

# Adhesivos

## ¿Cómo trabajan los adhesivos?

EXTRAÍDO DEL WOOD BASED PANELS FEBRERO-MARZO 1998

Después de preguntar a los mejores especialistas de la tecnología del encolado *¿cómo o por qué encolan los adhesivos?*, la respuesta de la inmensa mayoría ha sido *“realmente no lo sabemos”*, pero entre los expertos existe un consenso cuando dicen que la unión se debe tanto a aspectos mecánicos como físico-químicos.

Esta respuesta es un poco frustrante, pero después de oír sus comentarios y observaciones se deduce que saben mucho más de lo que dicen pero no les gusta comprometerse con una respuesta específica. No es fácil definir todos los mecanismos que permiten unir dos superficies, pero entre los expertos existe un consenso cuando dicen que la unión se debe tanto a aspectos mecánicos como a aspectos físico-químicos. Si tomamos un material que tenga una superficie porosa, vemos que el adhesivo penetra en sus poros y establece una unión mecánica; si se aplica adhesivo sobre dos superficies con estas características, las unimos y después aplicamos presión conseguimos una unión estable y duradera. Un buen ejemplo de este tipo de unión son los ladrillos y el cemento. Este mecanismo no se puede aplicar a superficies que tengan sus superficies

lisas y no porosas, por lo que debe existir otro factor que explique la unión. En este caso la respuesta está en la atracción que se produce entre las moléculas de la superficie y las del adhesivo. Pero nos encontramos con que existen adhesivos que unen correctamente algunas materiales pero que no se pueden aplicar sobre otros, ya que después de aplicarlos sobre una superficie se despegan; estos hechos demuestran que no se puede aplicar la teoría de la unión molecular.

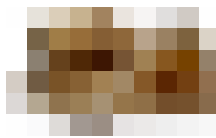
### **Arrhenius y Ostwald**

Los trabajos técnicos de estos dos químicos y físicos nos dan una idea de como trabajan los adhesivos, pero siguen existiendo algunas cuestiones que quedan sin respuesta. Svante August Arrhenius fue un profesor de física en la Universidad de Estocolmo desde 1895 hasta 1905 y Director de Física y Química del Instituto Nobel.

Es más conocido por sus complejos trabajos matemáticos denominados “la ecuación de Arrhenius”, que indica cómo una reacción química se podría acelerar cuando se incrementa la temperatura basándose en las propiedades moleculares de las sustancias objeto de estudio. Arrhenius ganó el premio Nobel por otro trabajo relativo a la disociación iónica, que fue ampliado posteriormente por Ostwald llegando a la aplicación práctica de la medida de la viscosidad. Posteriormente otro físico, Montsinger, demostró que la velocidad de las reacciones orgánicas podían reducirse a la mitad aumentando la temperatura 13°C, que tienen su traducción práctica en el tiempo de curado de los adhesivos.

Los trabajos de Arrhenius y Ostwald contribuyeron a desarrollar la teoría que explica que en ciertos materiales se producen unos flujos eléctricos que se

traducen en la división de las moléculas en partículas cargadas llamadas iones. Estos iones son muy activos y sólo pueden existir en soluciones, lo que les hace estar disponibles para atraer otros iones con la polaridad adecuada. La clásica ilustración de la disociación o disolución es el cloruro sódico, cuando se disuelve en agua los átomos de sodio ceden un electrón al átomo de cloro. La atracción eléctrica entre el átomo de sodio (positivo) y el átomo de cloro (negativo) mantiene unida la molécula, pero cuando se produce su disociación o disolución permite que se produzcan reacciones con otras partículas que tengan la carga eléctrica adecuada. El cloruro de amonio se comporta de la misma forma y es muy utilizado como endurecedor de las resinas de urea y de melamina, iniciando la condensación y la polimerización de la resina y contribuyendo a su unión con la madera durante la realización de la reacción. Este tipo de adhesivos que fraguan mediante calor funcionan, probablemente, de esta manera; al disociarse el adhesivo permite que los grupos terminales reaccionen con los del material al que se aplican. Nadie puede garantizar que esto sea cierto, pero parece



que es la explicación más real. Cuando un adhesivo no pega significa que la superficie sobre la que actúa no tiene grupos terminales con los que pueda reaccionar. Algunos aspectos del encolado no siguen este principio, lo que suele ocurrir en los plásticos y los metales.

unión se verá afectada negativamente, lo que sucede cuando la mecanizamos con herramientas no correctamente afiladas que comprimen la madera y cierran sus poros. Entonces podríamos asumir que la teoría química del encolado entre la madera y el

## Control de calidad en el encolado

EXTRAÍDO DE LA REVISTA XYLON Nº 2 Y 3 DE 1988

**La única forma de comprobar el comportamiento de la unión encolada es la realización de ensayos destructivos, pero no resulta viable desde el punto de vista de fabricación ya que sería disparatado comprobar mediante ensayo cada unión encolada.**



### Más información

Un agente encolante que está acaparando gran atención en el sector de los tableros de madera es el MDI (isocianato), que desarrolla una fuerte unión con las partículas de la madera y consigue tableros con unos comportamientos superiores frente a la humedad, a las elevadas temperaturas y a las inclemencias atmosféricas. A la hora de resumir la forma como se encola la madera parece que existen una serie de aspectos que siguen una cierta lógica. Al ser la madera un material poroso, la penetración del adhesivo en los poros de la madera colaboraría en la calidad del encolado. De este hecho podríamos deducir que si los poros están muy juntos la

adhesivo se desarrolla de acuerdo con la teoría de Arrhenius. El adhesivo parece que trabaja en los tableros derivados de la madera de acuerdo con esta teoría. Desde un punto de vista simplista, se puede decir que los tableros contrachapados y los de partículas muestran las condiciones necesarias para que se produzca una buena unión mecánica y una buena unión química; al considerar los tableros de fibras y otros productos obtenidos con el proceso húmedo, el tipo de fibra y su acondicionamiento son los factores básicos para asegurar una buena penetración y un buen encolado.

Existen varios factores que pueden afectar la calidad del encolado de la madera. La única forma de comprobar el comportamiento de la unión encolada y la posible influencia de esos factores es la realización de ensayos destructivos, pero no resulta viable desde el punto de vista de fabricación ya que sería disparatado comprobar mediante ensayo cada unión encolada.

El problema se solucionaría realizando la operación de encolado de la madera correctamente, para poder conseguirlo, el fabricante antes de realizar la operación, debe conocer con un cierto grado de seguridad que todo está correcto y preparado para realizarla. Nunca debemos olvidar un principio básico, "cualquier aspecto o parámetro puede cambiar durante el proceso de encolado", por ejemplo la maquinaria, los operarios, las condiciones ambientales, la estructura de la madera incluso utilizando la misma especie de madera, las propiedades del adhesivo,

etc. Por este motivo la operación de encolado de la madera requiere una supervisión estricta por parte del operario, que es el único capaz de detectar los cambios e identificar las correcciones a realizar para cada situación. Las cuestiones a tener en cuenta para conseguir una buena unión encolada son encolar las dos superficies de las piezas a unir con un adhesivo que tenga liquidez (una buena movilidad) y empezar a prensar cuando el adhesivo empiece a fraguar (a perder movilidad o liquidez). Estas condiciones aseguran la mejor penetración del adhesivo en la madera, ya que hemos empapado con adhesivo las caras de las dos piezas a unir y hemos optimizado la capacidad de adhesión.

### Seguimiento de las propiedades de la madera

Las propiedades de la madera tienen la misma importancia a la hora de conseguir una buena unión



## PRODUCTOS

encolada que el adhesivo que se utilice. Uno de los principales parámetros es el contenido de humedad de la madera, pero no hay que olvidarse del aspecto y de la temperatura de la superficie de la madera que juegan un papel muy importante y que a menudo se menosprecian.

### **A.- Contenido de humedad de la madera**

Todas las piezas de madera tienen que tener el contenido de humedad definido o requerido para las condiciones en las que se va a utilizar y para el tipo de cola a utilizar. La inmensa mayoría de los encolados se realizan con la madera seca (entre el 7 y el 12%).

El contenido de humedad se puede calcular por desecación hasta el estado anhidro ( $H = P_h - P_o/P_o$ ) o con un xilohigrómetro. El primer método es más exacto y requiere disponer de una balanza y una estufa de desecación. El segundo método es mucho más rápido, al ser su lectura inmediata, pero sólo es válido para intervalos de humedad comprendidos entre el 7 y 20% y suele tener un pequeño error de una unidad.

Un aspecto importante es la distribución homogénea de la humedad dentro de una misma pieza, sobre todo en piezas o láminas utilizadas para fabricar madera laminada, perfiles laminados, tableros alistonados, etc. Una distribución no homogénea puede provocar con el paso del tiempo que aparezcan posteriormente deformaciones en las piezas, que afectarán a la unión encolada. Este aspecto se soluciona

secando y almacenando correctamente la madera. Hay que recalcar la importancia de las condiciones de almacenamiento, ya que unas condiciones inadecuadas pueden provocar que el contenido de humedad de la superficie de la pieza sea mayor o menor que el del interior de la pieza. Además hay que tener en cuenta que las variaciones del contenido de humedad se producen más rápidamente en la dirección paralela a la fibra que en la perpendicular; por este motivo cuando se prevea un largo período de almacenamiento se recomienda proteger las testas de las piezas con producto especiales (pinturas que incluyen ceras).

### **B.- Control de las dimensiones**

Un parámetro muy importante que hay que inspeccionar es el grueso de las piezas cuando se encolen canto con canto o el ancho de la pieza cuando se encolen por las testas. En las uniones biseladas el ángulo de contacto es el parámetro más importante, mientras que en las uniones mortajeadas o entalladas son las dimensiones de las entalladuras, cajas y espigas, dientes, etc.

El problema de las dimensiones se centra exclusivamente en el ajuste de las máquinas utilizadas antes y después del mecanizado y en la comprobación posterior de las tolerancias del grosor en las piezas. Hay que tener presente que cuando se encolan dos listones el grueso de estos puede variar a lo largo del listón o entre listones. En el caso de que se produzca este hecho la presión

aplicada puede que no sea capaz de asegurar una buena superficie de contacto y provocará que aparezcan delaminaciones entre las uniones entre listones. Las chapas de madera suelen presentar el mismo problema, sobre todo en las uniones de chapas de diferentes gruesos unidas por sus cantos (chapas compuestas para rechapados), en este caso concreto la presión que se ejerce sobre las chapas compuestas no será uniforme y los operarios conocen de sobra los malos resultados o repercusiones que originan. Además en las zonas de menor grueso las piezas tienen menos cola. Lógicamente la diferencia de gruesos tiene más importancia en las especies con densidades elevadas que en las que tienen densidades más bajas, ya que en las primeras su capacidad de adaptación en espesor al aplicar la presión es menor.

### **C.- Control de la densidad**

La densidad de la madera, ya se alta o baja, juega un papel importante en todos los casos debido a su influencia en la cantidad de cola (dosificación) o en la presión a aplicar. Hay que tener en cuenta que la madera no es un material homogéneo y que la densidad de las piezas de una madera de la misma especie puede variar hasta un 30%.

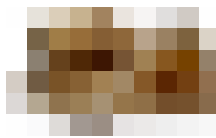
El cálculo de la densidad puede hacerse midiendo el volumen y el peso de las piezas. Se debería realizar una serie de mediciones para calcular la densidad media de la madera que se está procesando y asimismo

comprobar que la variación entre ellas no sea muy grande.

### **D.- Grado de mojabilidad de la superficie**

La habilidad de la superficie para ser mojada por la cola tiene una gran repercusión en la interfase adhesivo-soporte (sustrato). Este fenómeno recibe el nombre de "proceso de adhesión", que se puede definir como un movimiento molecular de formación de una capa de cargas negativas y otra de cargas positivas que se atraen entre sí y originan la adhesión.

El aspecto de la superficie puede influir en el mecanismo de adhesión, en la penetración del adhesivo y en la solidificación del mismo. En este caso la madera actúa como un filtro superficial para el agua que contiene el adhesivo (siempre y cuando se utilice un adhesivo acuoso, que es el caso más habitual). En otras palabras, deberíamos conocer si la superficie que se va a encolar tiende a ser hidrófila (absorbe los líquidos con facilidad) o hidrófoba (rechaza o no absorbe los líquidos con facilidad). Estas características son propias de cada madera y suelen estar relacionadas con los extractos que contienen y que aparecen en su superficie que repelen, en este caso, al adhesivo. Este hecho puede comprobarse fácilmente dejando caer una gota de agua sobre la superficie, si la gota de agua conserva su forma esférica estaremos en el caso de una superficie hidrófoba (no ayudarán al proceso de encolado) si por el contrario



## PRODUCTOS

la gota desaparece rápidamente estamos en una superficie hidrófila (presenta una buena mojabilidad que favorece el encolado). Esta característica que es inherente a la propia naturaleza de algunas especies de madera, en ciertas ocasiones se puede producir de forma artificial, por ejemplo la superficie de la madera puede estar inactiva debido a la presencia de residuos grasos o de aceites procedentes de las máquinas de mecanizado, a zonas quemadas originadas por un mecanizado defectuoso o por una mala elección del papel de lija, a un secado muy rápido o severo, etc. De forma general se puede decir que hay o se ha realizado algo incorrecto cuando aparecen zonas de madera con un color más oscuro que el habitual.

En algunas especies de madera que presentan estas propiedades hidrófobas se puede solucionar realizando un lavado enérgico con productos químicos adecuados.

### **E.- Control de la temperatura de la madera**

Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la temperatura de la superficie de la madera puede ser de algunos grados bajo cero (almacenamiento al aire libre en condiciones extremas) o de bastantes grados por encima de cero (cuando sale directamente del secado artificial). La temperatura de la madera tiene una gran influencia sobre la temperatura del adhesivo, ya que tiene mayor masa que la de la línea de cola y repercute

en su fraguado (endurecimiento de la cola). Si la superficie de la madera está a bajas temperaturas provoca que la cola no pueda formar una película sobre ella; si además los adhesivos incorporan endurecedores, las bajas temperaturas provocan que las reacciones cinéticas sean muy lentas. Si la cola no ha fraguado durante la operación de prensado se producirán posteriormente numerosos problemas.

Por el contrario, si la superficie de la madera está muy caliente se puede producir una absorción muy rápida del agua presente en la línea de encolado y producirse muy rápidamente una película de adhesivo; si además los adhesivos incorporan endurecedores, el fraguado de la cola se producirá antes de que las piezas se presen y provocará de nuevo muchos problemas.

La temperatura de la superficie de la madera afecta principalmente a las colas termofusibles. En este caso si la madera tiene una

temperatura superior a la de las condiciones ambientales simplemente soportará al adhesivo y no se formará la interfase o unión madera-adhesivo. De hecho un enfriamiento brusco de la línea de encolado minimizará las propiedades de mojabilidad, las propiedades del adhesivo y reducirá su capacidad de adhesión.

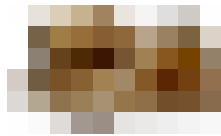
### **F.- Control de las condiciones de superficie**

Las condiciones de la superficie de la madera en el momento del encolado son muy importantes a la hora de maximizar el comportamiento de la cola. Las anomalías que pueden producirse abarcan un gran abanico de posibilidades que van desde la presencia de microfisuras (fisuras microscópicas) hasta la presencia de pelusillas de fibras sobre la superficie. Tales defectos influyen en la características del encolado, por ejemplo en el caso de las microfisuras parte de la cola se perderá al tener que realizar la función de

“reparar” las microfisuras y en el de la pelusillas de fibras otra parte de la cola se perderá al encolar estas fibras que no realizan ninguna función.

El estado de la superficie a encolar se puede comprobar colocando sobre dicha superficie una cinta adhesiva y despegarla de un tirón; la cantidad de fibras que arrastre la cinta adhesiva nos dará una idea del estado de la superficie (cuanto mayor número de fibras se arrastre, el estado de la superficie será peor). El ojo humano puede evaluar fácilmente si la superficie es aceptable (rugosidad, tendencia a deformarse, condiciones generales, etc.). Una superficie dañada por una mala mecanización o aplicación de los útiles o herramientas puede originar serios problemas. La presencia de sustancias, que puedan detectarse a simple vista antes de encolar o justo después de encolar, también suelen perjudicar la operación de encolado.






## PRODUCTOS

# Quilosa obtiene la ISO 9002

Industrias Químicas Lowemberg ha obtenido el certificado ISO 9002 con SGS.

Fundada en 1940 cuenta con una plantilla de 125 colaboradores y una facturación de 4500 Mpta. Es líder en el mercado de selladores y destaca en adhesivos y pegamentos y masillas de relleno 



### **G.- Control de las condiciones ambientales**

Las condiciones ambientales, temperatura y humedad relativa del aire, influyen en mayor medida sobre el adhesivo que sobre la madera. La operación de encolado debe realizarse

con condiciones ambientales controladas (normalmente 19-21 °C y 60-65%) que consiguen de forma general, unos 8 o 10°C por encima de la temperatura de fusión del adhesivo. Si el encolado se realiza con condiciones ambientales controladas las fuentes de calor o frío

localizadas alrededor de la zona de encolado tienen poca capacidad de influir o tienen un efecto limitado sobre la cola, especialmente cuando se encolan paquetes o lotes de tableros.

### **Control de las características de los adhesivos**

El operario debe conocer con total seguridad el contenido de cada bidón o lata de adhesivo (tipo de cola que contiene, cómo se realiza el fraguado y si el adhesivo a utilizar es el adecuado para la aplicación requerida). En las colas que utilizan endurecedores se recomienda comprobar el endurecedor mezclando la cola con la dosis definida a la temperatura especificada. La viscosidad de la mezcla de adhesivo o de las colas tiene una gran influencia en la penetración de la cola o del adhesivo en la madera y en su fraguado. La medida de la viscosidad nos permite saber si estamos trabajando adecuadamente. Antes de que un adhesivo líquido se solidifique existe un estado intermedio denominado "punto de solidificación", que marca el paso de líquido a sólido; la conversión final al estado sólido se produce en otra fase intermedia, denominada punto de transición vítrea. Esta fase que varía en función del tiempo y de la temperatura es reversible en los adhesivos termoplásticos e irreversible en el resto de los adhesivos. El punto de transición vítrea es el punto de máxima resistencia de la cola, que no se corresponde con el punto de su máxima duración. La finalización del proceso químico de fraguado se realiza a través de

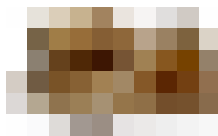
reacciones de reticulación intermolecular que requieren un cierto tiempo. La durabilidad de la unión encolada está directamente relacionada con la finalización de ese proceso químico.

La viscosidad indica la movilidad del adhesivo durante su aplicación y al mismo tiempo nos indica los límites para la aplicación del mismo. Existen diferentes equipos o instrumentos utilizados para medir la viscosidad, el más habitual es el viscosímetro Brookshield que se basa en las fuerzas generadas por la torsión de un rotor sumergido en el líquido en cuestión. Debido a que la temperatura influye sobre la viscosidad, todas las medidas deben realizarse a la misma temperatura.

Como regla general se puede decir que, en idénticas condiciones, los mejores resultados de encolado se consiguen cuando la cola se extiende sobre ambas superficies, cuando la película de cola crea una pequeña depresión después de su aplicación, cuando sigue permaneciendo pegajosa cuando se toca con el dedo antes de aplicar presión y cuando su densidad/dureza permite que se deforme fácilmente al aplicar presión.

Una de las condiciones de mayor importancia es su almacenamiento. Las colas tienen unos márgenes de almacenamiento muy cortos que dependen de su formulación. Los adhesivos de dispersión no reticulares pueden almacenarse sin problemas hasta un año, mientras que los que reticular no superan los 6 meses. Las colas de resinas





## PRODUCTOS

de urea con baja emisión de formaldehído son estables solamente unas pocas semanas, mientras que los adhesivos granulares termofusibles pueden almacenarse durante 1 año. Las condiciones ambientales del lugar de almacenamiento, y en particular la temperatura, son decisivas para la vida útil de cualquier tipo de cola. Por ejemplo las colas de poliuretanos almacenadas por debajo de 12-15 °C cambian su comportamiento. Las colas de dispersión basadas en polímeros de acetato de vinilo no se deberían almacenar con temperaturas inferiores a 5 °C (10 °C), mientras que las de urea con bajo contenido de formaldehído nunca deberían superar los 25 °C. El parámetro de control que se utiliza durante el periodo de almacenamiento es la viscosidad, que como se mencionó anteriormente puede influir en la aplicación y en la calidad del encolado. Finalmente tenemos que decir que la viscosidad también está relacionada con la vida útil de las mezclas de cola preparadas para su utilización, es el caso de las mezclas de multicomponentes, que incluyen la adición de un endurecedor, el cuál incrementa la viscosidad durante un cierto tiempo y alarga la vida del producto.

### **Control de calidad de los productos encolados**

El proceso de adhesión finaliza cuando los productos encolados salen de la prensa, aunque se siguen produciendo pequeños ajustes moleculares que comunican la resistencia y la durabilidad final de la unión

encolada. Estos ajustes llevan, de forma gradual, a la unión encolada a las condiciones de equilibrio en lo que se refiere a la temperatura y la humedad. En esto punto, cualquier mecanización posterior, incluyendo el corte, rebaje, lijado, etc., permite al operario comprobar cualquier fallo antes de que se comercialice el producto. Se pueden realizar inspecciones visuales con diferentes fuentes de luz y con diferentes ángulos de incidencia que nos permiten controlar la ejecución del encolado. Por ejemplo una luz con un ángulo de incidencia bajo es adecuada para comprobar los defectos superficiales producidos en las chapas encoladas, mientras que los rayos UV permiten identificar los fallos debido a las rebabas producidas principalmente cuando se utilizan las resinas de urea. La inspección de los cantos mecanizados nos permite comprobar la calidad del encolado, ya que la resistencia de la

unión encolada en esos puntos podría ser inferior debido a una cantidad insuficiente de endurecedor, a una presión inadecuada, o a una temperatura o una velocidad de secado superior a la de los bordes de la pieza. El ensayo normalizado para la comprobación del encolado de las chapas es la separación de las chapas utilizando un útil cortante y la evaluación posterior de la cantidad de fibras adheridas a la chapas. En los productos laminados, un ensayo rápido e inmediato consiste en introducir una placa metálica en la unión y forzar la rotura de la pieza golpeando la placa con un martillo (la placa tiene que incidir exactamente en la línea de cola, ya que si no fuera así se falsearía el resultado). La evaluación de las superficies separadas nos permite comprobar la calidad del encolado. Además de los controles iniciales de la resistencia del encolado, otras inspecciones visuales como la

aparición de juntas abiertas, burbujas y zonas sin cola nos aportarán información sobre la calidad del encolado. La toma de datos y las series históricas de información nos permiten evaluar más fácilmente la calidad del encolado. Para asegurar de forma fehaciente que un producto está bien encolado es necesario realizar ensayos físicos y mecánicos de acuerdo con las normas definidas. Los resultados de estos ensayos deberían archivar y realizar el correspondiente tratamiento estadístico para calcular la media histórica y la media rodante 