

NUEVOS ADHESIVOS FLEXIBLES DE CURADO POR LED PARA EL MONTAJE DE DISPOSITIVOS MÉDICOS

RESUMEN

Como parte de un programa de innovación de adhesivos de curado por luz, Henkel ha desarrollado dos nuevos adhesivos de curado con LED, LOCTITE® AA 3951 y LOCTITE® AA 3953. Estos nuevos adhesivos curan rápidamente, ofreciendo una combinación de alta flexibilidad y alta resistencia en sustratos plásticos diferentes. Este documento técnico detalla esa combinación de nuevas propiedades, manteniendo al mismo tiempo las demás características de los adhesivos acrílicos de curado por luz.

Gavin Haberlin, Zachary Bauman, Thomas Silva,
Hermann Handwerker, Ling Li y Martin Smyth

Julio 2024





CONTEXTO

El curado con luz UV y visible de los adhesivos acrílicos es una tecnología que continúa creciendo gracias a su capacidad favorable de aplicación para el montaje de dispositivos médicos. El curado rápido, la adhesión a una amplia gama de sustratos y la detección por fluorescencia hacen que los acrílicos de curado por luz sean la primera opción para muchas operaciones de adhesión automatizadas de alta velocidad.

Debido a los avances en la tecnología de curado, los adhesivos acrílicos de curado por luz se curan con sistemas LED en lugar de los sistemas tradicionales basados en bombillas con una frecuencia cada vez mayor. Esta tendencia continuará en el mercado de dispositivos médicos debido a las diversas ventajas de los LED sobre las lámparas UV de arco de mercurio y de haluros metálicos. Los LED son entre un 60 % y un 80 % más eficientes energéticamente que las lámparas UV. Tienen un coste menor y brindan mayor longevidad con una producción más consistente. Además, no contienen mercurio ni producen ozono. La innovación en los sistemas LED continúa reduciendo el coste y aumentando la producción de los sistemas de curado de recubrimiento y adhesivos año a año. Se espera que los LED se conviertan en la nueva tendencia para el curado, por lo que no es de extrañar que los adhesivos mostrados en este documento técnico hayan sido diseñados para ser totalmente compatibles con los LED más comunes del mercado. Dado que la tecnología LED es un desarrollo reciente, muchos de los productos de la generación anterior no tienen la misma compatibilidad.

Uno de los principales desafíos que presentan los nuevos sustratos que se introducen en el mercado de dispositivos médicos es el aumento del uso de elastómeros termoplásticos (TPE) extremadamente suaves y de baja energía superficial. Los adhesivos de curado por luz típicos han demostrado un rendimiento bajo en muchos de estos sustratos por dos razones: falta de adhesión y de flexibilidad. La falta de adhesión causa inherentemente problemas de unión; sin embargo, un módulo de tracción bajo y una elongación alta permiten que los adhesivos se estiren en la línea de unión y descentralicen las fuerzas de pelado. El pelado es el tipo de fuerza más desfavorable para cualquier adhesivo y es común en aplicaciones de unión flexible. En un caso de ejemplo de combinación de un material rígido y uno flexible, el adhesivo debe adaptarse a los diferentes comportamientos del material bajo carga. Para dichas aplicaciones, una alta elongación antes de la rotura es una propiedad muy beneficiosa para un adhesivo y generalmente se correlaciona con una mayor resistencia del montaje.

Además, muchos de estos TPE se eligen para conjuntos de tubos que requieren un adhesivo de baja viscosidad para penetrar en holguras diametrales estrechas. Los problemas que se presentan a los formuladores de adhesivos son que a menudo es necesario sacrificar la adhesión y la baja viscosidad para lograr flexibilidad. Sin embargo, los nuevos productos adhesivos de curado por luz presentados en este documento han logrado un alto grado de flexibilidad sin sacrificar las otras dos propiedades.

ANÁLISIS

Henkel ha desarrollado dos nuevos adhesivos acrílicos flexibles de curado por luz LED. Para satisfacer varias necesidades del mercado, se requirieron múltiples viscosidades para rellenar diferentes holguras en uniones flexibles. LOCTITE® AA 3951 y LOCTITE® AA 3953 son 150 y 450 cPs, respectivamente. Además de la alta resistencia y flexibilidad de estos productos de baja viscosidad, son transparentes, fluorescentes y presentan una buena profundidad de curado.

ELEVADA ELONGACIÓN Y BAJA VISCOSIDAD

Una característica única de estos nuevos adhesivos acrílicos de curado por luz es su elevada elongación en combinación con una baja viscosidad. Los grados anteriores han mostrado una dependencia de la flexibilidad con respecto a la viscosidad, como se ilustra en la **Figura 1**. Grados de mayor viscosidad presentaban una mayor elongación. Mientras que los acrílicos de baja viscosidad presentaban baja elongación. Los nuevos LOCTITE® AA 3951 y LOCTITE® AA 3953 son productos muy líquidos que presenta elongaciones muy elevadas que antes no eran posibles, siendo perfectos para aplicaciones que necesiten baja viscosidad, p. ej. diseños muy ajustados, en los que pueden sustituir a la soldadura por solventes. Este diseño de holgura es común en aplicaciones donde se reemplaza la soldadura al disolvente.

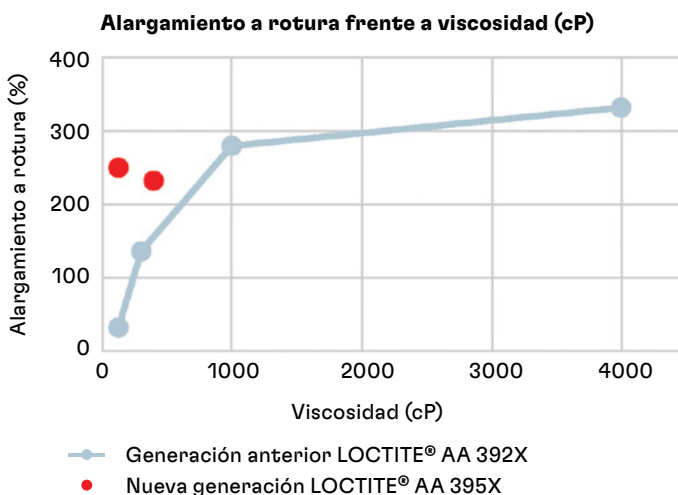


FIGURA 1. Comparación de la elongación frente a la viscosidad para grados de curado por luz de generaciones nuevas y anteriores.

FLUORESCENCIA

Esta propiedad ofrece a los usuarios, especialmente con líneas automatizadas, la posibilidad de confirmar de manera rápida y sencilla si el producto se ha aplicado correctamente en las piezas correspondientes. Los productos incoloros sin fluorescencia no tienen el contraste necesario para ser detectados en una cámara de producción de alta velocidad. Utilizando un estándar medio en la cámara SICK, se obtuvieron los siguientes resultados.

Este aumento del rendimiento de fluorescencia, que se muestra en la **Figura 2**, facilita la detección, permitiendo el uso de detectores menos costosos o posibilitando la detección de cantidades muy pequeñas de adhesivo en holguras extremadamente bajas.

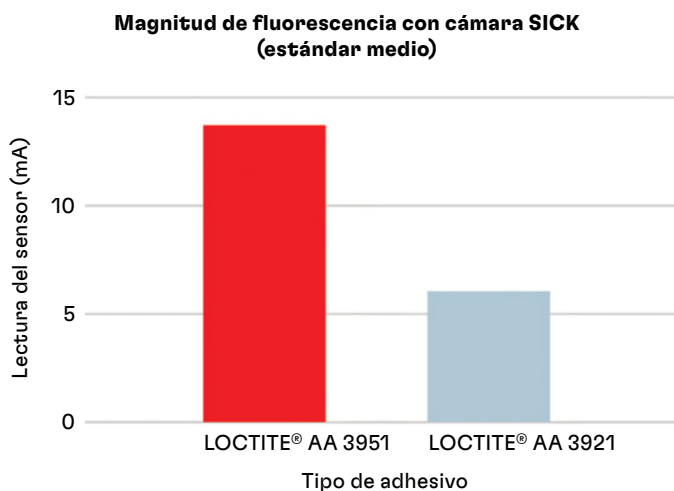


FIGURA 2. Fluorescencia UV, cámara SICK, estándar medio. (LOCTITE® AA 3921 es un acrílico de curado por luz de una generación anterior).

TIEMPO DE FIJACIÓN

El tiempo de fijación es un indicador comúnmente utilizado de la velocidad de curado de los productos de curado por luz. La prueba implica unir finas láminas de vidrio en diferentes intervalos de curado hasta que la adhesión sea lo suficientemente fuerte como para romper el vidrio durante la prueba de tracción. Se lograron excelentes tiempos de fijación en láminas de vidrio con un curado de menos de 1 segundo a 405 nm y una intensidad de luz extremadamente baja (*Tabla 1*). La compatibilidad con LED de 405 nm es fundamental para los productos de nueva generación, ya que los LED de luz visible son ahora el equipo de curado preferido debido a su eficiencia, penetración y velocidad. LOCTITE® AA 3951 mantiene una alta velocidad de curado incluso al presentar una fluorescencia superior el doble o incluso más que la generación anterior. El aumento de la fluorescencia es un desafío para la velocidad de curado porque los fluoróforos absorben las mismas longitudes de onda de luz que los fotoiniciadores y se sabe que reducen la velocidad de curado.

Tiempo de fijación (segundo): LED de haz amplio curado a 10 mW/cm ² a 405 nm	
LOCTITE® AA 3921	LOCTITE® AA 3951
<1 segundo	<1 segundo

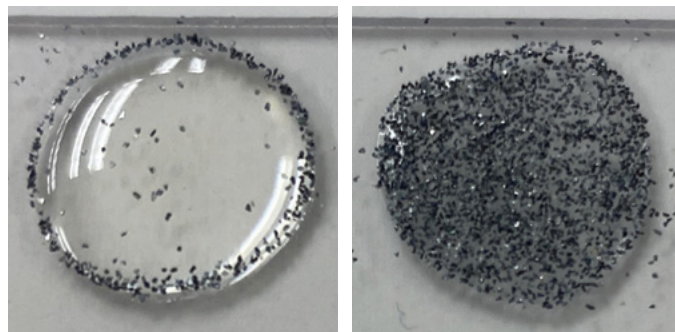
TABLA 1. Tiempo de fijación en láminas de vidrio.



CURADO SUPERFICIAL

En el caso de los acrílicos de curado por luz, el curado de la superficie se ve afectado por la inhibición del oxígeno. Las bombillas de espectro completo, que se utilizaban tradicionalmente (antes de los LED), emiten luz visible (400 nm–420 nm, UVA (315 nm–400 nm, UVB (280 nm–315 nm), lo más importante, UVC (100 nm–280 nm). La luz visible y UVA penetra bien en el adhesivo a través de los sustratos transparentes y ofrecen curado en profundidad. La longitud de onda UVC del acrílico de curado por luz tiene baja penetración y se absorbe principalmente en la superficie, reduciendo el problema de la inhibición por oxígeno. Con los LED, esta combinación de longitudes de onda ya no es posible, ya que estos emiten una sola longitud de onda. Por lo tanto, al curar con LED, el curado de la superficie debe realizarse únicamente con longitud de onda UVA (365 nm) o luz visible (405 nm). La Figura 3 muestra como se mejoró el tacto seco de la superficie del producto curado con luz LED, en comparación con los productos de las generaciones anteriores. A 100 mW/cm² durante 10 segundos, el polvo de carburo de silicio no se puede quitar de la gota curada de LOCTITE® AA 3921 debido a su capa superficial sin curar más gruesa. Por el contrario, el nuevo adhesivo flexible retiene mucho menos carburo de silicio. A 500 mW/cm² durante 20 segundos, LOCTITE® AA 3951 ya no retiene el carburo de silicio, mientras que la generación anterior aún muestra signos de una superficie pegajosa.

LED de 405 nm a 100 mW/cm² durante 10 segundos



LED de 405 nm a 500 mW/cm² durante 20 segundos

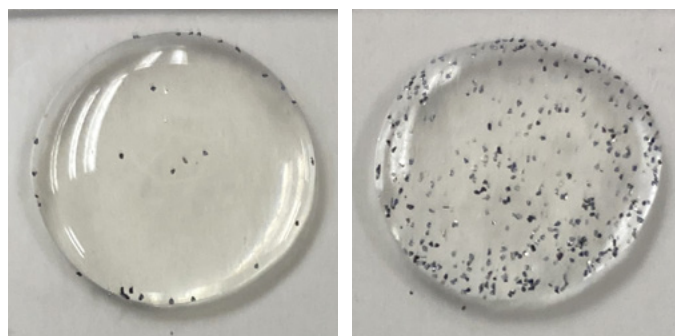


FIGURA 3. Prueba de adhesión de la superficie utilizando polvo de carburo de silicio de grano 80, LOCTITE® AA 3951 (izquierda), acrílico de curado por luz de generación anterior (derecha).

ADHESIÓN

Los nuevos adhesivos de curado por luz ofrecen consistentemente resultados mejorados en una variedad de plásticos, en comparación con los adhesivos de generaciones anteriores. La **Figura 4** muestra un mayor rendimiento de adhesión en ABS, PC, PET y TPU.

Con el nuevo adhesivo se rompe el TPU (**Figura 5**), mientras que el grado de la generación anterior no lo logró.

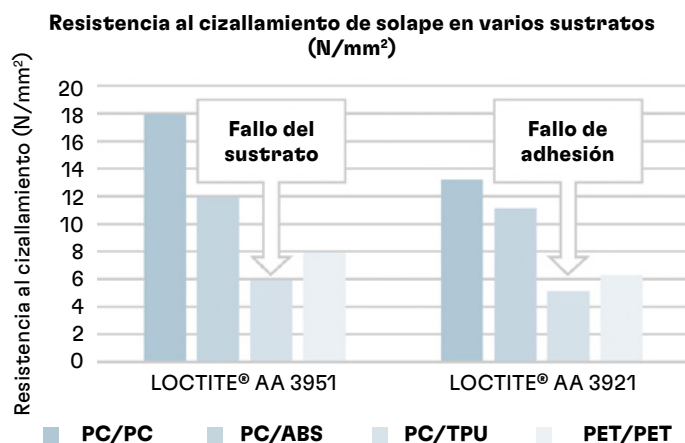


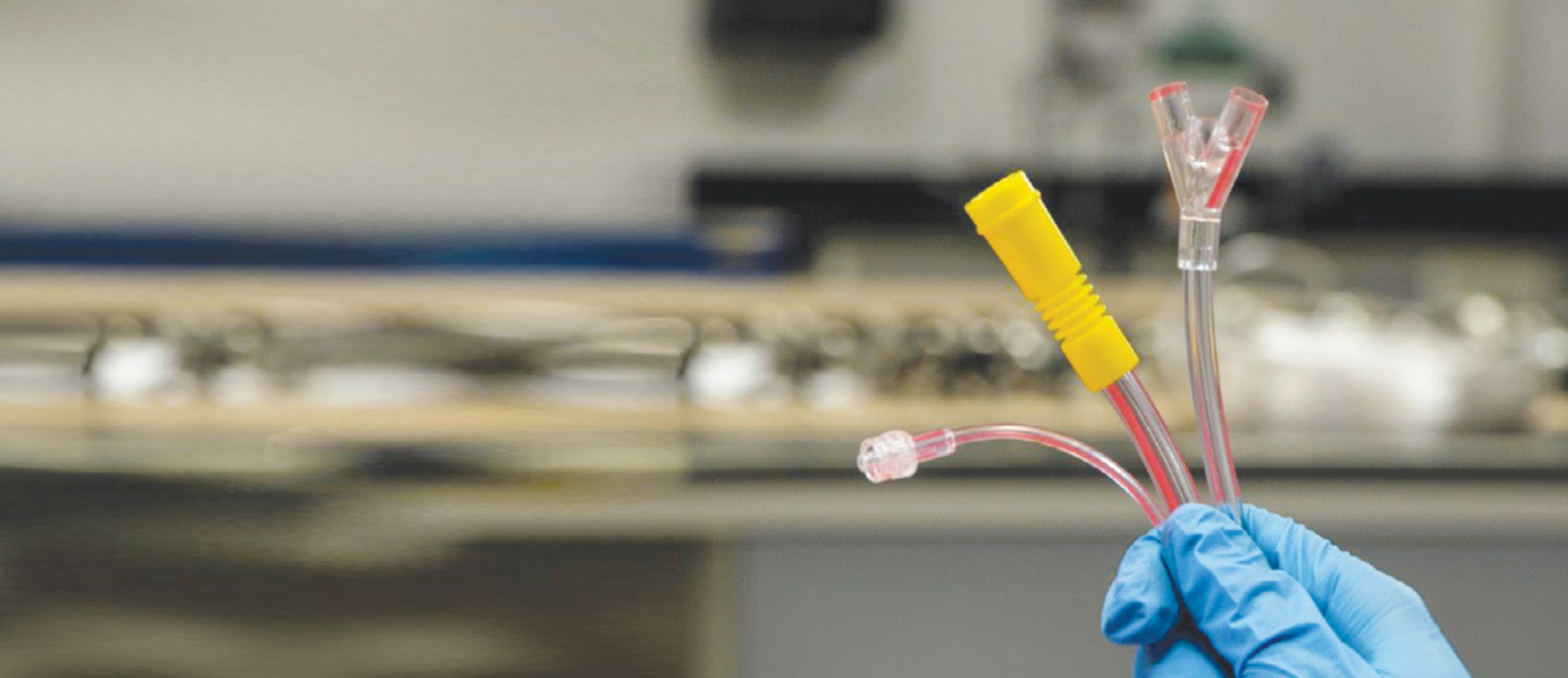
FIGURA 4. Resistencia a cortadura en varios sustratos.

MEJORA DE LA NORMATIVA

Dado que estos nuevos adhesivos flexibles de curado con LED se desarrollaron principalmente para el montaje de dispositivos médicos, se realizaron pruebas ISO 10993 para confirmar que los adhesivos cumplieran con los estándares de biocompatibilidad comúnmente aceptados.

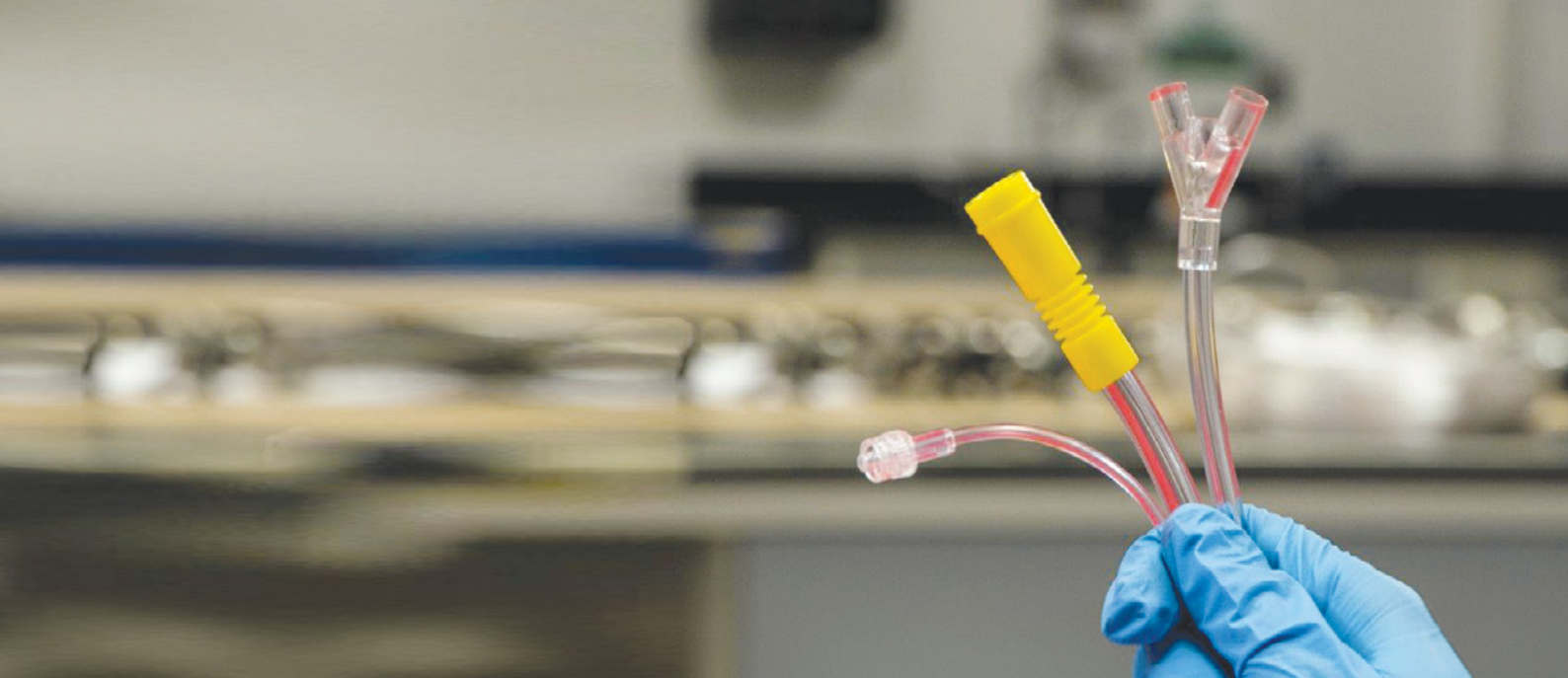


FIGURA 5. Prueba de cortadura con LOCTITE® AA 3951 que dio lugar al fallo del TPU.



CONCLUSIONES

La oportuna llegada de esta línea de productos adhesivos es una gran ocasión para asegurar la posición de Henkel como proveedor líder en el mercado de adhesivos curados por luz, especialmente en un momento en el que están llegando al mercado nuevas mezclas de TPE altamente elásticas que pueden incluir TPU, TPO, SEBS, PEBA, poliésteres o combinaciones de los mismos. La alta elongación y la baja viscosidad de LOCTITE® AA 3951 y LOCTITE® AA 3953 permiten adherir con facilidad piezas flexibles con ajuste perfecto. La compatibilidad con LED de luz visible garantiza que los usuarios obtendrán tiempos de curado rápidos, con un buen curado de la superficie, utilizando sistemas de curado de última generación diseñados para líneas automatizadas de alta velocidad. Todos estos atributos se combinan para crear un paquete de alto valor que resulta atractivo para los fabricantes de los sectores médico, electrónico, aeroespacial, de bienes de consumo y muchos más.



APÉNDICE

ABS: Plástico Acrilonitrilo Butadieno Estireno.

Fallo del adhesivo: Un término utilizado para describir un fallo de la unión adhesivada en el cual la superficie de contacto entre el adhesivo y los sustratos se delamina.

Fluorescencia: Propiedad de un material que caracteriza la absorción de luz en un espectro y la emisión en un espectro diferente. La longitud de onda de la luz absorbida y emitida está determinada por la energía de los fotones, ya que se correlaciona con la diferencia de niveles de energía entre el estado excitado y el estado fundamental.

LED: Diodo emisor de luz.

ACV: Adhesivo acrílico de curado por luz.

Inhibición de oxígeno: Un fenómeno de la química de polímeros de curado por radicales en el cual el oxígeno de la atmósfera se difunde en una resina de curado y elimina los radicales libres necesarios para reticular el polímero. Esto da lugar a una capa de material sin curar de menos de 0,1 mm de espesor en la superficie de cualquier resina expuesta a la atmósfera.

PC: Plástico de policarbonato.

PEBA: Poliéster amida en bloque. Un tipo de elastómero termoplástico.

PET: Plástico de tereftalato de polietileno.

SEBS: Estireno etileno butadieno estireno.

Fallo del sustrato: Un término utilizado para describir un fallo de unión adhesiva en el cual los sustratos unidos fallan internamente antes de la superficie de contacto entre el adhesivo y los sustratos.

Alargamiento por tracción: Una propiedad del material que describe la cantidad promedio de deformación que un material puede sufrir antes de fallar.

Módulo de tracción: Una propiedad material que describe la rigidez de un material. Se determina mediante la curva de tensión-deformación durante el ensayo de tracción y a menudo se considera la pendiente de esta curva. Se requieren diferentes técnicas de cálculo para obtener este número, ya que no todas las curvas de tensión-deformación son lineales.

TPE: Elastómero termoplástico. Un plástico con propiedades elásticas que puede fundirse para su procesamiento.

TPO: Olefina termoplástica. Un tipo de elastómero termoplástico que normalmente tiene una energía superficial muy baja.

TPU: Uretano termoplástico. Un tipo de elastómero termoplástico.

CONTACTO

Henkel Ibérica S. A.

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

Departamento técnico

Tel. 93 290 49 05 61 61
tecnico.industria@henkel.com

Atención al cliente

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

next.henkel-adhesives.com/es



Henkel Adhesive Technologies

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 recomendaciones y 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

next.henkel-adhesives.com/es