

# SOLUCIONES DE SELLADO DE ROSCAS Y PREVENCIÓN DE FUGAS LISTAS PARA HIDRÓGENO

**SIMONE ZANETTI**, Ingeniería de Aplicaciones, Henkel Italia

**MIKE FEENEY**, Ingeniería de Aplicaciones, Henkel Canadá

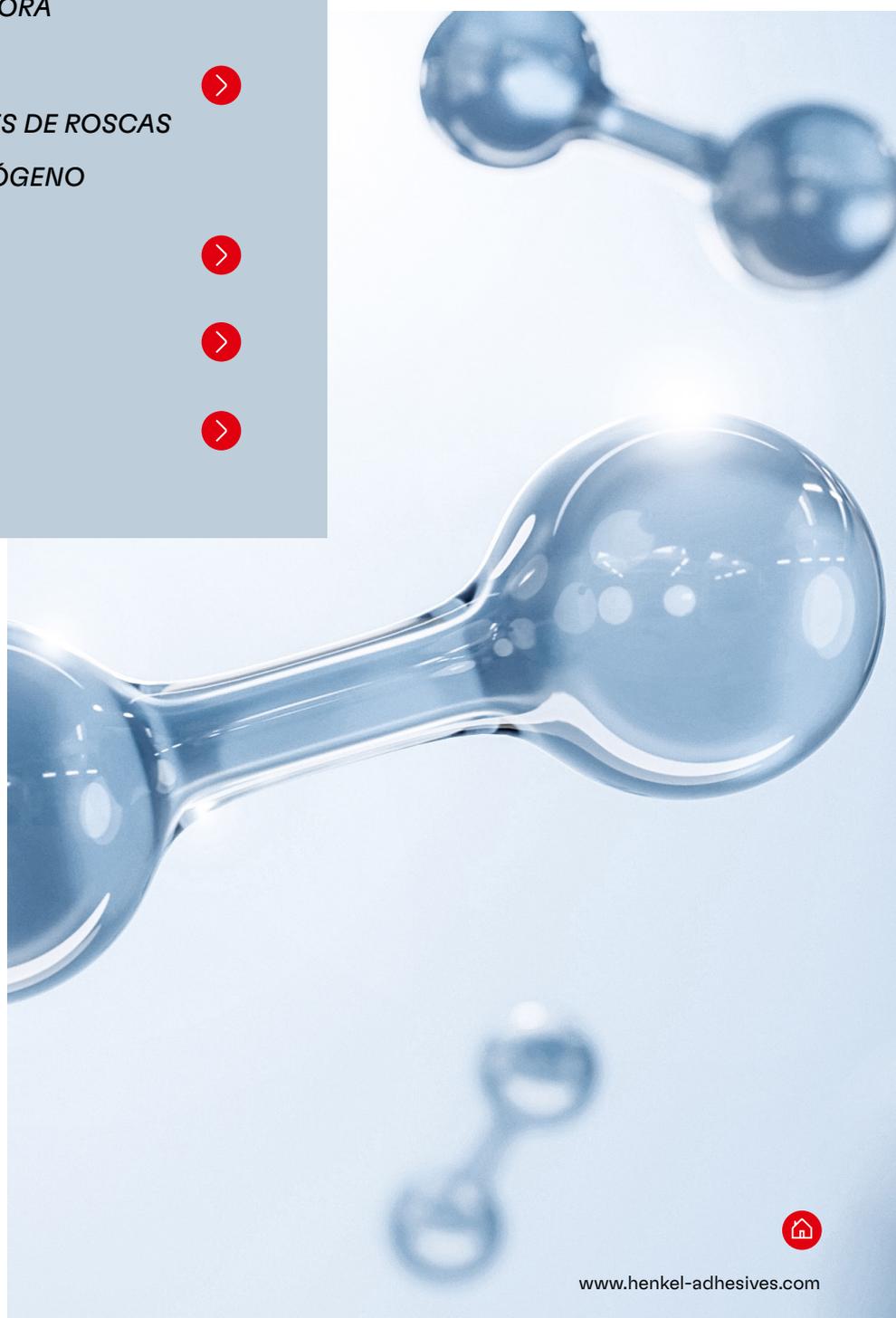
**DAVID CONDRON**, Desarrollo de Productos, Henkel Irlanda

• DOCUMENTO TÉCNICO



# CONTENIDO

- 02**    **RESUMEN EJECUTIVO**    >
- 03**    **INTRODUCCIÓN**  
EL HIDRÓGENO: UNA SOLUCIÓN  
ENERGÉTICA PROMETEDORA    >
- 04**    **MÉTODO DE PRUEBA**  
PRUEBAS DE SELLADORES DE ROSCAS  
PARA LA PREVENCIÓN  
DE FUGAS DE GAS HIDRÓGENO    >
- 07**    **RESULTADOS**    >
- 09**    **CONCLUSIÓN**    >
- 10**    **REFERENCIAS**    >



# RESUMEN EJECUTIVO

**En una época marcada por el creciente énfasis en la sostenibilidad y la búsqueda de alternativas energéticas limpias, el hidrógeno verde se presenta como una solución especialmente atractiva. Sin embargo, durante todo su ciclo de vida, desde la producción hasta la distribución, es imprescindible minimizar o erradicar las fugas, lo que supone una carga económica adicional a los riesgos potenciales para la seguridad.**

Ante los desafíos planteados por el diminuto tamaño de las moléculas de hidrógeno, establecer conexiones manteniendo el sellado se convierte en una tarea formidable. Las conexiones roscadas suelen evitarse en los equipos relacionados con el hidrógeno. En su lugar, los ingenieros recurren con frecuencia a costosos procesos de ensamblaje, como la soldadura de juntas, o a la adopción de métodos de conexión más caros. En este estudio, mostramos la eficacia de los selladores de roscas anaeróbicos y del cordón sellador de roscas como soluciones excepcionales para prevenir eficazmente las fugas en las uniones roscadas, ofreciendo una contribución fundamental a la integración sin problemas del hidrógeno verde en nuestra búsqueda de soluciones energéticas sostenibles.



# INTRODUCCIÓN

# EL HIDRÓGENO: UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA

**El hidrógeno proporciona un medio útil para almacenar y transportar energía. El hidrógeno en su forma molecular pura (H<sub>2</sub>) es escaso en nuestro planeta, por lo que debe producirse, ya sea a partir del agua por electrólisis o del gas natural y el carbón. En determinadas condiciones, que dependen de la forma en que se produzca, el hidrógeno puede ser una solución energética sostenible y sustituir o reemplazar a fuentes de energía que tienen un mayor impacto en el medioambiente.**

Según el informe del RSE “Hidrógeno. Un vector energético para la descarbonización”, el hidrógeno verde figura entre las principales opciones para la descarbonización completa del sistema energético para el 2050. La Comisión Europea prevé que el uso de hidrógeno verde crezca hasta un 13-14 % de la economía energética para el 2050; la Agencia Internacional de Energía pronostica que habrá unos 2,5 millones de automóviles impulsados por hidrógeno en todo el mundo para el 2030.

**El desarrollo de este sector se ve ciertamente favorecido por algunas características intrínsecas del hidrógeno que pueden resumirse del siguiente modo:**

- › Es el elemento más abundante en la naturaleza (más del 90 % de la materia del universo está hecha de hidrógeno) y la Tierra es muy rica en este elemento; basta pensar en el hecho de que cada molécula de agua contiene dos átomos de hidrógeno.
- › Es un gas altamente inflamable que no emite CO<sub>2</sub> y cuyos productos de combustión son agua y calor.
- › Tiene una alta densidad energética (120 MJ/kg, frente a los 55,6 MJ/kg del metano, los 47,3 MJ/kg de la gasolina y los 44,8 MJ/kg del gasóleo).
- › Es posible almacenarlo en grandes cantidades y por períodos prolongados.

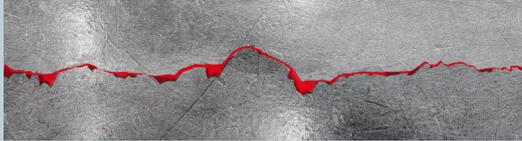
El hidrógeno tiene un enorme potencial de aplicación: desde su uso tradicional como reactivo en industrias pesadas (fundición, siderúrgica, química, petroquímica, fertilizantes y minería), hasta su empleo en la generación de calor industrial en sectores de difícil abatimiento (por ejemplo, fábricas textiles o papeleras), la generación y el almacenamiento de electricidad y la propulsión de

transportes pesados. El citado informe del RSE predice que para el 2050 el hidrógeno se introducirá cada vez más en usos no tradicionales.

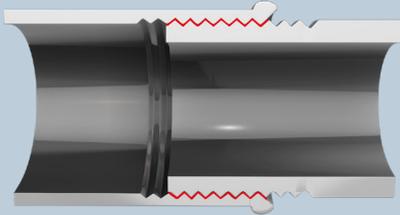
Según datos de la Agencia Internacional de Energía, cada año se producen 70 millones de toneladas de hidrógeno: El 76 % a partir de gas natural, el 22 % a partir de carbón y el 2 % a partir de la electrólisis del agua (IEA, 2019). Por lo tanto, no todo el hidrógeno es igual; según cómo se produzca, adopta convencionalmente un color diferente. Hablamos así de hidrógeno gris si se produce mediante la combustión de fuentes fósiles y, por tanto, emite dióxido de carbono; de hidrógeno azul si se produce a partir de fuentes fósiles, pero con sistemas de captura de carbono, que pueden así reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de las plantas contaminantes o eliminarlas directamente de la atmósfera; de hidrógeno verde si se produce mediante energías renovables (solar y eólica, por ejemplo); y de hidrógeno morado si se produce mediante energía nuclear. Por lo tanto, no se puede hablar genéricamente del hidrógeno, sino que hay que estudiar y trazar su cadena de producción.

En la Estrategia Europea del Hidrógeno, la prioridad para alcanzar los objetivos de neutralidad de carbono

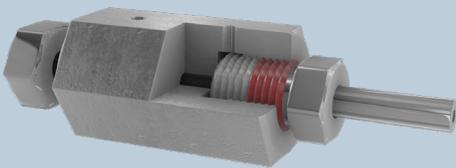




Todos los materiales metálicos, por muy finamente procesados que estén, presentan rugosidades superficiales. Por lo tanto, incluso en ajustes precisos como los de interferencia, habrá puntos de contacto y huecos entre las piezas. Esto puede crear vías de escape, especialmente para moléculas pequeñas como las de hidrógeno. Una vez aplicados, los adhesivos anaeróbicos se distribuyen uniformemente, rellorando todos los espacios y creando un contacto del 100 % entre las piezas, lo que garantiza un sellado completo y confiable.



En las conexiones metálicas, nunca hay un contacto completo entre las piezas; de lo contrario, sería imposible ensamblar las conexiones. Por esta razón, es esencial aplicar uniformemente productos que puedan rellenar los espacios y crear un sellado completo, lo que evita fugas. Las soluciones anaeróbicas, así como LOCTITE 55, ofrecen una solución confiable y duradera para sellar incluso las moléculas más pequeñas, como el hidrógeno.



Una vez que el adhesivo anaeróbico se aplica a una conexión roscada, se distribuye uniformemente durante el montaje, lo que crea un área de contacto completa y uniforme, garantizando un sellado seguro y confiable.

Las energías renovables, especialmente la eólica y la solar, no son predecibles ni programables: los paneles solares, por ejemplo, solo funcionan eficazmente con luz diurna y durante el período de verano; las turbinas eólicas solo funcionan en presencia de viento. De este modo, en ausencia de determinadas condiciones meteorológicas, los sistemas se detienen y no producen energía. También hay momentos en los que se genera un exceso de producción de energía, y a menudo es necesario limitar la producción de energía debido a la falta de capacidad de almacenamiento. Por ello, el hidrógeno podría ser el complemento perfecto de la generación de energía renovable, ya que proporciona un medio para almacenar este exceso de energía para su uso posterior.

**Para resolver el problema del almacenamiento estacional, la solución más limpia y eficiente es utilizar la energía de fuentes renovables para producir electricidad, que luego puede utilizarse en un electrolizador que convierta el agua en hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno generado puede distribuirse inmediatamente a través de las redes de gas natural o almacenarse en tanques y volver a convertirse en electricidad, pero también en energía térmica, cuando sea necesario. Se trata de un circuito cerrado que se autoalimenta y puede aplicarse a nivel industrial e incluso a nivel de ciudad inteligente.**

Junto con los desafíos asociados al almacenamiento del hidrógeno, el transporte es también uno de los temas esenciales en la transición al hidrógeno, sobre todo porque hay que garantizar su sostenibilidad. Hoy en día, el hidrógeno se transporta de varias formas: como gas comprimido en cilindros, licuado en tanques criogénicos y por tuberías de hidrógeno. El transporte en tuberías específicas o en mezcla con gas natural parece ser, al menos en teoría, la opción más razonable.

Las fugas de hidrógeno son un grave desafío para las tuberías de gas natural. Dado que el hidrógeno puede filtrarse incluso con más facilidad que el metano a través de los más pequeños agujeros, grietas y costuras de soldadura, el transporte y eventual almacenamiento de este gas es un obstáculo importante para su adopción generalizada como combustible y materia prima. La permeabilidad y la fragilización por hidrógeno no hacen sino agravar el problema.

El índice de fugas de gas natural ya es superior al estimado por la Agencia de Protección del Medioambiente. Una investigación publicada en el American Journal of Science descubrió que las pérdidas en la cadena de suministro de metano de Estados Unidos en el 2015 fueron del 2,3 % de la producción bruta, aproximadamente un 60 %



# SOLUCIONES DE SELLADO RENTABLES PARA CONEXIONES ROSCADAS EN TUBERÍAS DE HIDRÓGENO

Por estas razones, a menudo se recomienda soldar las conexiones roscadas o evitarlas por completo. Esto introduce costos significativos en un sistema debido a componentes más caros como alternativas a las conexiones roscadas o a la mano de obra calificada necesaria para realizar la soldadura de las juntas. Estos costos pueden evitarse o reducirse si se utiliza un sellador adecuado para obtener un sellado confiable con conexiones roscadas estandarizadas y fácilmente disponibles. Las directrices proporcionadas por el código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) para tuberías y conductos de hidrógeno (B31.12-2023) permiten las conexiones roscadas. Las juntas de rosca cónica (NPT de acuerdo con ASME B1.20.1) pueden utilizarse en sistemas con presiones de diseño inferiores a 20 670 kPa (3000 psig) y hasta 48 280 kPa (7000 psig) cuando así lo especifique el diseño de ingeniería (ASME, 2023).

Los adhesivos y sellantes anaeróbicos son adecuados como solución de sellado para el gas hidrógeno. Son adhesivos reactivos que curan rápidamente y se convierten en un

plástico termoestable cuando entran en contacto con superficies metálicas en ausencia de aire.

Las roscas metálicas muy ajustadas crean unas condiciones de curado casi perfectas, por lo que estos materiales son compuestos ideales para el sellado de roscas, lo que supera muchas de las limitaciones de los métodos de sellado tradicionales. Cuando se aplican a las roscas en estado líquido, pueden rellenar cualquier espacio o imperfección entre las roscas en contacto. Cuando el material queda confinado entre las cuerdas metálicas, no hay oxígeno suficiente para mantenerlo estable en estado líquido, por lo que la polimerización rápida 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 roscas, el conjunto puede alinearse inicialmente con cualquier orientación y cualquier exceso de material que salga de la junta puede limpiarse fácilmente. Esto significa que la junta tiene un aspecto limpio y ofrece resistencia al aflojamiento por vibración, a temperaturas de hasta 200 °C y a presiones de



# MÉTODO DE PRUEBA

# PRUEBAS DE

# SELLADORES DE ROSCAS

# PARA LA PREVENCIÓN DE

Para demostrar la compatibilidad y eficacia de las soluciones de sellado, Henkel diseñó un experimento y contrató a un laboratorio externo para realizar una prueba de fugas de gas hidrógeno a baja presión en tres materiales de sellado de roscas diferentes utilizando el método de caída de presión. Además, los selladores se utilizaron en ensamblajes que empleaban tanto roscas American National Standard Taper Pipe (NPT) como roscas British Standard Pipe Taper (BSPT), que son los tipos de rosca para tuberías más comunes en todo el mundo. Todos los conjuntos se fabricaron con componentes de acero inoxidable 304, ya que las aleaciones de la serie 300 son las más utilizadas en los sistemas de tuberías de transporte de gas (Asociación Europea de Gases Industriales, 2014).

Dado que no existen estándares de referencia en relación con las pruebas de selladores de hidrógeno, creamos un montaje de prueba basado en los estándares disponibles, como ASTM D6396 (Método de prueba estándar para pruebas de sellantes de roscas de tuberías en tes de tuberías), ASTM D1599 (Método de prueba estándar para la resistencia a la presión hidráulica de corta duración de tuberías, tubos y accesorios de plástico), LOCTITE STM 772 (basado en las dos ASTM anteriores), y EN 751-1 (Materiales selladores para juntas roscadas metálicas en contacto con gases de la 1.ª, 2.ª y 3.ª familia y agua caliente - Parte 1: compuestos de unión anaeróbicos).

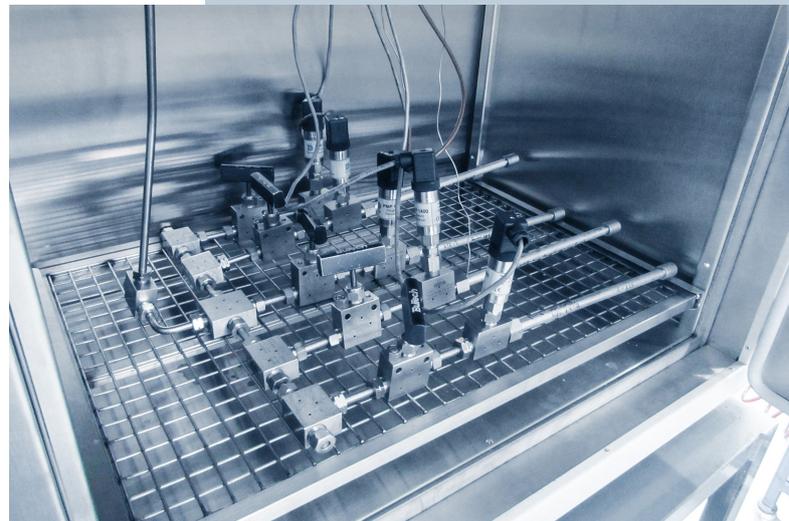
A partir de estos estándares, creamos una herramienta y definimos los parámetros de las pruebas.

Se seleccionaron dos tipos de selladores de roscas para las pruebas: selladores de roscas anaeróbicos (LOCTITE 577 y LOCTITE 567) y un cordón sellador de roscas no endurecedor (LOCTITE 55).

LOCTITE 577 es el sellador anaeróbico más común para BSPT u otras conexiones de rosca recta (paralela) a cónica, mientras que LOCTITE 567 es el sellante anaeróbico más común para NPT, conexiones de rosca cónica a cónica.

LOCTITE 55 es el cordón sellador no endurecedor más común y se utiliza a menudo en aplicaciones que requieren pequeños ajustes antes de su uso. Los tres selladores ya están certificados de conformidad con, al menos, una homologación regional para gas natural. Dado que se está estudiando la posibilidad de mezclar hidrógeno con gas natural en la infraestructura de gas natural existente, se trataba de una consideración importante.

La prueba consistió en dos etapas de presión. Concretamente, para LOCTITE 55, la presión probada fue de 9 bar (131 psi) con un aumento a 10,3 bar (150 psi), mientras que para LOCTITE 567 y 577, la presión probada fue de 20 bar (300 psi) con un aumento a 31 bar (450 psi).



**FIGURA 1:**  
Configuración de la prueba

# RESULTADOS

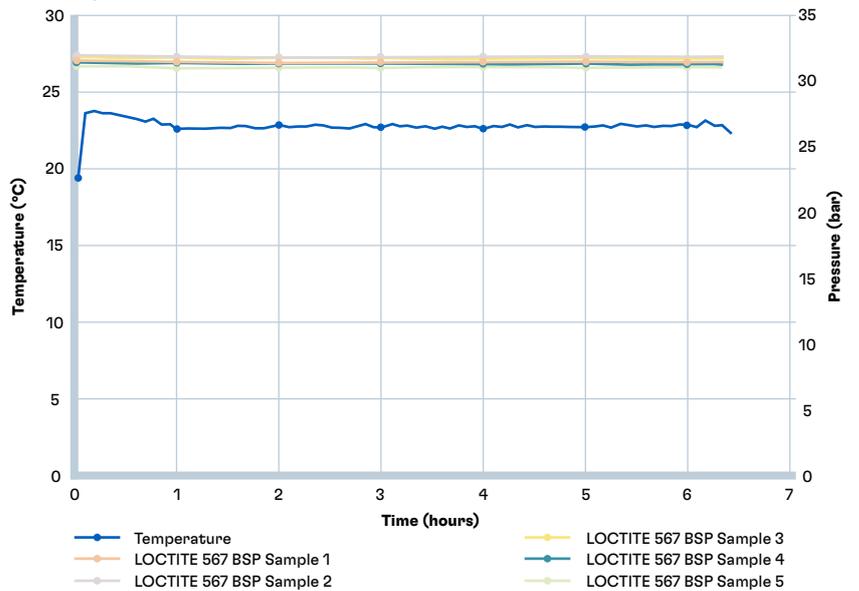
La temperatura y la presión se registraron durante cada una de las pruebas. Se trazaron puntos para identificar cualquier fuga para cada uno de los materiales de sellado de roscas. El volumen de gas en el sistema era muy pequeño, por lo que cualquier caída de presión sería perceptible.



## LOCTITE 567

La Figura 2 resume los resultados obtenidos para LOCTITE 567 en una condición de prueba de presión. En concreto, el gráfico muestra la presión y la temperatura en comparación con la prueba de fugas de hidrógeno a 31 bares para las muestras de conexiones BSPT. No se observó ninguna disminución en la presión, por lo que no hubo fugas.

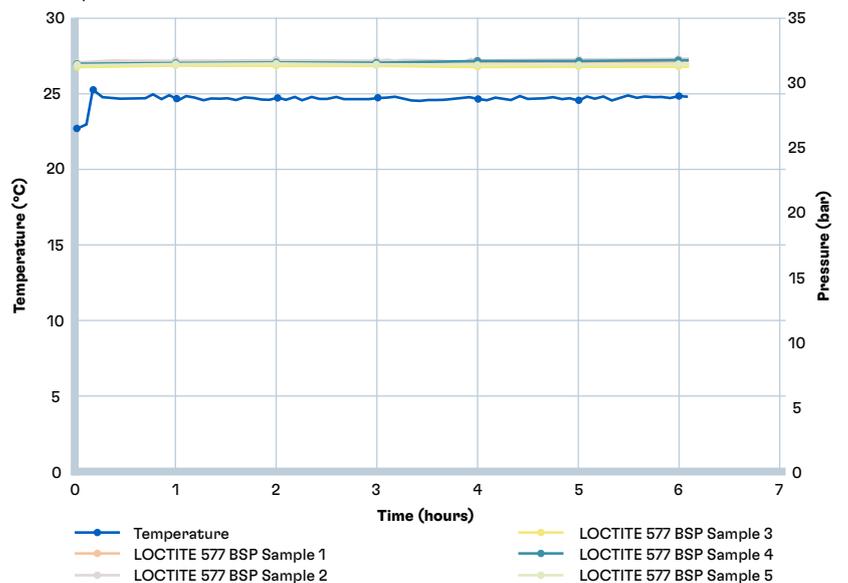
FIGURA 2: Gráfico de temperatura y presión para la conexión BSPT con LOCTITE 567 a 31 bares de presión



## LOCTITE 577

La Figura 3 resume los resultados obtenidos para LOCTITE 577 en una condición de prueba de presión. En concreto, el gráfico muestra la presión y la temperatura en comparación con la prueba de fugas de hidrógeno a 31 bares para las muestras de conexiones BSPT. No se observó ninguna disminución en la presión, por lo que no hubo fugas.

FIGURA 3: Gráfico de temperatura y presión para la conexión LOCTITE 577 BSPT a 31 bares de presión

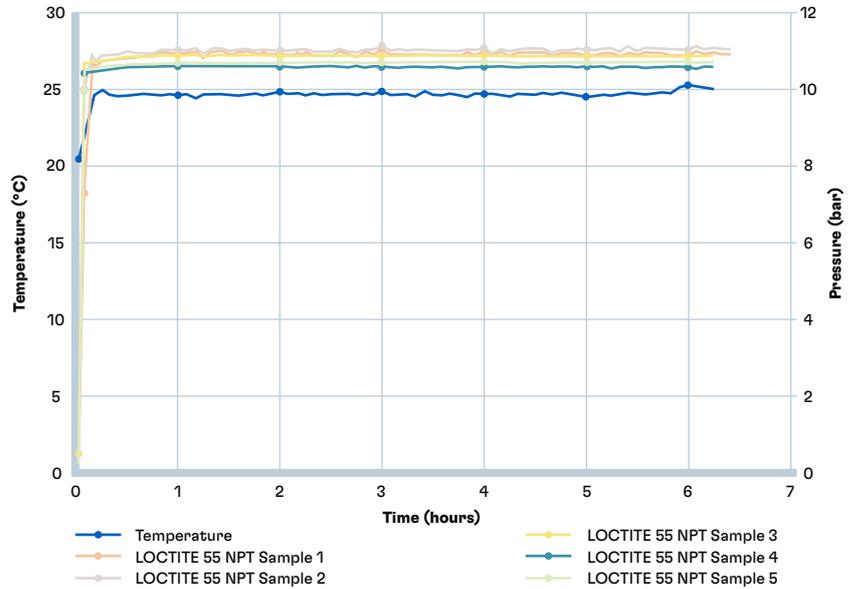




**LOCTITE 55**

La Figura 4 resume los resultados obtenidos para LOCTITE 55 en una condición de prueba de presión. Concretamente, muestra el gráfico de temperatura y presión en la segunda condición de prueba de presión de 10,3 bar para la conexión NPT. No hubo una disminución aparente en la presión, por lo que se puede concluir que no

FIGURA 4: Gráfico de temperatura y presión para la conexión LOCTITE 55 NPT a 10.3 bares de



**TABLA DE RESUMEN**

La Figura 5 ilustra todos los resultados obtenidos en las pruebas a diferentes presiones y para diferentes tipos de conexiones NPT y BSPT:

Montaje de prueba	Sellador	Presión de prueba (paso 1)		Presión de prueba (paso 2)	Gas de prueba
<b>¼" NPT: acero inoxidable 304</b> • Boquilla de tubería (10" de largo) • Conector • Tapón	LOCTITE 55	131 psi (9 bar)	✓	150 psi (10,3 bar)	✓
	LOCTITE 567	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓
	LOCTITE 577	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓
<b>¼" BSPT: acero inoxidable 304</b> • Boquilla de tubería (12" de largo) • Conector	LOCTITE 55	131 psi (9 bar)	✓	150 psi (10,3 bar)	✓
	LOCTITE 567	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓
	LOCTITE 577	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓

FIGURA 5: Tabla de resumen de los resultados de la prueba

# CONCLUSIÓN

- › Las pruebas de sellado descritas en este documento se realizaron a fin de demostrar cómo los selladores de roscas anaeróbicos y los productos de cordón sellador de roscas LOCTITE 55 proporcionan una solución de sellado eficaz para la prevención de fugas de hidrógeno en conexiones roscadas.
- › Se utilizaron transductores de presión para medir la presión, proporcionando una salida eléctrica calibrada para dar una lectura de presión con una precisión de entre 0,05 y 0,1 bar.
- › Todas las muestras se probaron con éxito. No se produjeron caídas de presión significativas en ninguna de las muestras probadas a ninguna de las presiones consideradas.
- › Se puede concluir que el cordón sellador de roscas no polimerizable LOCTITE 55 ofrece una solución para el sellado de gas hidrógeno a bajas presiones de hasta 10 bar (150 psi) en conexiones NPT y BSPT.
- › Los selladores de roscas de curado anaeróbico sellaron con éxito gas hidrógeno a una presión de 31 bar (450 psi) en conexiones NPT y BSPT. Como estos productos se curan para formar un polímero termoestable, se espera que puedan sellar a presiones aún más altas, aunque esto no fue posible utilizando el equipo de pruebas disponible.
- › Todos los productos probados aquí, junto con LOCTITE 570 y LOCTITE 638, también han sido probados y certificados por Kiwa para aplicaciones de sellado de hidrógeno, según AR 214. Kiwa NV es una institución con sede en Europa que se especializa en pruebas, inspección y certificación.
- › Los selladores evaluados en este informe proporcionan un método cómodo, confiable y rentable de sellado de accesorios roscados para su uso con gas hidrógeno. Los selladores anaeróbicos de roscas también ofrecen una capa adicional de seguridad para el sellado de las conexiones roscadas, ya que evitan el autoaflojamiento, lo cual es importante dados los riesgos de inflamabilidad asociados al gas hidrógeno.
- › Las soluciones anaeróbicas de sellado de roscas también se han utilizado en aplicaciones de hidrógeno a alta presión. Sabemos de clientes que utilizan nuestros selladores anaeróbicos hasta a 1000 bar en sus aplicaciones de sellado de roscas de hidrógeno. En el momento de redactar este documento, Henkel está realizando pruebas de laboratorio en



# REFERENCIAS

- [1] RSE report 'Hydrogen. An Energy Carrier for Decarbonization', Enero del 2021
- [2] International Energy Agency (IEA) 'The Future of Hydrogen' Junio del 2019
- [3] Ramón A. Alvarez, 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. Maasackers, 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 del 2018
- [4] 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 del 2022
- [5] European Industrial Gases Association (EIGA), 'Hydrogen Pipeline Systems', IGC Doc 121/14, 2014
- [6] American Society of Mechanical Engineers, 'Hydrogen Piping and Pipelines', B31.12-2023
- [7] Ged McGurk, Mike Feeney, Siva Ayadurai, Oliver Droste, white paper 'High pressure leak prevention – improved performance and reliability from anaerobic thread sealing compounds', Marzo del 2016



Henkel Corporation  
Adhesivos de ingeniería  
One Henkel Way  
Rocky Hill, Connecticut 06067  
Tel.: 1-800-LOCTITE (562-8483)  
Tel.: 860-571-5100  
Fax: 860-571-5465



Henkel Adhesive Technologies

