

HYDROGEN READY SOLUCIONES DE SELLADO DE ROSCAS Y PREVENCIÓN DE FUGAS

SIMONE ZANETTI, Ingeniero de aplicaciones, Henkel Italia

MIKE FEENEY, Ingeniero de aplicaciones, Henkel Canadá

DAVID CONDRON, Desarrollo de productos, Henkel Irlanda

• DOCUMENTO TÉCNICO

CONTENIDOS

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



RESUMEN

En una era marcada por una creciente importancia de la sostenibilidad y la búsqueda de alternativas de energía limpia, el hidrógeno verde emerge como una solución particularmente atractiva. Sin embargo, a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la producción hasta la distribución, el imperativo de minimizar o erradicar sus fugas es crucial, ya que genera costes económicos además de los posibles riesgos para la seguridad.

Sellar las uniones roscadas, para que las diminutas moléculas de hidrógeno no fuguen, es un gran desafío. A menudo las conexiones roscadas se evitan en equipos relacionados con el hidrógeno. En su lugar, los ingenieros recurren frecuentemente a costosos procesos de montaje, como la soldadura de sellado o métodos de conexión más caros. En este estudio, demostramos la eficacia de los selladores anaeróbicos y del hilo sellador como excelentes soluciones 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

HIDRÓGENO: UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA PROMETEDORA

El hidrógeno proporciona una forma útil de almacenar y de transportar energía. El hidrógeno es su forma molecular pura (H₂) es raro en nuestro planeta y, por lo tanto, debe producirse ya sea a partir de agua por electrólisis o a partir de gas natural y carbón. Bajo ciertas condiciones, que dependen de la forma en que se produce, el hidrógeno puede ser una solución energética sostenible y puede sustituir o reemplazar fuentes de energía que tienen un mayor impacto ambiental.

Según el informe de RSE titulado “Hidrógeno: Un vector energético para la descarbonización”, el hidrógeno verde se encuentra entre las principales opciones para la descarbonización completa del sistema energético para 2050. La Comisión Europea predice que para 2050 el uso de hidrógeno verde crecerá hasta el 13-14 por ciento de la economía energética; la Agencia Internacional de Energía pronostica que para 2030 habrá alrededor de 2,5 millones de coches propulsados por hidrógeno en todo el mundo.

El desarrollo de este sector se ve favorecido por ciertas características intrínsecas del hidrógeno que se pueden resumir de la siguiente manera:

- › Es el elemento más abundante en la naturaleza (más del 90 por ciento de la materia en el universo está compuesta 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 CO₂ y cuyos productos de combustión son agua y calor.
- › Tiene una alta densidad energética (120 MJ/kg, en comparación con 55,6 MJ/kg para el metano, 47,3 MJ/kg para la gasolina y 44,8 MJ/kg para el diésel).
- › Es posible almacenarlo en grandes cantidades y durante períodos prolongados.



El hidrógeno tiene un enorme potencial de aplicación: desde su uso tradicional como reactivo en industrias pesadas (fundiciones, siderurgia, química, petroquímica, fertilizantes y empresas de oro), hasta su uso en la generación de calor industrial en sectores difíciles de descarbonizar (por ejemplo, fábricas textiles o de papel), la generación y el almacenamiento de electricidad, y la alimentación del transporte pesado. El informe RSE antes mencionado predice que para 2050 el hidrógeno se introducirá cada vez más para usos no tradicionales.

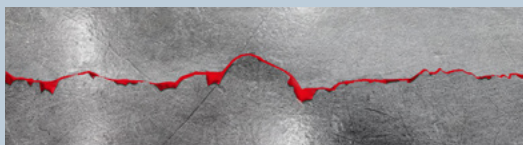
Según datos de la Agencia Internacional de Energía, se producen 70 millones de toneladas de hidrógeno cada año:

76 por ciento a partir de gas natural, 22 por ciento a partir de carbón y 2 por ciento a partir de electrólisis del agua (IEA, 2019). Por lo tanto, no todo el hidrógeno es igual; dependiendo de cómo se produce, convencionalmente adquiere un color diferente. Se habla de hidrógeno gris si se produce por la combustión de fuentes fósiles y, por lo 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 con energía renovable (por ejemplo, solar y eólica) y de hidrógeno púrpura si se produce con energía nuclear. Por lo tanto, no se puede hablar genéricamente del hidrógeno, sino que se debe estudiar y rastrear su cadena de producción.

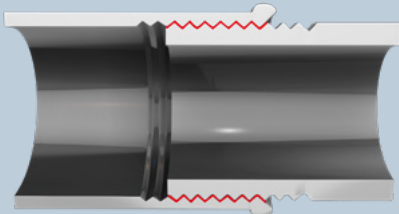
En la Estrategia Europea del Hidrógeno, la prioridad para alcanzar los objetivos de neutralidad de carbono para 2050 es desarrollar el hidrógeno verde a largo plazo, fomentando un sistema energético integrado, y el hidrógeno azul en la fase de transición a corto y medio plazo, que puede reducir rápidamente las emisiones de la producción de hidrógeno, y perseguir el desarrollo de un mercado sostenible a escala significativa. Claramente, la integración de fuentes renovables en la producción de hidrógeno juega un papel importante en este proceso. Las energías renovables, especialmente la eólica y la solar, no son predecibles ni programables: los paneles solares, por ejemplo, funcionan eficazmente solo durante el día y durante el período de verano; las turbinas eólicas funcionan solo en presencia de viento. Por lo tanto, en ausencia de ciertas condiciones climáticas, los sistemas se detienen y no producen energía. También hay momentos en que se produce un exceso de energía, y a menudo es necesario limitar su producción debido a la falta de capacidad para almacenarla. Por consiguiente, el hidrógeno podría ser el complemento perfecto para la generación de energía renovable, proporcionando un medio para almacenar este el exceso 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 se puede utilizar en un electrolizador para convertir agua en hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno generado se puede distribuir inmediatamente a través de las redes de gas natural o almacenarse en tanques y lue-

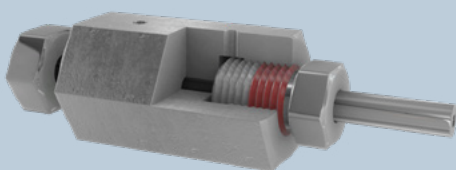




Todos los materiales metálicos, por finamente procesados que sean, tienen rugosidad superficial. Por lo tanto, incluso en ajustes precisos, como los ajustes por interferencia, habrá puntos de contacto y huecos entre las partes. Esto puede crear vías de escape, especialmente para moléculas pequeñas como las moléculas de hidrógeno. Una vez aplicados, los adhesivos anaeróbicos se distribuyen uniformemente, llenando todos los espacios y creando entre las partes un contacto del 100%, asegurando así un sellado completo y fiable.



En las conexiones metálicas, nunca hay un contacto completo entre las partes; de lo contrario, sería imposible ensamblarlas. Por esta razón, es esencial aplicar productos que puedan llenar los espacios y sellar completamente evitando fugas. Las soluciones anaeróbicas, así como LOC-TITE 55, ofrecen una solución fiable y duradera para sellar incluso las moléculas más pequeñas, como el hidrógeno.



Una vez que se aplica el adhesivo anaeróbico a una conexión roscada, se distribuye uniformemente durante el montaje, creando un área de contacto completa y uniforme, asegurando así un sellado seguro y fiable.

go convertirse de nuevo en electricidad, pero también en energía térmica, cuando sea necesario. Este es un circuito cerrado que se autoalimenta y se puede aplicar a nivel industrial e incluso a nivel de ciudad inteligente.

Junto con los desafíos asociados con el almacenamiento de hidrógeno, el transporte es también uno de los temas críticos en la transición al hidrógeno, principalmente porque se debe asegurar su sostenibilidad. En estos días, el hidrógeno se transporta en forma de gas comprimido en cilindros, en forma líquida en tanques criogénicos y por hidroductos. ¿En qué forma se transporta en los hidroductos? El transporte en tuberías especiales o en una mezcla con gas natural parece ser, al menos en teoría, la opción más razonable.

La fuga de hidrógeno es un desafío serio para los gasoductos de gas natural. Debido a que el hidrógeno puede filtrarse incluso más fácilmente que el metano a través de los orificios, grietas y costuras de soldadura más pequeños, el transporte y el eventual almacenamiento de este gas es un obstáculo importante para su adopción más amplia como combustible y materia prima. La permeación y fragilización por hidrógeno solo exacerban el problema.

La tasa de fuga de gas natural ya es más alta de lo estimado por la Agencia de Protección Ambiental. Una investigación publicada en el American Journal of Science encontró que en 2015 las pérdidas en la cadena de suministro de metano de EE. UU. fueron del 2,3 por ciento de la producción bruta, alrededor del 60 por ciento más altas que la estimación del inventario de la EPA (Álvarez et al., 2018). El documento técnico 'Implicaciones atmosféricas del aumento del uso de hidrógeno' (abril de 2022) encargado por el gobierno del Reino Unido y escrito por científicos de la Universidad de Cambridge y la Universidad de Reading afirma que es probable que las tasas de fuga de hidrógeno sean más altas porque las moléculas de H_2 son más pequeñas que las moléculas de CH_4 .



SOLUCIONES DE SELLADO RENTABLES PARA CONEXIONES ROSCADAS EN TUBERÍAS DE HIDRÓGENO

Por estas razones, a menudo se recomienda que las conexiones roscadas se suelden herméticamente o se eviten por completo. Esto introduce costos significativos debido a que habrá que utilizar componentes más caros, como alternativas a las conexiones roscadas, o a la mano de obra calificada que se necesita para realizar la soldadura hermética. Estos costos pueden evitarse o reducirse si se utiliza un sellador apropiado, para sellar de forma fiable las conexiones roscadas estándar y disponibles. Las directrices proporcionadas por el código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) para tuberías y tubos para el transporte de hidrógeno (B31.12-2023) permiten conexiones roscadas. Se pueden usar juntas de rosca cónica (NPT de acuerdo con ASME B1.20.1) en sistemas con presiones de diseño por debajo de 20.670 kPa (3.000 psig) y hasta 48.280 kPa (7.000 psig) cuando así lo especifique el diseño de ingeniería (ASME, 2023).

Los adhesivos y selladores anaeróbicos están bien posicionados para ofrecer una solución de sellado para el hidrógeno gaseoso. Son adhesivos reactivos que, al estar en contacto con superficies de metal y en ausencia de aire, curan rápidamente convirtiéndose en un plástico termoestable.

Las roscas metálicas ajustadas crean condiciones de curado casi perfectas y, por lo tanto, estos materiales son selladores de roscas ideales, superando muchas de las limitaciones de los métodos de sellado tradicionales. Como se aplican a las roscas en estado líquido, pueden llenar cualquier holgura o imperfección entre las roscas de unión. Cuando quedan confinados entre las roscas metálicas, no hay suficiente oxígeno para mantener el material estable en su estado líquido: la polimerización rápida crea entonces un plástico termoestable que proporciona una unión mecánica entre ambas partes. Dado que el rendimiento del sellado no depende de la compresión entre las roscas, el montaje se puede alinear inicialmente en cualquier orientación y cualquier exceso de material que se expulse de la unión se puede limpiar. Esto significa que la unión tiene una apariencia limpia y proporciona: resistencia al aflojamiento por vibración, a temperaturas de hasta 200 °C y a presiones hasta la presión de revenamiento de la mayoría de los sistemas. En el informe técnico de McGurk et al. se encuentra una explicación más a fondo sobre los selladores de roscas anaeróbicos y su capacidad para proporcionar una solución de sellado para gases y líquidos. [7].



MÉTODO DE PRUEBA

PRUEBAS CON SELLADORES DE ROSCAS PARA LA PREVENCIÓN DE FUGAS DE HIDRÓGENO GASEOSO

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 una prueba de fugas de hidrógeno gaseoso a baja presión con tres selladores de roscas diferentes utilizando el método de caída de presión. Además, los selladores se utilizaron en montajes que utilizaban tanto rosca cónica para tubería estándar nacional americana (NPT) como rosca cónica para tubería estándar británica (BSPT), que son los tipos de rosca de tubería más comunes a nivel mundial. Todos los montajes 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 transmisión de gas (Asociación Europea de Gases Industriales, 2014).

Dado que no existen normas de referencia con respecto a las pruebas de selladores de hidrógeno, creamos una configuración de prueba basada en las normas disponibles, como ASTM D6396 método de prueba estándar para probar selladores de roscas de tubería en tes de tubería), ASTM D1599 (método de prueba estándar para determinar la resistencia a la presión hidráulica a corto plazo de tuberías, tubos y conexiones de plástico), LOCTITE STM 772 (basado en los dos ASTM anteriores) y EN 751-1 (materiales sellantes para juntas roscadas metálicas en contacto con gases de la 1ª, 2ª y 3ª familia y con agua caliente. Parte 1: Compuestos sellantes anaeróbicos).

Basándonos en estas normas, creamos una herramienta y definimos los parámetros para las pruebas.

Para los ensayos se seleccionaron dos tipos de selladores de roscas: dos anaeróbicos (LOCTITE 577 y LOCTITE 567) y un hilo sellador sin curado (LOCTITE 55).

LOCTITE 577 es el sellador anaeróbico más común para conexiones BSPT u otras conexiones rectas (paralelas) a cónicas, mientras que LOCTITE 567 es el sellador anaeróbico más común para conexiones de rosca NPT, cónicas a cónicas.

LOCTITE 55 es el hilo sellador de roscas sin curado más utilizado, es ideal para montajes que pueden necesitar pequeños ajustes antes de su utilización. Los tres selladores ya están certificados de acuerdo con al menos una aprobación regional para gas natural. Como se está explorando la mezcla de hidrógeno con gas natural en la infraestructura de gas natural existente, esta fue una consideración importante.

La prueba incluyó dos etapas de presión. Para LOCTITE 55 específicamente, se probó una presión 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).

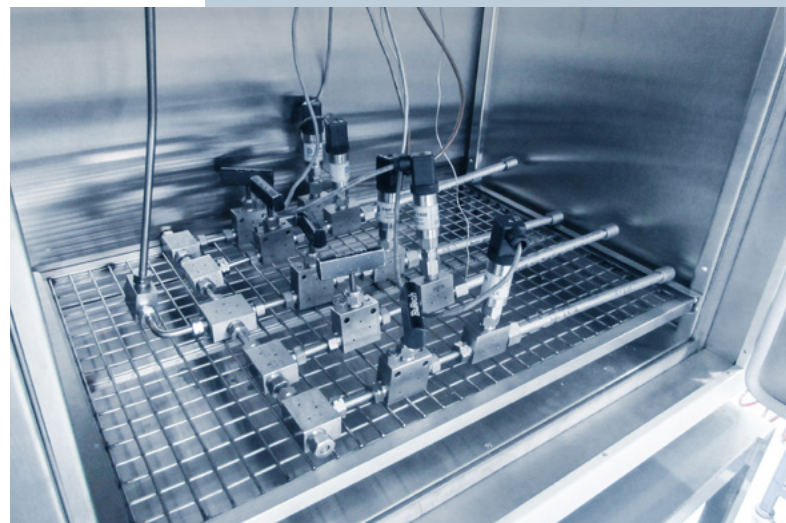


GRÁFICO 1: Prueba

RESULTADOS

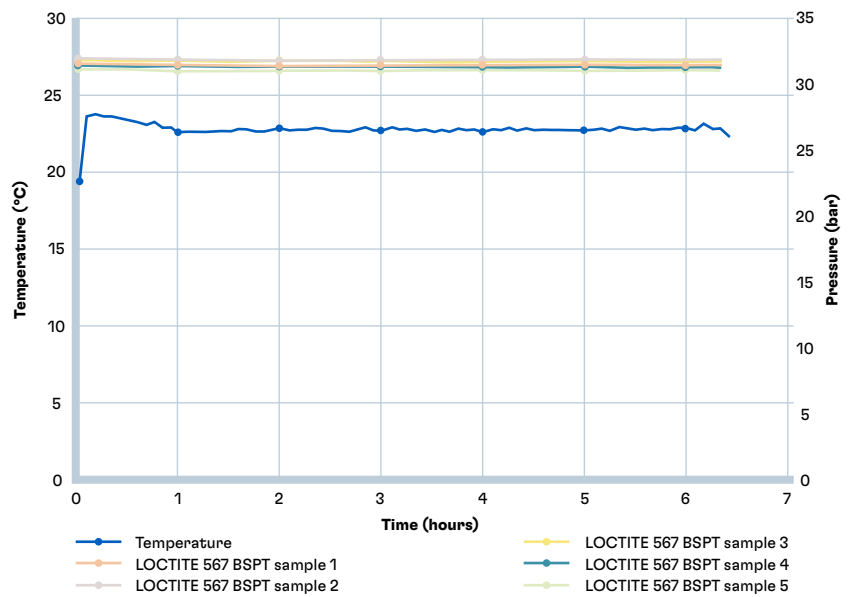
La temperatura y la presión se registraron a lo largo de cada una de las pruebas. Se trazaron puntos para identificar cualquier fuga para cada uno de los selladores de roscas. El volumen de gas en el sistema era muy pequeño, por lo que cualquier caída de presión se notaría.



LOCTITE 567

El gráfico 2 resume los resultados obtenidos por LOCTITE 567 bajo una prueba de presión. Específicamente, el gráfico muestra la presión y la temperatura en comparación con la prueba de fugas de hidrógeno a 31 bar para las conexiones BSPT. No se observó ninguna disminución de presión, por lo tanto, no hubo fugas.

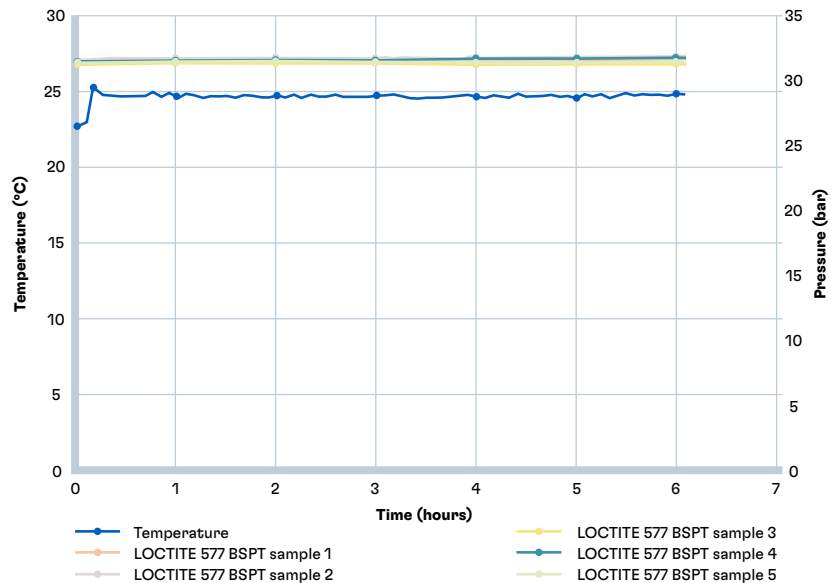
GRÁFICO 2: Temperatura y presión para la conexión BSPT en la que se aplicó LOCTITE 567. Presión 31 bar.



LOCTITE 577

El gráfico 3 resume los resultados obtenidos por LOCTITE 577 bajo una prueba de presión. Específicamente, el gráfico muestra la presión y la temperatura en comparación con la prueba de fugas de hidrógeno a 31 bar para las conexiones BSPT. No se observó ninguna disminución de presión, por lo tanto, no hubo fugas.

GRÁFICO 3: Temperatura y presión para la conexión BSPT en la que se aplicó LOCTITE 577. Presión 31 bar.

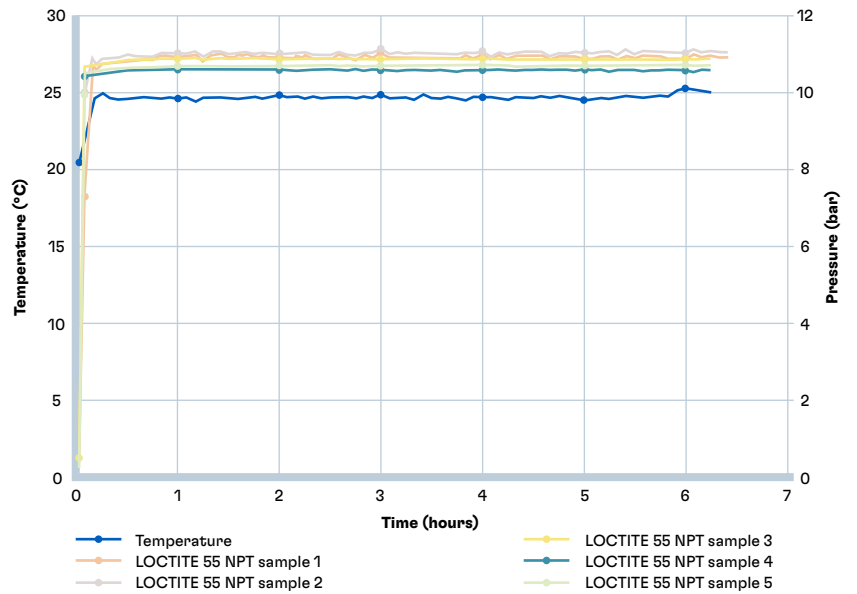




LOCTITE 55

El gráfico 4 resume los resultados obtenidos por LOCTITE 55 bajo una prueba de presión. Específicamente, 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 hubo fugas.

GRÁFICO 4: Temperatura y presión para la conexión NPT en la que se aplicó LOCTITE 55. Presión 10,3 bar.



RESUMEN

El gráfico 5 muestra todos los resultados obtenidos de las pruebas a diversas presiones y para diferentes tipos de conexiones NPT y BSPT:

Montaje de prueba	Sellador	Ensayo de presión (paso 1)	Resultado	Ensayo de presión (paso 2)	Resultado	Gas
¼" NPT- 304, acero inoxidable • Niple (10" longitud) • Conector • Tapón	LOCTITE 55	131 psi (9 bar)	✓	150 psi (10,3 bar)	✓	Hidrógeno
	LOCTITE 567	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
	LOCTITE 577	300 psi (20 bar)	✓	450 psi (31 bar)	✓	
¼" BSPT- 304, acero inoxidable • Niple (12" longitud) • Conector • Tapón (acero inoxidable 316)	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)	✓	

GRÁFICO 5: Resumen de los resultados de las pruebas.



CONCLUSIÓN

- › Las pruebas descritas en este documento se realizaron para demostrar cómo los selladores de roscas anaeróbicos y el hilo sellador de roscas LOCTITE 55 proporcionan una solución de sellado eficaz para la prevención de fugas de hidrógeno en conexiones roscadas.
- › Se utilizaron transductores 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 ensayaron satisfactoriamente. No se produjeron caídas de presión significativas en ninguna de las muestras probadas a ninguna de las presiones consideradas.
- › Se puede concluir que el hilo sellador de roscas LOCTITE 55 ofrece una solución para sellar hidrógeno gaseoso a presiones más bajas de hasta 10 bar (150 psi) en accesorios NPT y BSPT.
- › Los selladores de roscas anaeróbicos sellaron de forma satisfactoria el hidrógeno gaseoso a una presión de 31 bar (450 psi) en accesorios NPT y BSPT. Como estos productos curan formando un polímero termoestable, se espera que puedan sellar a presiones aún más altas, aunque esto no se pudo probar con el equipo disponible.
- › Todos los productos aquí ensayados, junto con LOCTITE 570 y LOCTITE 638, también han sido probados y certificados por Kiwa para aplicaciones de sellado de hidrógeno, de acuerdo con AR 214. Kiwa es una entidad europea de certificación que realiza pruebas, lleva a cabo inspecciones, certifica y ofrece servicios de asesoramiento y formación en diferentes mercados.
- › Los selladores evaluados en este informe proporcionan un método conveniente, fiable y rentable para sellar conexiones roscadas para su uso con hidrógeno gaseoso. Los selladores de roscas 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.
- › Los selladores de roscas anaeróbicos también se han utilizado en aplicaciones de hidrógeno a alta presión. Tenemos conocimiento de clientes que utilizan nuestros selladores anaeróbicos hasta a 1.000 bar en sus aplicaciones de sellado de roscas de hidrógeno. En el momento de redactar este documento, Henkel está llevando a cabo pruebas de laboratorio en condiciones similares para validar la aplicabilidad general de estos productos para su uso en entornos de hidrógeno a alta presión. Si está interesado en los resultados de estas pruebas o en obtener más información sobre estos productos para su aplicación, no dude en ponerse en contacto con los autores de este documento o con su comercial de Henkel.



REFERENCIAS

- [1] RSE report 'Hydrogen an Energy Carrier for decarbonization', January 2021.
- [2] International Energy Agency (IEA) 'The Future of Hydrogen' June 2019.
- [3] 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. 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, June 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, April 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', March 2016.



CONTACTO

Henkel Ibérica S. A.

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

www.henkel-adhesives.es

Departamento técnico

Tel. 93 290 49 05

tecnico.industria@henkel.com

Atención al cliente

Tel. 93 290 44 86

cs.industria@henkel.com

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, 2024. Todos los derechos reservados

