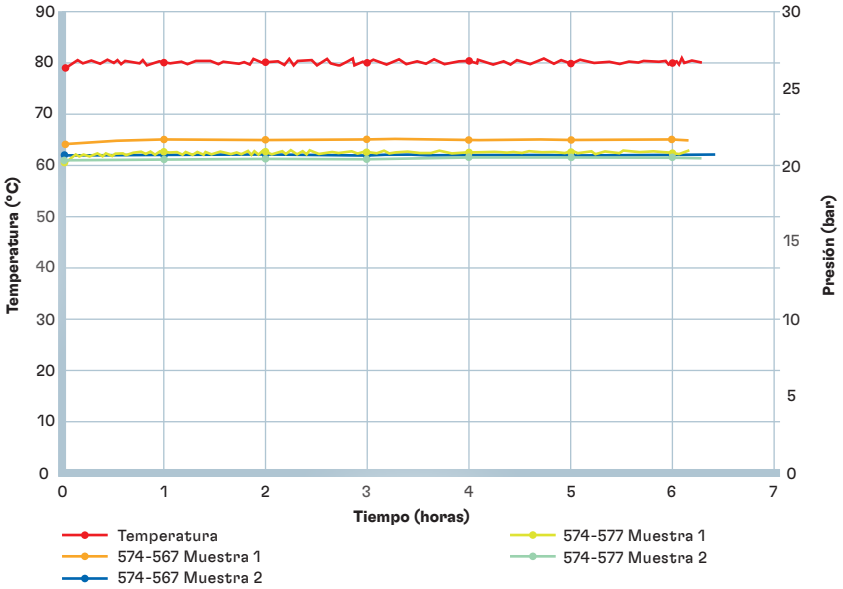




LOCTITE 574

En la figura 6 se muestra el gráfico de temperatura y presión. La presión se ajustó a 20 bar manteniendo una temperatura de 80 °C. No hubo una disminución aparente en la presión, por lo que se puede concluir que no hubo fugas. Algunas muestras se presurizaron a la presión más alta. Sin embargo, se mantuvieron estables, por lo que se decidió no reducir la presión.

FIGURA 6: Gráfico de temperatura y presión para LOCTITE 574 a 20 bares de presión y a 80 °C.



CONCLUSIÓN

- Los ensayos de fuga, descritos en este documento, se realizaron para demostrar que los formadores de juntas anaeróbicos probados proporcionan una solución de sellado eficaz para evitar fugas de hidrógeno en montajes de bridas metálicas rígidas con caras planas.
- Se utilizaron transductores de presión para medir la presión, proporcionando una salida eléctrica calibrada para dar una lectura de presión precisa entre 0,05 y 0,1 bar.
- Todas las muestras se ensayaron satisfactoriamente. El volumen interno del montaje era de aproximadamente 30 ml, por lo que cualquier fuga formada daría lugar a una caída de presión perceptible. No se produjeron caídas de presión en las muestras ensayadas a las presiones consideradas.
- Se puede concluir que los formadores de juntas anaeróbicos sellaron con éxito el hidrógeno gaseoso a presiones de hasta 41 bar (595 psi) en bridas metálicas. Como estos productos curan formando un polímero termoestable, se espera que puedan sellar incluso a presiones más altas, aunque esto no ha sido posible probarlo con el equipo disponible y con las resistencias de los componentes utilizados.
- Los ensayos realizadas también demostraron la capacidad de los selladores de roscas probados para funcionar en tamaños de racores mayores que los previamente ensayados, proporcionando un alto nivel de flexibilidad operativa para la tecnología en diferentes tamaños y temperaturas. Todos los productos ensayados presentan normalmente una resistencia térmica mucho más alta, lo que les permite adaptarse a diferentes aplicaciones y condiciones de funcionamiento.
- Para un sellado adecuado del hidrógeno, es importante que las superficies estén correctamente preparadas, que el producto se aplique de forma adecuada y que no haya piezas dañadas.
- Los formadores de juntas evaluados en este informe proporcionan un método rentable y fiable para sellar bridas metálicas rígidas con caras planas para su uso con hidrógeno gaseoso. Los selladores anaeróbicos también ofrecen una capa adicional de seguridad para el sellado de conexiones roscadas al prevenir el autoaflojamiento, lo cual es importante dados los riesgos de inflamabilidad asociados con el hidrógeno gaseoso.
- Si estás interesado en los resultados de estos ensayos o en obtener más información sobre estos productos para su aplicación, no dudes en ponerte en contacto con los autores de este documento o con tu comercial de Henkel.





REFERENCIAS

[1] Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana (ARPAT) “L’idrogeno nello scenario energetico verso la decarbonizzazione,” agosto de 2023.

[2] RSE report “Hydrogen. An Energy Carrier for Decarbonization,” enero de 2021.

[3] International Energy Agency (IEA, 2019), “The Future of Hydrogen,” junio de 2019.

[4] Ramón A. Álvarez, Daniel Zavala-Araiza, David R. Lyon, David T. Allen, Zachary R. Barkley, Adam R. Brandt, Kenneth J. Davis, Scott C. Herndon, Daniel J. Jacob, Anna Karion, Eric A. Kort, Brian K. Lamb, Thomas Lauvaux, Joannes D. Maasakkers, Anthony J. Marchese, Mark Omara, Stephen W. Pacala, Jeff Peischl, Allen L. Robinson, Paul B. Shepson, Colm Sweeney, Amy Townsend-Small, Steven C. Wofsy, and Steven P. Hamburg, “Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain,” American Journal of Science, junio de 2018.

[5] Nicola Warwick, Paul Griffiths, James Keeble, Alexander Archibald, John Pyle, University of Cambridge and NCAS, and Keith Shine, University of Reading, “Atmospheric Implications of Increased Hydrogen Use,” UK government, abril de 2022.

[6] European Industrial Gases Association (EIGA), “HYDROGEN PIPELINE SYSTEMS,” IGC Doc 121/14, 2014.

[7] The American Society of Mechanical Engineers (ASME), “Hydrogen Piping and Pipelines,” B31.12-2023.

[8] Ged McGurk, Mike Feeney, Siva Ayadurai, Oliver Droste, white paper “High pressure leak prevention – improved performance and reliability from anaerobic thread sealing compounds,” marzo de 2016.

[9] Simone Zanetti, Mike Feeney, David Condron, white paper “Hydrogen Sealing Solutions and Leak Prevention,” 2024.

[10] ASME B16.20: Norma para juntas metálicas para bridas de tuberías.

[11] ASME B31.12-2023: Norma para tuberías y canalizaciones de hidrógeno.

[12] ISO 15848: Válvulas industriales — Procedimientos de medición, ensayo y calificación para emisiones fugitivas.



Henkel Ibérica S. A.

C/ Bilbao n.º 72 - 84
08005 Barcelona
España

Departamento técnico

Tel. 93 290 49 05
tecnico.industria@henkel.com

Atención al cliente

Tel. 93 290 44 86
cs.industria@henkel.com

next.henkel-adhesives.com/es

Los datos que figuran en el presente documento tienen carácter exclusivamente informativo. Por favor contacta con el departamento técnico de Henkel para realizar cualquier consulta sobre las especificaciones técnicas de estos productos.
Salvo que se indique lo contrario, todas las marcas utilizadas en este documento son marcas comerciales y/o marcas comerciales registradas de Henkel y/o sus filiales en EE. UU., Alemania y demás países.
© Henkel AG & Co. KGaA, 2025