

H. García<sup>a</sup>, F. Ballesteros<sup>b</sup><sup>a</sup> Especialista en Cintas Adhesivas 3M Iberia, Centro de Innovación, Madrid 28027, España  
<sup>b</sup> Especialista en Adhesivos Estructurales 3M Iberia, Centro de Innovación, Madrid 28027, España

## Uniones de materiales compuestos: la ventaja de los adhesivos estructurales y de las cintas adhesivas

### RESUMEN

Historia del artículo:

Recibido 5 de Mayo 2017

En la versión revisada 5 de Mayo 2017

Aceptado 31 de Mayo 2017

Accesible online 21 de Junio 2017

Palabras clave:

Adhesivo

Material Compuesto

Diseños de juntas

Tenacidad

Elasticidad

Fatiga

Impacto

Vibraciones

Ruido

Peso

La unión adhesiva de materiales compuestos es una aplicación que plantea nuevos retos en sectores clave como Transporte y Construcción. Existen diferentes métodos de unión de piezas fabricadas con materiales compuestos: las fijaciones mecánicas, la soldadura por ultrasonidos, los adhesivos estructurales y las cintas acrílicas.

Aunque cada uno de estos métodos tiene sus propias ventajas y desventajas, la unión adhesiva tiene una gran diferenciación frente a las fijaciones mecánicas. La unión adhesiva permite unir diferentes tipos de materiales disimilares sin comprometer la fuerza o la estética del material compuesto.

El mercado de Transporte lidera en crecimiento el uso de materiales compuestos y los ingenieros buscan información detallada sobre métodos de unión con adhesivos y sus prestaciones para uso en vehículos: resistencia mecánica y a vibraciones, tenacidad y elasticidad, durabilidad y capacidad para soportar condiciones ambientales extremas.

Los ingenieros quieren algo más que una solución adhesiva, y buscan socios tecnológicos como 3M que proporcionan asistencia técnica en el desarrollo del proyecto, ensayos de los materiales y de los adhesivos, así como la consultoría para la industrialización del proceso de adhesivado.

El objetivo de este artículo es abordar varias tecnologías novedosas de adhesivos estructurales y cintas adhesivas 3M para las uniones multi-materiales que incorporan materiales compuestos. Con una aproximación por tipo de ensamblaje se obtiene la solución adhesiva con las mejores prestaciones para optimizar el diseño de la junta y el proceso de fabricación.

## Bonding of composite parts: advantages and benefits of Structural Adhesives and Self-adhesive Tapes

### ABSTRACT

Keywords:

Adhesive

Composite

Design

Tenacity

Elasticity

Fatigue

Impact

Vibrations

Noise

Weight

The bonding process of composite materials is a challenging method in growing markets like Transportation and Construction. Different methods exist today for the assembly of composite materials: mechanical fixing, ultrasonic welding, structural adhesives and acrylic foam tapes.

Each method has its own advantages and drawbacks, but bonding with structural adhesives or acrylic foam tapes offer important benefits compared to mechanical assemblies. Adhesives and tapes allow to bond dissimilar substrates while keeping mechanical performance and improving aesthetics of composite materials.

The Transportation market is leading the increasing demand of composite materials and design engineers look for detailed information on bonding methods and the performance of adhesives for the designed vehicles: mechanical and vibrations resistance, tenacity and elasticity, durability and capability to withstand extreme conditions.

Design engineers require more than a bonding solution, they need technology partners like 3M providing technical support for project development, materials and adhesives testing, and process consultants for the optimization and automation of bonding processes. Los ingenieros quieren algo más que una solución adhesiva, y buscan socios tecnológicos como 3M.

The purpose of this article is to create awareness on 3M new adhesive and tape technologies for multi-material bonding integrating a composite material. Assembly types and solutions allow to find the best adhesive technology for optimal bond design and manufacturing process.

## 1 Uniones adhesivas y materiales compuestos

Este artículo trata de la unión adhesiva de materiales compuestos, que consiste en el ensamblaje mediante un adhesivo de dos materiales compuestos terminados o un material compuesto terminado con otro material (generalmente metálico). En la fabricación de los materiales compuestos generalmente se utilizan también adhesivos o resinas: este proceso de fabricación y los adhesivos que intervienen en él no son el objeto de este artículo.

Un material compuesto contiene al menos dos elementos que trabajan juntos para proporcionar al material ventajas sobre materiales convencionales como el metal.

Las industrias aeronáutica y eólica han sido pioneras en el uso de estos materiales principalmente por la reducción de peso que ofrecen en piezas de grandes dimensiones.

En los sectores de transporte, especialmente en ferrocarril, y en el sector de la construcción, los materiales compuestos tienen un uso creciente impulsado por las necesidades de reducción de peso y nuevos métodos de montaje modular que incrementan la productividad.

Los adhesivos intervienen en los montajes modulares uniendo los materiales compuestos a estructuras metálicas. Estas uniones de materiales disimilares no son viables obviamente con la soldadura metálica convencional, al haber un componente no-metálico, y suelen dar problemas estéticos, de ruidos y de resistencia a fatiga con tornillos o remaches que dañan los materiales.

Los adhesivos proporcionan flexibilidad, resistencia a fatiga y a impactos, a la vez que reducen el ruido y absorben las vibraciones. La unión se realiza por la cara interna del material compuesto y es por lo tanto invisible, sin daños estructurales para el material, y con un importante beneficio estético.

En este artículo se presenta una guía para la selección de las familias de adhesivos más indicados para determinadas geometrías de unión.

### 1.1.2 Pegado de rigidizadores y molduras

Se trata de piezas que tienen la función de dar rigidez al material, o bien la función de embellecedores o piezas no estructurales.



Figura 3. Pegado de rigidizador con adhesivo estructural 3M<sup>TM</sup> Scotch-Weld<sup>TM</sup>

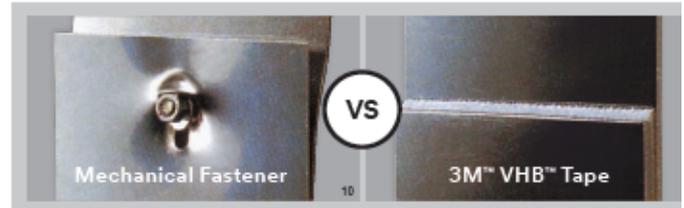


Figura 1. Disipación de tensiones con cintas de espuma acrílica 3M<sup>TM</sup> VHB<sup>TM</sup> permitiendo usar materiales más finos y ligeros como los sin dañarlos en un punto de fractura como las fijaciones mecánicas.

### 1.1 Tipos de unión con adhesivos

Los procesos de unión con adhesivos de materiales compuestos entre-si o a otros materiales se dividen en 4 tipos:

#### 1.1.1 Pegado a marco:

Se une generalmente una plancha o una pieza de material compuesto de grandes dimensiones a una estructura portante (metálica o también hecha de material compuesto)



Figura 2. Pegado a marco de paneles de aluminio compuesto exteriores de un autobús con cintas de espuma acrílica 3M<sup>TM</sup> VHB<sup>TM</sup>

#### 1.1.3 Pegado del material compuesto en toda la superficie

Esta unión consiste en recubrir toda la superficie del material con un adhesivo. El objetivo puede ser la unión de una doble-piel funcional o decorativa sobre el material, o unir planchas planas de material compuesto a un tablero-base para una unión con mejores propiedades vibro-acústicas y funcionales.

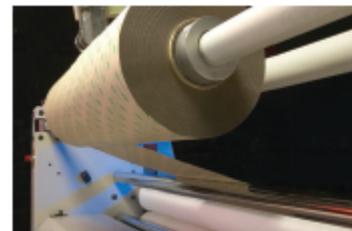
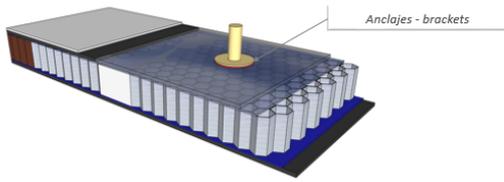


Figura 4. Laminación de planchas de material compuesto con cintas de doble-cara de bajo espesor 3M<sup>TM</sup>

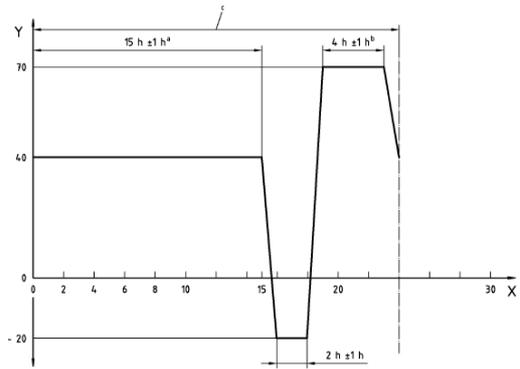
#### 1.1.4 Uniones de piezas de dimensiones pequeñas

Se trata de unir piezas generalmente metálicas (anclajes) a un material compuesto para no taladrar el material y no debilitar su resistencia estructural.





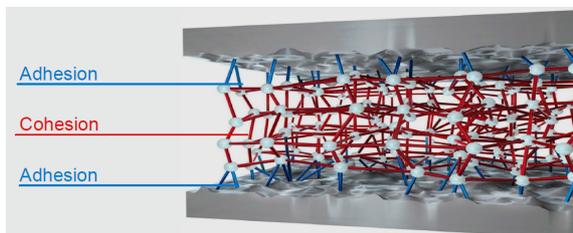
**Figura 5.** Pegado de anclaje metálico con adhesivo estructural 3M™ Scotch-Weld™



**Figura 7.** Ejemplo de ciclo de envejecimiento con temperatura y humedad de materiales compuestos pegados en Laboratorio 3M.

## 1.2 Caracterización de la unión adhesiva

Una vez definido el tipo de unión, se debe caracterizar la unión adhesiva para evaluar la compatibilidad del adhesivo con el material compuesto y el otro material a unir, así como el comportamiento mecánico de la unión y su resistencia en ensayos de laboratorio.

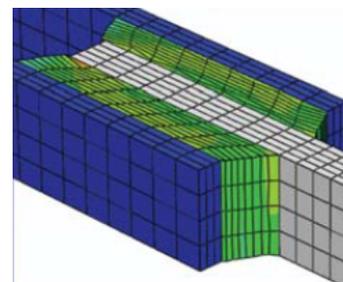


**Figura 6.** Caracterización de la adhesión en las interfases y cohesión del adhesivo que interviene en el comportamiento mecánico.

Se realizan ensayos de adhesión para evaluar la compatibilidad del adhesivo con los materiales, antes y después de envejecimientos.

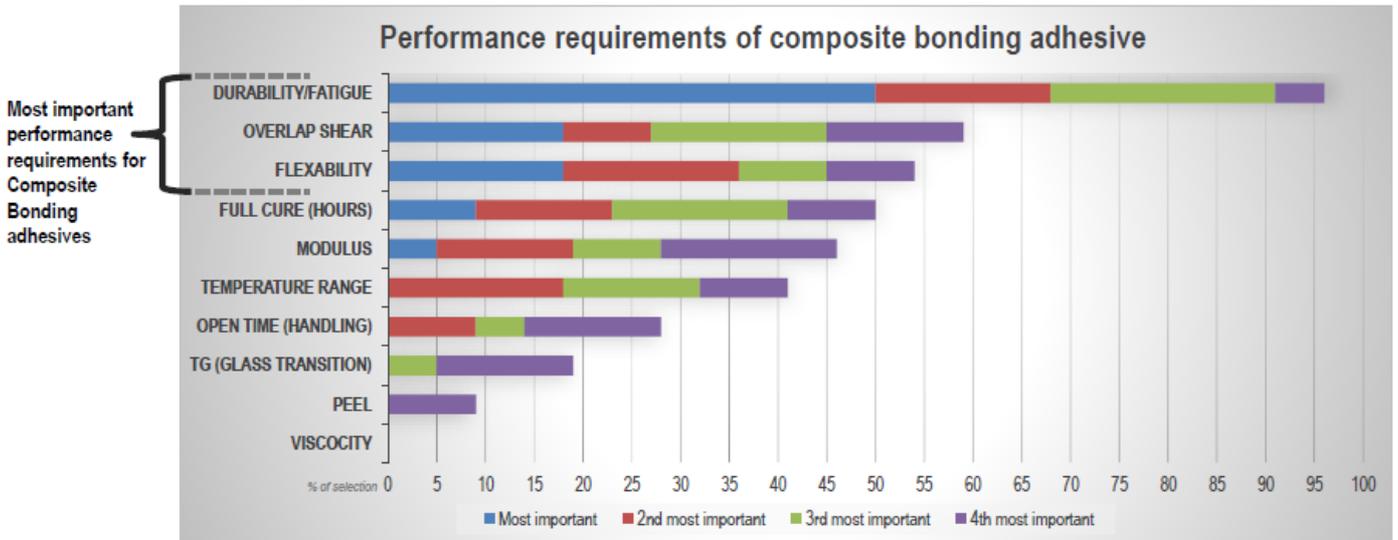
La validación de la rotura cohesiva del adhesivo es el objetivo principal de la caracterización, ya que la resistencia de la unión dependerá entonces de una característica intrínseca del adhesivo que es bien conocida por el fabricante. Los fallos adhesivos no son deseables: son indicios muy representativos de posibles fallos de la unión por separación del adhesivo a medio/largo plazo. En caso de fallos adhesivos se recomienda elegir otro tipo de adhesivo o estudiar una preparación específica del material para conseguir la rotura cohesiva.

Una simulación por modelo de elementos finitos es también posible para tener una caracterización numérica de la unión: se trata de una herramienta muy potente para que los ingenieros puedan realizar estimaciones del comportamiento de la unión.



**Figura 8.** Modelización por elementos finitos de una unión material compuesto-metal con adhesivo 3M™ ScotchWeld™ 2216B/A (1)





**Figura 9.** Estudio realizado por 3M en 2016 sobre las expectativas de los ingenieros de diseño para la unión adhesiva de materiales compuestos

### 1.3 Expectativas de los Ingenieros

Los ingenieros priorizan la resistencia a fatiga y la durabilidad de la unión adhesiva de materiales compuestos. La resistencia mecánica y la elasticidad son los siguientes parámetros más importantes. El tiempo de curado es el cuarto parámetro más valorado por la necesidad de incrementar la productividad o bien la necesidad de unir piezas de grandes dimensiones con tiempo abierto que permite ajustar correctamente la posición de las piezas.

## 2 Adhesivos estructurales

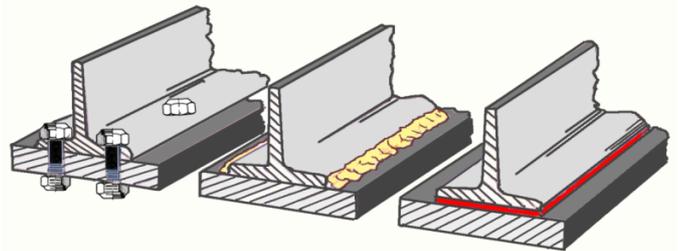
Los adhesivos estructurales contemplados en este artículo son aquellas formulaciones que curan por mezcla de dos componentes mediante una reacción química de poli-condensación o bien poli-adición (no se contemplan cianoacrilatos ni anaeróbicos). Estos adhesivos estructurales también llamados "bi-componentes" desarrollan una elevada cohesión a la vez que crean una unión mecánica y química con los materiales que unen.

Los adhesivos estructurales bi-componentes constituyen el método de unión adhesiva con mayor resistencia mecánica de todas las formulaciones de adhesivos existentes.

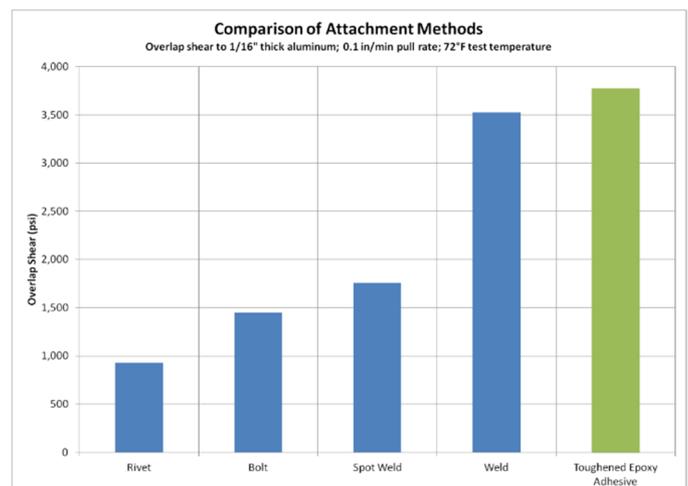


**Figura 11.** Cartucho y aplicado de adhesivos estructurales bi-componentes (relación 1:1)

También son los que más se aproximan a la resistencia de uniones mecánicas convencionales, superando en determinados casos la resistencia a cizalladura de estas uniones.

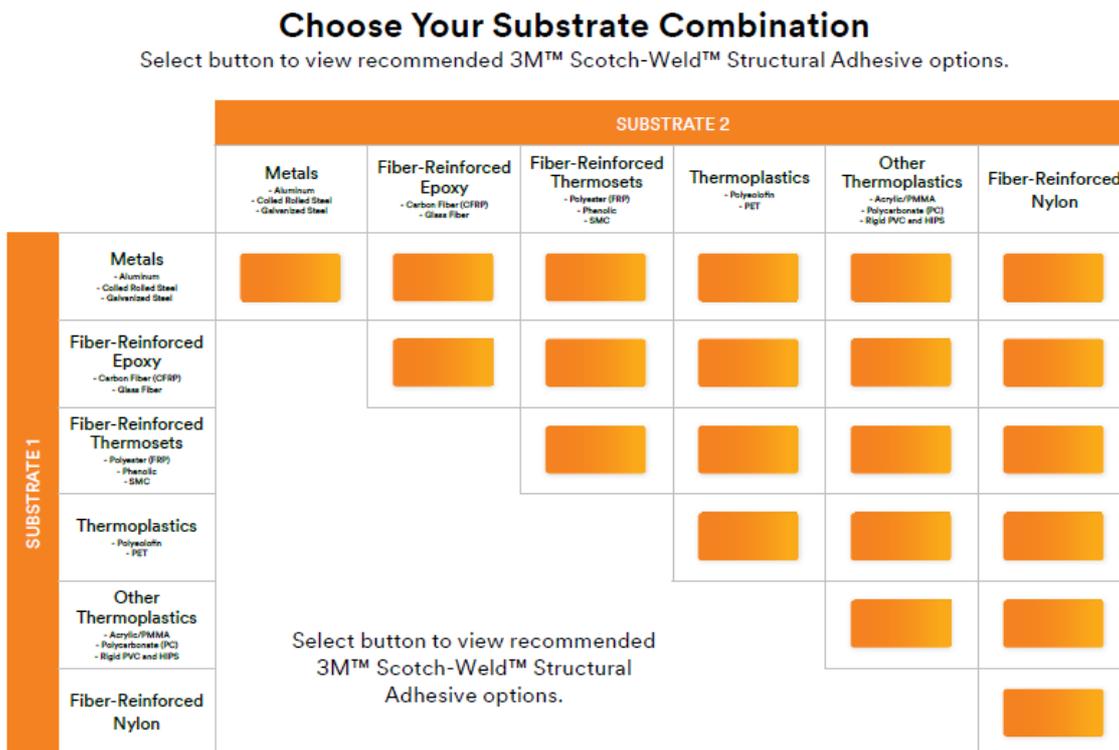


**Figura 10.** Aspecto de uniones mecánicas (remaches, tornillos, soldadura) y unión con adhesivos estructurales



**Figura 11.** Estudio comparativo de la resistencia a cizalla de uniones mecánicas (remaches, tornillos, soldadura) y adhesivos estructurales bi-componentes epoxi 3M™ Scotch-Weld™



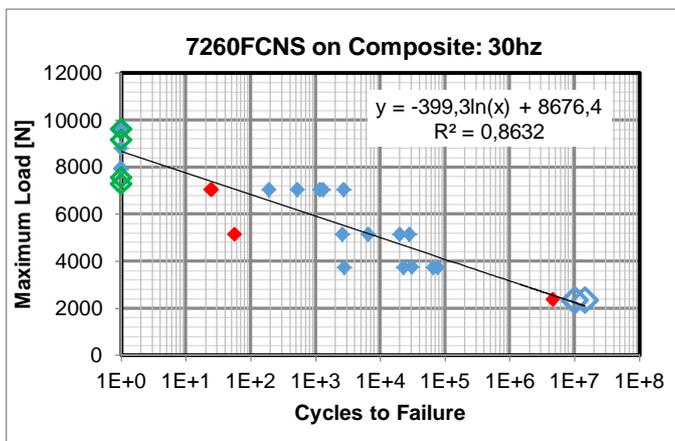


**Figura 12.** Herramienta de selección de adhesivos estructurales bi-componentes 3M™ Scotch-Weld™ para la unión de materiales compuestos y otros materiales (2)

<http://multimedia.3m.com/mws/media/1282948O/3m-scotch-weld-composite-urethane-adhesive-selector-tool.pdf>

Para el diseño de una junta con materiales disimilares (material compuesto sobre otro material), es fundamental que la resistencia mecánica del adhesivo esté equilibrada con una elasticidad suficiente para obtener una unión flexible, duradera y resistente a la fatiga. Este equilibrio de propiedades del adhesivo estructural flexible está en línea con las expectativas de los ingenieros de diseño expuestas anteriormente.

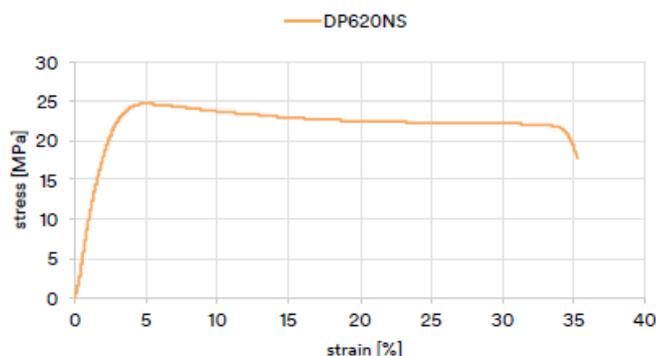
La excesiva rigidez de un adhesivo estructural puede dar valores elevados en resistencia a cizalla o tracción pura pero reduce la resistencia a fatiga y la tenacidad del adhesivo.



**Figura 13.** Resistencia a fatiga del adhesivos estructural bi-componente 3M™ Scotch-Weld™ 7260FCNS (epoxi reforzado rígido) según método ISO 4587

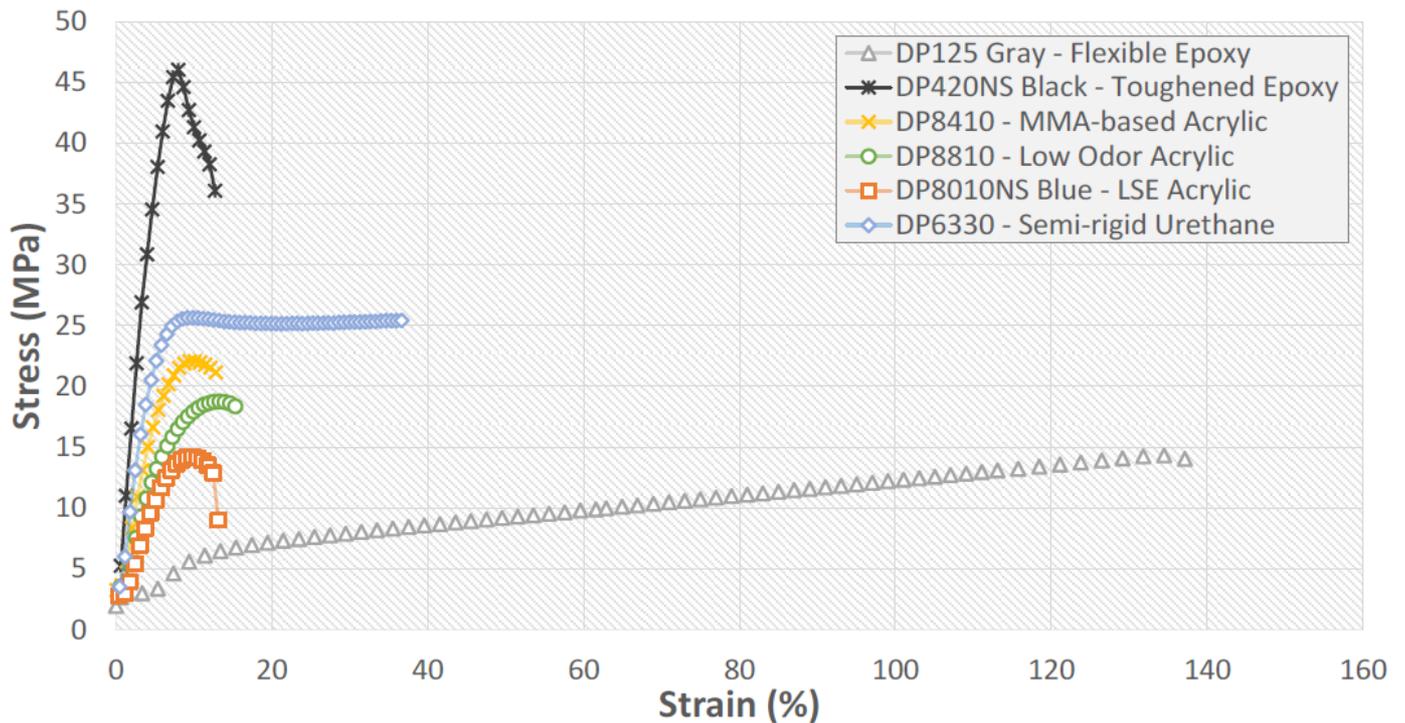
Nuevos desarrollos en formulaciones de adhesivos bi-componentes estructurales permiten acercarse al equilibrio flexibilidad-resistencia deseado.

Los adhesivos estructurales 3M™ Scotch-Weld™ DP620NS y DP6330NS son formulaciones de adhesivos bi-componentes base poliuretano que presentan una mayor flexibilidad y resistencia a impactos comparado con otros adhesivos manteniendo una elevada resistencia mecánica. Son compatibles con numerosos sustratos como los materiales compuestos, metales, madera, plásticos y algunos cauchos. El adhesivo DP620NS con un tiempo abierto de 20 minutos permite la unión de piezas ce material compuesto más grandes (10 minutos para el DP6330NS).



**Figura 14.** Gráfica de tensión-deformación del adhesivo estructural bi-componente 3M™ Scotch-Weld™ DP620NS (flexible)





**Figura 15.** Gráfica de tensión-deformación de adhesivos estructurales bi-componentes epoxi, acrílicos y base poliuretano 3M™ Scotch-Weld™ según método DIN EN ISO 527-2/1A

Los adhesivos estructurales acrílicos 3M™ Scotch-Weld™ DP8810NS, DP8410NS y DP8010NS Blue son también formulaciones desarrolladas recientemente por 3M para la unión de materiales muy diversos incluyendo los materiales compuestos: proporcionan una unión muy rápida con un mínimo tiempo de espera para la sujeción de piezas, y tienen una elevada resistencia a impacto. Son además formulaciones que no requieren preparación superficial en la mayoría de los casos, como el DP8010NS Blue que pega estructuralmente a poliolefinas sin necesidad de tratamiento superficial.

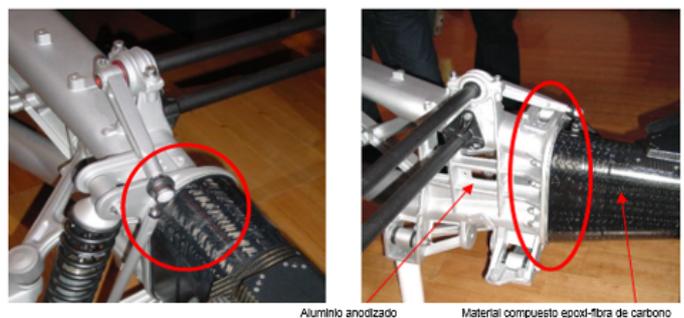
Los adhesivos epoxi flexibles más convencionales, como 3M™ Scotch-Weld™ DP125, DP190 y 2216B/A ofrecen otras ventajas: son adhesivos de curado lento para piezas de grandes dimensiones, son muy fluientes y ofrecen una flexibilidad muy elevada. Si el ingeniero contempla la unión de materiales compuestos con grandes superficies a recubrir, son excelentes candidatos a considerar.

Finalmente, en el diseño de la unión con adhesivos estructurales intervienen otros parámetros que son fundamentales para obtener una unión duradera:

- Espesor de junta: la junta debe tener un espesor mínimo para que la flexibilidad del adhesivo pueda ser efectiva.
- Preparación superficial: la caracterización de la unión determinará si es necesario preparar las superficies, por ejemplo con un abrasivo de grano fino 3M P150.
- Condiciones de servicio del conjunto de piezas pegadas, almacenamiento y transporte.



**Figura 16.** Ejemplo de aplicación en Automoción de unión de material compuesto a metal con adhesivo estructural bi-componente 3M™ Scotch-Weld™ base epoxi (flexible, curado lento)



**Figura 17.** Ejemplo de unión de material compuesto a metal con adhesivo estructural bi-componente acrílico 3M™ Scotch-Weld™



### 3 Cintas Adhesivas

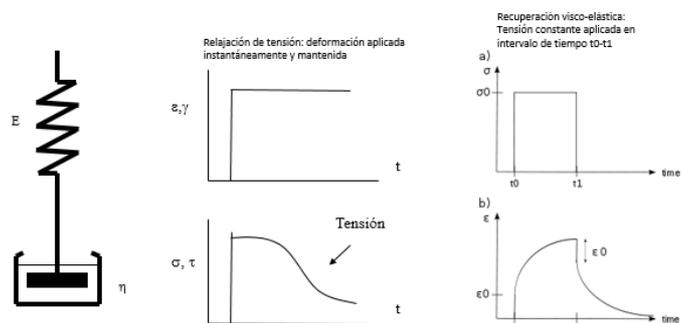
Las cintas adhesivas son adhesivos pre-curados con un comportamiento visco-elástico que permite al adhesivo desarrollar contacto con la superficie por presión y por su propia viscosidad y fluencia, de allí su nombre común *auto-adhesivo*. Su adhesión instantánea es muy superior a cualquier otro tipo de adhesivo y pueden presujetar piezas de inmediato.

Para materiales disimilares con geometrías complejas, las cintas de espuma acrílica 3M™ VHB™ son los auto-adhesivos más técnicos del mercado con un espesor hasta 3mm, una elevada resistencia mecánica y una elasticidad excepcional. Se trata de la tecnología con mayor tenacidad dentro de las formulaciones de adhesivos industriales, teniendo en cuenta que las grietas no progresan como en adhesivos que pasan por un proceso de curado, incluso los más elásticos.



**Figura 18.** Visco-elasticidad de las espumas acrílicas 3M™ VHB™ aplicadas a materiales compuestos

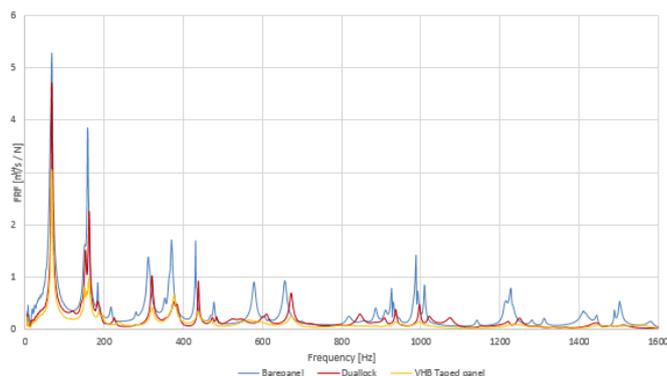
La visco-elasticidad de las cintas 3M™ VHB™ permite diseñar uniones muy flexibles de materiales compuestos a estructuras metálicas. La disipación de las tensiones por relajación de la espuma y una recuperación elástica completa con deformaciones hasta el 300% de su espesor permite realizar uniones de piezas de grandes dimension. Esta propiedad protege la pieza de daños en esfuerzos dinámicos, ciclos de dilatación y contracción térmica y ciclos de fatiga.



**Figura 19.** Modelo muelle-pistón de las espumas acrílicas 3M™ VHB™ con relajación y recuperación elástica de la espuma.

La visco-elasticidad proporciona una mejora consistente en vibro-acústica, reduciendo significativamente la transmisión de vibraciones y la generación de ruido aéreo en las piezas pegadas.

Averaged FRF spectrum



**Figura 20.** Atenuación de vibraciones en un panel pegado con cinta 3M™ VHB™ comparado con un panel fijado mecánicamente

Las cintas de espuma acrílica 3M™ VHB™ son auto-adhesivos con resistencia a tracción y cizalla hasta 1 MPa y deformación reversible hasta el 300%. Estas características las hacen idóneas para los tres primeros tipos de uniones indicados al inicio de este artículo: pegado de paneles a marco, pegado de molduras y rigidizadores, pegado de grandes superficies.

Para piezas de pequeñas dimensiones se recomienda evaluar la adecuación de esta tecnología con el nivel de resistencia deseado: las cintas 3M™ VHB™ requieren una superficie mayor que un adhesivo estructural (10-30 MPa de resistencia a tracción y cizalla), pero su elasticidad puede ser clave en diseño de uniones con materiales disimilares.

### 4 Uniones desmontables y registrables

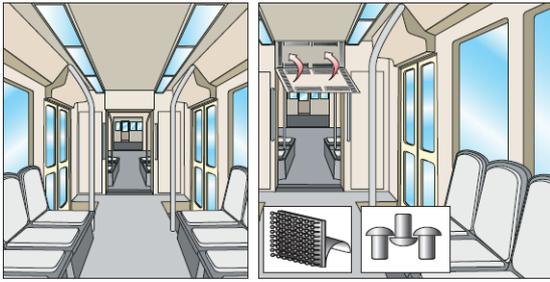
Como regla general los adhesivos no son desmontables. La excepcional resistencia mecánica y química de los adhesivos estructurales hace que estos adhesivos solo se puedan separar por medios mecánicos destruyendo los materiales unidos.

Las cintas 3M™ VHB™ se pueden desmontar separando cohesivamente la cinta con esfuerzos de arrancamiento entorno a 10 kg/cm<sup>2</sup>.

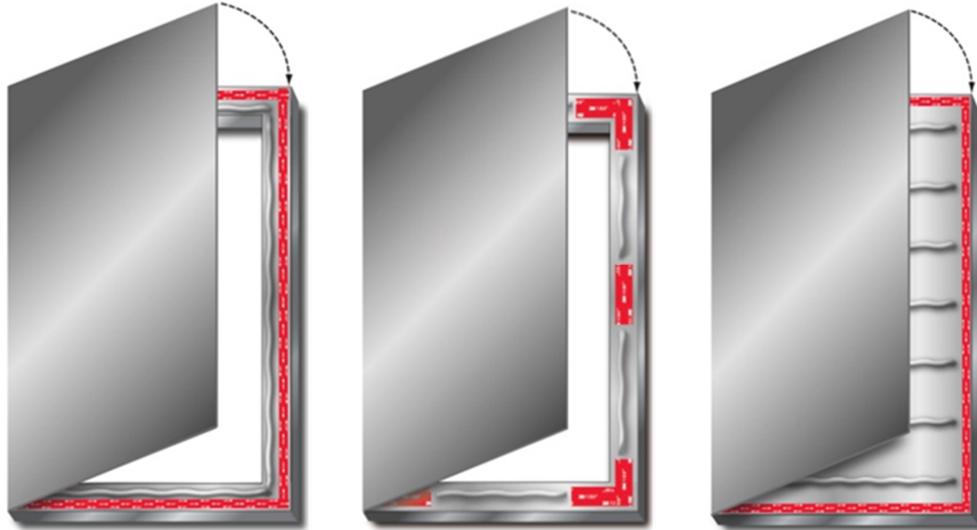
3M dispone de una tecnología única con más de 20 años de experiencia en uniones multi-materiales y que se desmonta con facilidad a arrancamiento: el sistema 3M™ Dual Lock™ se compone de un soporte con cierres que se enganchan fácilmente y al dorso incorpora la cinta 3M™ VHB™.

Esta combinación de cierres y adhesivo 3M™ VHB™ fuerte y elástico permite montar paneles y molduras con un solo “clic”, y desmontarlos con un esfuerzo de palanca adaptado.





**Figura 21.** Paneles registrables y desmontables con sistema 3M™ Dual-Lock™



**Figura 22.** Tipos de uniones Híbridas con cinta 3M™ VHB™ y Adhesivo Estructural 3M™ Scotch-Weld™

## 5 Uniones híbridas

Las uniones híbridas consisten en combinar un adhesivo estructural 3M™ Scotch-Weld™ con una cinta 3M™ VHB™.

La cinta 3M™ VHB™ proporciona:

- adhesión instantánea mejorando la productividad
- definición del grosor mínimo de la junta asegurando una capa mínima controlada, constante y así una unión elástica

El adhesivo estructural 3M™ Scotch-Weld™ proporciona:

- adhesión estructural después de curado
- capacidad de relleno



**Figura 23.** Ejemplo de aplicación con unión híbrida 3M™ VHB™ y Adhesivo Estructural 3M™ Scotch-Weld™

La combinación de estas dos tecnologías aporta ventajas considerables en el control de la geometría de la unión asegurando un funcionamiento correcto y estable del diseño, así como una mejora de productividad con la unión inmediata de las piezas.

Las uniones híbridas pueden combinar la cinta y el adhesivo según diferentes geometrías en función de las necesidades del diseño:

- aplicación de tiras de cinta y cordón de adhesivo paralelos



- aplicación discontinua de cinta y adhesivo alternando tira de cinta y cordón de adhesivo
- aplicación perimetral de la cinta y cordones transversales de adhesivo para cubrir grandes superficies.

## 6 Conclusiones

El ingeniero que diseña un proyecto con materiales compuestos dispone de muchas herramientas para evaluar el tipo de unión que mejor se adapte a su diseño.

Más allá del diseño está la productividad y la competitividad, tanto al nivel de costes como en diferenciación (peso, ruido, estética).

Los adhesivos y cintas 3M proporcionan muchas ventajas en cuanto a propiedades críticas para el diseño, como la elasticidad y la resistencia mecánica y a fatiga, pero también ayudan a incrementar la productividad con mejoras de rentabilidad y reducción de plazos de entrega.

3M como socio tecnológico es el mejor aliado de los ingenieros para los proyectos más complejos y exigentes.

## Referencias

- (1) Yu-Ping Yang George W. Ritter David R. Speth Edision Welding Institute Columbus, Ohio (2011)
- (2) 3M Structural Adhesive Selector Tool (2017)

