

## CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE ADHESIVOS PARA UNIONES ESTRUCTURALES SOMETIDAS A VIBRACIONES

J.C. del Real<sup>a</sup>, S. Martínez<sup>a</sup>, M.A. Martínez<sup>b</sup> y F. López<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidad Pontificia Comillas de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Dpto. Química y Materiales.

<sup>b</sup> Universidad Carlos III de Madrid. Dpto. de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

### RESUMEN

El uso del aluminio como material estructural aporta una serie de ventajas sustanciales, una buena relación resistencia-peso, una excelente resistencia a la corrosión, facilidad de reciclado, etc.. Por otra parte el empleo del aluminio como material hace necesario un replanteamiento en las técnicas de unión utilizadas, en las que los adhesivos estructurales son una alternativa viable frente a otros procesos empleados tradicionalmente.

La implantación de estas tecnologías de unión para el ensamblaje de estructuras, hace necesaria la caracterización de las propiedades mecánicas del adhesivo y de la unión. El ensayo de tracción con probetas monolíticas de material adhesivo permite obtener sus propiedades invariantes pero es problemático cuando estudia la unión adhesiva, pues el adhesivo está rodeado de sustratos de rigideces elevadas que impiden su deformación a diferencia de cuando está en masa. El ensayo de cizalla por tracción con solape simple, aún siendo el más utilizado, tampoco proporciona la información necesaria para el diseño, debido a factores, alguno de los cuales se estudia en este trabajo.

### Palabras claves

Uniones adhesivas, aleaciones de aluminio, ensayos de cizalla por tracción.

### 1. INTRODUCCION

En los últimos años el empleo de aleaciones ligeras base aluminio se está trasladando de la industria aerospacial a la industria automovilística con el desarrollo de estructuras más ligeras para los vehículos, debido fundamentalmente a los nuevos requerimientos del mercado y de las legislaciones ambientales [1].

Ahora bien, el empleo de aleaciones de aluminio, supone un replanteamiento no sólo en el diseño sino también en el proceso de fabricación. La sustitución de técnicas y elementos de unión como la soldadura, los tornillos o los remaches por adhesivos, no sólo implica una reducción de peso por la eliminación de estos elementos, sino que debe conllevar una mejora en las características estructurales del vehículo aumentando la seguridad de los pasajeros.

Uno de los beneficios esenciales de las uniones adhesivas es que no se distorsionan los componentes, como sucede al soldar. Otras ventajas de la adhesión estructural son [2]:

- La unión adhesiva ofrece uniones de mayor rigidez comparándola con fijaciones mecánicas o soldadura por puntos, porque produce una unión continua en vez de hacerlo en un punto localizado. Esto resulta en una distribución tensional más uniforme sobre una superficie mayor.
- Una unión bien diseñada tendrá una gran capacidad de absorción de energía de choque, así como buenas propiedades de amortiguamiento de vibraciones y de ruido. La unión adhesiva ha sido considerada como un proceso de bajo coste, comparativamente en términos de equipamiento.

Sin embargo, estas uniones tampoco están exentas de problemas, existiendo algunas limitaciones del proceso tales como:

- Los actuales adhesivos de altas prestaciones son epoxys o sistemas basados en disolventes, estando en los límites que generan impacto ambiental.
- Los adhesivos estructurales requieren en muchos casos curado por calor.
- La mala resistencia de las uniones adhesivas al pelado.

Respecto a este último punto, en la práctica, una estructura pegada tiene que soportar frecuentemente una combinación de tensiones de tracción, compresión, cortadura, desgarro y pelado. Por ello, para minimizar las tensiones de pelado e incrementar la robustez, se emplean uniones que limiten estos problemas, como las uniones de perfiles extruídos tubulares (figura 1).

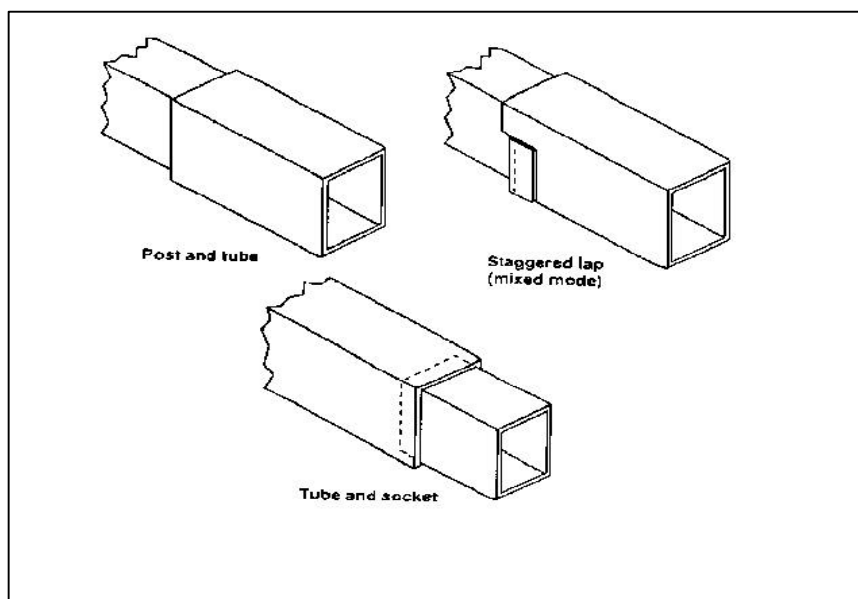


Figura 1. Configuraciones de uniones de perfiles tubulares

Otra limitación de la unión adhesiva es la influencia que tienen los tratamientos superficiales sobre su comportamiento mecánico [3]. Los tratamientos superficiales son necesarios, no sólo para eliminar contaminantes como lubricantes y aceites, sino que también para proporcionar el contacto íntimo necesario para que el adhesivo pueda unirse correctamente a la superficie del adherente. En el caso del aluminio, la limpieza normal no es suficiente para eliminar la capa de alúmina natural, que no es adecuada para el pegado, con lo cual hay que ir a tratamientos químicos o electroquímicos más efectivos que creen una capa de óxido más adecuada proporcionando una buena mojabilidad y adhesión superficial.

Otro problema añadido y objeto de este trabajo es la caracterización mecánica de estas uniones, donde entran en juego el material del adhesivo, los materiales de los adherentes, su estado superficial y el diseño de la unión.

Para los materiales estructurales se procede realizando ensayos estáticos con probetas monolíticas del propio material, obteniéndose a partir de ellas las propiedades mecánicas que lo caracterizan. En algunos casos pueden presentarse, en función del espesor, diferentes valores para el mismo material, como en el caso del factor crítico de intensidad de tensiones en modo I, que presenta valores diferentes dependiendo de que el estado de esfuerzos corresponda a deformación plana o a esfuerzos planos. En el resto de las propiedades las variaciones son mínimas. En general, para diseño, las propiedades dinámicas necesarias se extrapolan a partir de los datos estáticos.

El problema aparece al intentar aplicar estos valores en el diseño y cálculo de uniones adhesivas, donde los espesores típicos de adhesivo son del orden de décimas de milímetros y el adhesivo está rodeado de adherentes de rigideces elevadas. Por lo tanto el estado de tensiones en el adhesivo depende no sólo del estado de cargas aplicado globalmente a la unión, sino también del adherente y del diseño de la misma unión. Los datos obtenidos de ensayos de uniones, salvo algunos casos particulares, deben referirse al “sistema adhesivo-adherente” y al tipo de ensayo, no pudiéndose hablar de resultados aplicados directamente al adhesivo.

El ensayo más empleado para caracterizar las uniones adhesivas es el ensayo de cizalladura por tracción [4], debido a su facilidad de realización y por su simplicidad, además de ser representativo de muchas de las uniones adhesivas empleadas en la industria. Sin embargo los estudios realizados en este tipo de uniones demuestran que la distribución de tensiones sobre el adhesivo no es uniforme [5], por lo cual generalmente, el valor obtenido es la carga máxima aplicada sobre la unión. La excentricidad axial que existe en este ensayo (de acuerdo con la norma), genera un estado de tensiones de cizalladura y de tracción (pelado), las cuales se localizan en los extremos de la zona de solapamiento. Las tensiones de pelado constituyen el factor principal en la fractura de estas uniones, al facilitar la iniciación y propagación de la grieta en esta zona.

Los factores geométricos que se consideran de forma general a la hora de caracterizar un adhesivo, son la anchura de la adhesión, la longitud de solapamiento y los espesores de adhesivo y sustratos. La resistencia a cortadura es directamente proporcional a la anchura de solapamiento. Sin embargo, la relación entre longitud de solapamiento y resistencia de la unión no es lineal [6,7] .

En este trabajo se pretende realizar una modelización de este ensayo de cizalladura por tracción, para estudiar su comportamiento a fin de optimizar el valor de la superficie de adhesión y el espesor de la capa de adhesivo a emplear en cada sistema adhesivo-adherente.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las propiedades de los materiales que se han empleado en el modelo, en este caso una aleación de aluminio-magnesio-silicio EN AW-6082 y un adhesivo epoxy, se describen en la tabla 1.

Tabla 1: Propiedades del adhesivo y de los adherentes

Material	Módulo de Young (GPa)	Coefficiente de Poisson	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
6082 – T6	69,4	0.33	2.700
Adhesivo epoxy	4,3	0.35	1.700

El tipo de elemento utilizado para modelar ambos materiales es el SOLID – Brick 45 de 8 nodos (ANSYS), que se ajusta adecuadamente a estos ensayos simulados. El comportamiento mecánico del material se define como lineal e isótropo.

Las dimensiones de la probeta simulada corresponden con las definidas por la norma (25 x 100 x 1,6 mm), y un espesor de adhesivo de 1 mm.

Para cada longitud de solape aluminio – adhesivo – aluminio, se han realizando volúmenes diferentes para las zonas de las probetas de aluminio que están en contacto con el adhesivo.

El mallado se ha hecho con una malla fina en la zona del adhesivo en los tres ejes cartesianos. Los otros dos volúmenes de aluminio de la probeta se han mallado con modo variable para obtener más detalle en la zona cercana al solape y menos detalle en la zona más alejada al solape. De este modo, se reduce el número de nodos y elementos del modelo, y se

agiliza la obtención de soluciones. El número de elementos es 4.335, el número de nodos 5.696.

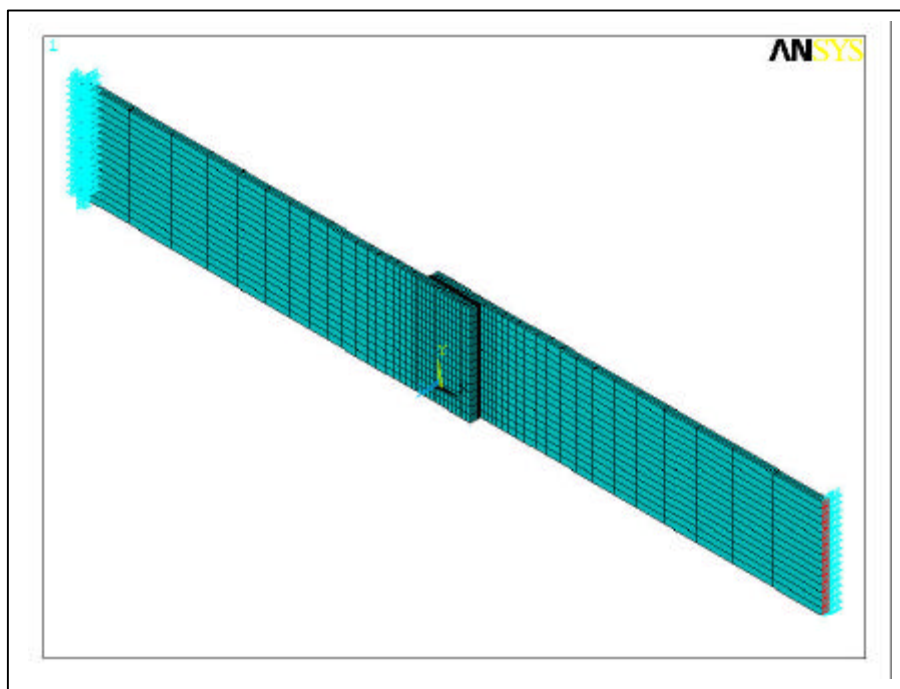


Figura 2. Modelo mallado con restricciones

Para realizar las simulaciones se empleó una tensión de 30 MPa aplicada a la superficie transversal de la probeta, que equivale a una tracción de 1200 N en el extremo de la placa de aluminio. Con estos datos, se realizaron simulaciones con longitudes de solape de 12,5 mm, 18,75 mm y 25 mm. Las restricciones empleadas limitan el movimiento de uno de los extremos y el otro puede desplazarse en el sentido de la aplicación de la fuerza. El número de nodos con restricciones es 240.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 3 se muestran las distribuciones de tensiones de pelado ( $S_{zz}$ ) para las longitudes de solapamiento de 12,5 mm, 18,7 mm y 25 mm y en la figura 4, las tensiones de cizalla ( $S_{xz}$ ) para las mismas longitudes de solapamiento.

Los resultados obtenidos están referidos al plano medio del espesor del adhesivo, que es donde mejor se observan estos efectos de máxima tensión en los extremos de la unión adhesiva. En cuanto a las distribuciones de tensiones y esfuerzos en la superficie media del adhesivo, el patrón que siguen todas es muy semejante en la forma de las curvas obtenidas.

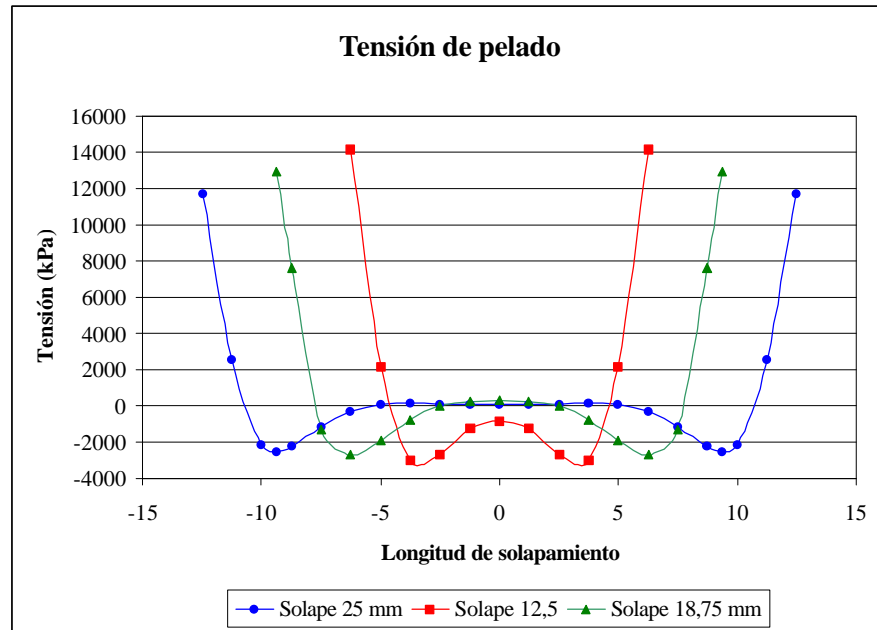


Figura 3. Distribuciones de tensiones de pelado

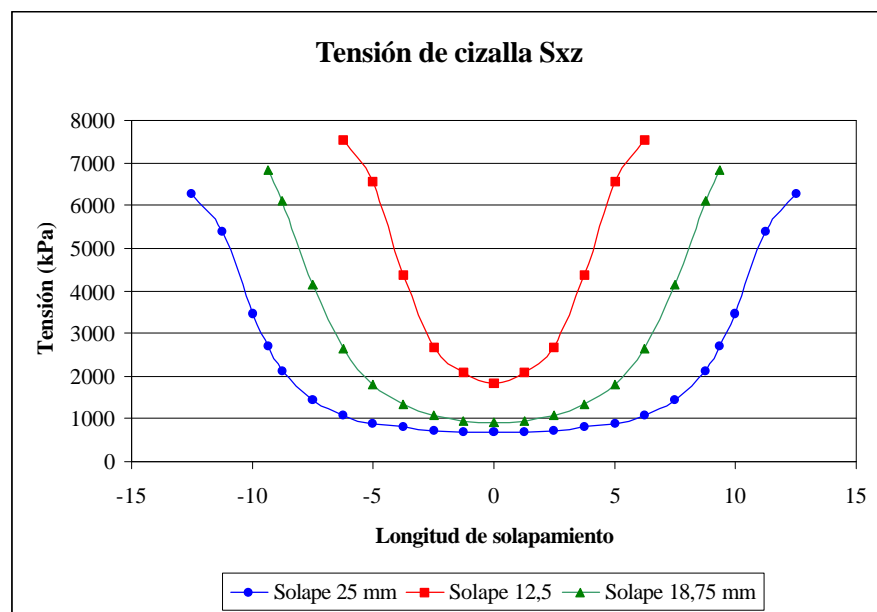


Figura 4. Distribuciones de tensiones de pelado

En la tabla 2 se muestra un resumen de los datos anteriores para las diferentes longitudes de solapamiento.

Tabla 2: Propiedades del adhesivo y de los adherentes

Longitud de solape [mm]	Tensión de cizalla Sxz [MPa]	Tensión de pelado Szz [MPa]
12,50	7,6	14,2
18,75	6,8	12,9
25,00	6,3	11,7

A la vista de las figuras 3 y 4, la longitud de solapamiento apenas tiene influencia en la resistencia de la unión a partir de una longitud mínima. Este efecto se debe a que las tensiones se acumulan en los extremos de la zona de solapamiento. Cuando se incrementa la longitud de solape, la tensión máxima disminuye para una fuerza dada. Si se sigue incrementando la longitud de solape, sólo se consigue una pequeña disminución de la tensión máxima, mientras que en las zonas centrales de la unión adhesiva existe una zona con tensiones prácticamente nulas.

Efectivamente como ya se había comentado, el valor de las tensiones de pelado es sustancialmente mayor a las tensiones de cizalla. Por ello, el efecto de la deformación de los adherentes es muy importante y la rotura se produce principalmente por dicho efecto.

A pesar de este “defecto” del método experimental de cizalla por tracción, la mayor parte de las uniones que se emplean son de este tipo y evidentemente tendrán este comportamiento en servicio.

#### **4. CONCLUSIONES**

Los resultados del análisis sobre la eficacia de incrementar la longitud de solapamiento reflejan que este incremento no tiene una respuesta lineal en la resistencia obtenida.

Se confirma con estas simulaciones la experiencia en el uso de adhesivos rígidos. Solapamientos superiores a 30 mm no tienen sentido, pues implican un consumo de adhesivo injustificado ya que gran parte de la zona central de la unión no aporta resistencia.

#### **5. REFERENCIAS**

1. W.S. Miller, L. Zhuang, J. Bottema, A.J. Wittebrood, P. De Smet, A. Haszler, A. Vieregge, Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. *Material Science & Engineering A*, vol 280, (2000), 37-49.
2. T.A. Barnes, I.R. Pashby, Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles. *Journal of Processing Technology*, vol 99, (2000), 72-79
3. Kevin J. Schoroeder, Structural Adhesives for Aluminum Vehicles. SAE Technical Paper Series 960166, (1996).
4. Norma UNE-EN 1465:96 Adhesivos. Determinación de la resistencia a la cizalladura por tracción de juntas pegadas de sustratos rígidos.
5. Adams, R.D, Wake, W.C. *Structural Adhesives Joints in Engineering*. Elsevier. London (1986).
6. A.J. Kinloch, *Adhesion and Adhesives*. Chapman & Hall. London (1989).
7. A.V. Pocius, *Adhesion and Adhesives Technology*. Hanser. Munich.(1997).