



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**LA SELECCIÓN, USO, APLICACIÓN Y EMPLEO SEGURO DE
ADHESIVOS EN LA INDUSTRIA Y EN LA VIDA COTIDIANA**

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

Luz Adriana Villagrana Velázquez



CDMX

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Modesto Javier Cruz Gómez**
VOCAL: **Profesor: Carlos Mauricio Castro Acuña**
SECRETARIO: **Profesor: Eduardo Vivaldo Lima**
1er. SUPLENTE: **Profesor: Ma. Guadalupe Lemus Barajas**
2° SUPLENTE: **Profesor: José Luis López Cervantes**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: FACULTAD DE QUÍMICA

ASESOR DEL TEMA:

MODESTO JAVIER CRUZ GÓMEZ

SUSTENTANTE:

LUZ ADRIANA VILLAGRANA VELÁZQUEZ

Índice

Introducción.....	7
1 Marco contextual	9
1.1 Objetivo general.....	9
1.2 Objetivos específicos	9
1.3 Justificación	9
2 Marco teórico.....	10
2.1 Generalidades de los adhesivos	10
2.2 Definiciones	11
2.3 Teorías de la adherencia	14
2.3.1 Adhesión mecánica	14
2.3.2. Teoría de la adsorción.....	16
2.3.3. Teoría electrostática	20
2.3.4. Teoría de la difusión	20
2.3.5. Teoría de las capas débiles: concepto de interfase.....	21
Tipos de esfuerzo o tensión.....	22
2.5 Métodos de adherencia	28
2.5.1 Diseño de la unión.....	28
2.6 Tratamientos Superficiales.....	30
2.6.1. Métodos mecánicos de abrasión	30
2.6.2. Limpieza con solvente	31
2.6.3. Limpieza con detergente.....	32
2.6.4. Métodos químicos.....	33
2.6.5. Métodos físicos.....	34
3. Tipos de adhesivos.....	36
3.1. Cianoacrilatos	36
3.1.1. Características.....	36
3.1.2. Mecanismo de reacción.....	36
3.1.3. Aplicaciones.....	38
3.1.4. Manejo	40

3.2. Anaeróbicos	41
3.2.1. Características.....	41
3.2.2. Tipos y aplicaciones	41
3.2.3. Mecanismo de reacción.....	46
3.3. Adhesivos epoxi	49
3.3.1. Características.....	49
3.3.2. Mecanismo de reacción.....	51
3.3.3. Manejo	53
3.3.4. Aplicación	53
3.4. Adhesivo de curado UV.....	54
3.4.1. Características.....	54
3.4.2. Mecanismo de reacción.....	57
3.4.3. Manejo	58
3.4.4. Aplicaciones.....	59
3.5. Adhesivos acrílicos estructurales	59
3.5.1. Características.....	59
3.5.2. Química	61
3.5.3. Manejo	62
3.5.4. Aplicación	62
3.6. Adhesivos de contacto	63
3.6.1. Características.....	63
3.6.2. Aplicaciones.....	64
3.6.3. Manejo	64
3.7. Adhesivos de poliuretano	65
3.7.1. Características.....	65
3.7.2. Aplicaciones.....	67
3.7.3. Mecanismo de reacción.....	67
3.7.4. Manejo.....	70
4. Costos.....	71
5. Conclusiones.....	72
6. Bibliografía.....	74

Índice de figuras

Figura 1. Fuerza de la unión (G).....	15
Figura 2. Gota de líquido en equilibrio sobre la superficie de un sólido.....	17
Figura 3. Método Du Noüy (1).....	18
Figura 4. Método Du Noüy (2).....	19
Figura 5. Método Du Noüy (3).....	19
Figura 6. Esfuerzo de cizalla o corte.....	23
Figura 7. Esfuerzo de tracción/compresión.....	23
Figura 8. Esfuerzo de pelado.....	24
Figura 9. Esfuerzo de desgarre.....	25
Figura 10. Separación por adhesión.....	25
Figura 11. Separación por adhesión (cable con Policloruro de vinilo espumado) .	26
Figura 12. Separación por cohesión.....	26
Figura 13. Separación por cohesión (policloruro de vinilo espumado y cable).....	26
Figura 14. Falla de sustrato.....	27
Figura 15. Falla de sustrato (corcho sintético y tapa de polipropileno).....	27
Figura 16. Adherencia en una superficie rugosa.....	33
Figura 17. Tratamiento de descarga de Corona.....	35
Figura 18. Mecanismo aniónico de polimerización de los cianoacrilatos.....	37
Figura 19. Mecanismo zwitteriónico de polimerización de los cianoacrilatos.....	37
Figura 20. Mecanismo radicalario de polimerización de los cianoacrilatos.....	37
Figura 21. Aplicación de cianoacrilato negro, porta objetos y clip metálico.....	38
Figura 22. Aplicación de sellador en tubería con cuerda dañada.....	43
Figura 23. Aplicación de sellador en tubería con cuerda dañada.....	43
Figura 24. Reacción inicial de los adhesivos anaeróbicos.....	46
Figura 25. Reacción de propagación de los adhesivos anaeróbicos (1).....	47
Figura 26. Reacción de propagación de los adhesivos anaeróbicos (2).....	48
Figura 27. Reacción de propagación de los adhesivos anaeróbicos (3).....	48
Figura 28. Fin de la reacción de los adhesivos anaeróbicos.....	49
Figura 29. Epoxi / Reacción amina.....	51

Figura 30. Epoxi / Reacción anhídrido.....	52
Figura 31. Epoxi / Reacción mercaptano.....	52
Figura 32. Aplicación de adhesivo de curado UV.....	55
Figura 33. Aplicación de adhesivo de curado UV.....	56
Figura 34. Aplicación de adhesivo de curado UV.....	56
Figura 35. Curado UV de un oligómero de acrilato.....	58
Figura 36. Reacción del polioliol y el diisocianato de tolueno.....	67
Figura 37. Primer paso de la reacción de agua isocianato.....	68
Figura 38. Segundo paso de la reacción de agua isocianato.....	68
Figura 39. Reacción de poliurea.....	69
Figura 40. Enlaces de entrecruzamiento y ramificación.....	70

Índice de tablas

Tabla 1. Tensión superficial de polímeros y materiales de referencia.....	20
Tabla 2. Diseño de uniones adhesivas.....	29
Tabla 3. Viscosidad de Cianoacrilatos.....	40
Tabla 4. Ejemplos de fijadores de tornillos.....	42
Tabla 5. Ejemplos de sellador de tubería.....	44
Tabla 6. Ejemplos de sellador de tubería hidráulica.....	44
Tabla 7. Ejemplos de retenedores de piezas cilíndricas.....	45
Tabla 8. Ejemplos de eliminadores de juntas.....	46
Tabla 9. Características de adhesivos epoxi.....	50
Tabla 10. Propiedades de los adhesivos de curado UV.....	54
Tabla 11. Ventajas y desventajas de los adhesivos de curado UV.....	57
Tabla 12. Ejemplos de adhesivos de contacto.....	64
Tabla 13. Características de los adhesivos de poliuretano.....	66
Tabla 14. Costos por gramo de adhesivo.....	71

Introducción

Un adhesivo puede definirse como aquel material que permite mantener dos cuerpos unidos “por el contacto interfacial íntimo de tal manera que la fuerza mecánica o el trabajo pueden ser transferidos a través de la [interfase]” (Wu, 1982, apartado 10.1). Existe una gran variedad de adhesivos de uso industrial y doméstico, algunos ejemplos son los cianoacrilatos, anaeróbicos, epoxi, metacrilatos (reactivos tenaces), ultravioleta, poliuretano y adhesivos de contacto.

Para elegir correctamente un adhesivo es importante tomar en cuenta sus características físicas y químicas; el diseño de la unión o el área de contacto entre ambos sustratos; la holgura o espacio; los esfuerzos a los que estará sometido (esfuerzos de corte, cizalla, tracción, pelado, etcétera); y a qué condiciones de temperatura y humedad estará sometido (Madrid, 2002, p. 13).

En ocasiones, aunque se haya elegido el adhesivo correcto, la unión presenta fallas, las cuales pueden deberse a que no se llevó a cabo la dosificación adecuada. Por esto es necesario capacitar al personal que se encarga de aplicar el material, sobre todo si lo maneja por primera vez, en cuanto a la cantidad de adhesivo, el área de aplicación y los riesgos químicos que representa su manipulación.

En general, los factores que se deben tomar en cuenta para evitar problemas de adherencia son el empleo de la mayor área de contacto posible; la alineación correcta de las uniones; la reducción de los esfuerzos de pelado y desgarre; evitar partes con curvaturas complejas y asegurarse de que la unión esté libre de contaminantes. Asimismo, en todos los casos es preferible que la unión se encuentre en ambientes de baja humedad y no se exponga a temperaturas extremas (Madrid, 2002, pp. 14-15).

Lo anterior sirve para indicar que el objetivo del presente documento es elaborar una guía para la selección, aplicación y empleo seguros de adhesivos industriales. El documento inicia con las generalidades de los adhesivos y

después introduce las teorías más relevantes sobre la adherencia; en este punto se desarrollan los principales conceptos empleados en la tecnología de adhesivos: energía superficial, tensión superficial y esfuerzo.

Dado que la adhesión es un fenómeno de superficie, en este trabajo también se abordan las dos técnicas más importantes para optimizar las funciones de los adhesivos: el diseño de las uniones y los tratamientos superficiales. En el primer caso se describen las posibilidades que existen para diseñar las uniones, de acuerdo con las propiedades mecánicas de los adhesivos y con los esfuerzos a los que se someten. En el segundo caso, se describen los distintos tratamientos empleados para incrementar la interacción molecular entre el sustrato y el adhesivo: limpieza con detergente o con solvente, métodos mecánicos de abrasión, métodos químicos y métodos físicos (tratamiento a la llama y descarga de Corona).

Finalmente, se proporciona información relevante sobre los siete tipos de adhesivos más utilizados en la industria: cianoacrilatos, adhesivos anaeróbicos, adhesivos epoxi, adhesivos curados con ultravioleta (UV), acrílicos estructurales, adhesivos de contacto y adhesivos de poliuretano. En específico, se describen las características generales de cada adhesivo, sus mecanismos de reacción química, las condiciones óptimas para su manejo y aplicación, y los principales usos que tienen.

Esta investigación se inspira en los manuales sobre química y tecnología de la adhesión, los cuales tienen el fin de mostrar las principales aplicaciones de los adhesivos en función de sus propiedades. En general, se pretende constituir un documento de consulta tanto para los interesados en la tecnología de los adhesivos como para los trabajadores de la industria que recurren a su uso.

Se aborda de manera breve un panorama general sobre los costos de estos materiales, debido a que la mayoría de las veces este factor es tomado en cuenta como prioritario.

1 Marco contextual

1.1 Objetivo general

Elaborar un documento integral de adhesivos para su adecuada selección en diversas aplicaciones y sustratos. El documento informará sobre las características físicas y químicas de cada tipo de adhesivo; con base en ello se identificará el método de dosificación, el pretratamiento a realizar de los sustratos (en caso de que se requiera) y el tipo de adhesivo que la aplicación necesite.

1.2 Objetivos específicos

En el presente documento se explicarán las características de cada uno de los siguientes adhesivos: cianoacrilatos, anaeróbicos, epoxi, metacrilatos (reactivos tenaces), ultravioleta, poliuretano y adhesivos de contacto. Lo anterior busca facilitar el análisis para la predicción de adhesión a ciertos sustratos y, si se requiere, de la aplicación de algún tratamiento de las superficies antes de la junta. Aunado a esta información se agrega un pequeño análisis de costos, puesto que, funciona como guía para determinación final del adhesivo a utilizar.

1.3 Justificación

En cualquier ámbito es necesario conocer los tipos de adhesivos, sus características y la teoría que los respalda. Lo anterior es fundamental, ya que las personas que manipulan el material están expuestas a las sustancias químicas que contienen. El impacto que tiene el conocimiento sobre las características de los adhesivos se percibe desde el adecuado y eficiente desempeño de la dosificación, reduciendo mermas que se reduce a disminuir pérdidas económicas; Muchas veces incluso se puede mitigar el precio alto de algunos tipos adhesivos, sin dejar de lado cumplimiento de las normas y reglas de seguridad e higiene que conlleva manejar dichas sustancias.

2 Marco teórico

2.1 Generalidades de los adhesivos

Existen registros que muestran que los adhesivos y selladores se han utilizado desde hace miles de años. Por ejemplo, en Tebas existen esculturas con una antigüedad de 3,300 años, las cuales se elaboraron con encolado en el chapeado de un tablón de madera; los egipcios unían las hojas de papiro con adhesivos fabricados con caseína, almidones y azúcar (Liesa y Bilurbina, 1990); en la construcción de Porta Nigra, en la antigua Roma, se han encontrado sustancias como leche, caseína, orina y sangre bovina que fueron usadas como adhesivos (Geiss, 2006, citado en Hartung y Boehm, 2011) y existen documentos chinos del año 1,000 a.C. que reportan el uso de sustancias provenientes de la boca del esturión usados como adhesivos en la construcción naval (Liesa y Bilurbina, 1990).

A mediados del siglo XVIII comenzó el desarrollo moderno de los adhesivos y selladores poliméricos, al mismo tiempo que la industria de los polímeros. A finales de este siglo se empezaron a aplicar otras sustancias como selladores, que consistían en una mezcla de polvos rellenos, pigmentos y aceites. Durante el siglo XIX hubo un avance tecnológico escaso de los adhesivos y la innovación más notable fue la erradicación de cera de panal como sellador principal (Cataño, 2002).

Aunque los verdaderos avances en la tecnología de los adhesivos se observaron durante la Segunda Guerra Mundial, a principios del siglo XX los adhesivos poliméricos sintéticos comenzaron a desplazar a los productos de origen animal debido a su efectividad. Entre 1940 y 1950 fue significativo el desarrollo de adhesivos y selladores estructurales por su uso en la industria aérea militar. Con la efectividad presentada en esta industria, se llegó a la conclusión de

que estos materiales serían un reemplazo económico de métodos mecánicos de unión, como la soldadura, el remachado y el braceado (Cataño, 2002, p. 4).

Actualmente, la adhesión es una ciencia con reglas básicas y métodos para llevar a cabo uniones de alto rendimiento, principalmente en las actividades industriales. Entre los objetivos a los que se enfoca el desarrollo de sus tecnologías está mejorar el tiempo y los costos de producción, crear métodos de elaboración y empleo amigables con el medio ambiente e investigar aplicaciones a nuevos sustratos, como plásticos, composiciones y cerámicas avanzadas.

2.2 Definiciones

Es complicado plantear una definición general de adhesivo, pero no del fenómeno que le da dicha cualidad: la adhesión. De acuerdo con Wu (1982, apartado 10.1):

Adhesión se refiere al estado en el que dos cuerpos diferentes se mantienen unidos por el contacto interfacial, de manera que la fuerza mecánica o el trabajo pueden ser transferidos a través de la [interfase]. Las fuerzas interfaciales que mantienen juntas las dos fases pueden surgir de fuerzas de van der Waals, de la unión química o de la atracción electrostática. La resistencia mecánica del sistema se determina no sólo por las fuerzas interfaciales, sino también por las propiedades mecánicas de la zona interfacial y las dos fases en masa.

Madrid (2002) define adhesivo como la sustancia que al aplicarse entre las superficies de dos materiales permite una unión resistente a la separación; como sustrato o adherente a los materiales que se busca unir con el adhesivo; y como adhesión al “conjunto de interacciones físicas y químicas que tienen lugar en la interfase adhesivo/ adherente” (p. 3). Finalmente, para Cataño (2002) un adhesivo es “una sustancia capaz de mantener por lo menos dos superficies unidas de manera fuerte y permanente” (p. 8); por su parte, en el área de la fisicoquímica, adhesión es “la atracción entre una superficie sólida y una segunda fase, la cual consiste en una capa fina líquida o sólida, debida a las fuerzas intermoleculares entre las superficies” (Cataño, 2002, p. 9).

De acuerdo con la función del adhesivo, existen dos tipos principales de unión:

- Unión estructural: las uniones de este tipo, por lo regular, tienen una larga duración y los sustratos pueden soportar grandes esfuerzos. Algunos adhesivos utilizados en estas uniones son cianoacrilatos, anaeróbicos, ultravioleta (UV), epoxi, entre otros (Cataño, 2002).
- Unión no estructural: este tipo de unión no presenta gran resistencia ni durabilidad y se utiliza para mantener materiales ligeros en su lugar. Los adhesivos usados en este tipo de unión son silicones, cintas adhesivas y adhesivos de contacto, entre otros (Cataño, 2002).

En Ingeniería y Tecnología de adhesivos se utiliza una serie de conceptos fundamentales. Dado que estos conceptos aparecen en el presente trabajo, se enlistan a continuación a manera de glosario. Cabe mencionar que muchos de ellos cuentan con definiciones en otras áreas, pero aquí solamente se mencionan aquellas relacionadas con el uso de adhesivos:

- Agente de curado o endurecedor: sustancia cuya función principal es que la resina pase de ser un sólido frágil o un líquido viscoso, a un material polimérico con resistencia y tenacidad (Cataño, 2002).
- Base: componente primario del adhesivo, el cual mantiene unidos los sustratos. Normalmente le da nombre al adhesivo y le proporciona características como mojado, curado, fuerza o resistencia ambiental (Cataño, 2002).
- Cohesión: influencia mutua que ejercen los átomos o moléculas de una sustancia. Se origina por las fuerzas intermoleculares de atracción, que mantienen juntos a los átomos o moléculas en el seno de una fase (Costa, 2005).
- Fuerzas de van de Waals: “fuerzas atractivas o repulsivas débiles entre entidades moleculares, o entre grupos dentro de una entidad molecular” (Costa, 2005, p. 259).

- Modificador: material empleado para aumentar la flexibilidad y/o elongación, reducir la viscosidad y mejorar la resistencia al pelado. Puede ser un plastificante, catalizador, acelerador, retardador, inhibidores o material de transporte (Cataño, 2002).
- Monómero: sustancia formada por moléculas monómeras, capaz de polimerizar, es decir, de unirse químicamente entre ellas para formar moléculas de polímero (Costa, 2005).
- Movimientos brownianos: es una consecuencia de las fluctuaciones de la densidad de un fluido. De acuerdo con la teoría cinética de la materia, se trata de una manifestación del movimiento térmico de las partículas de un disolvente. Esto puede ejemplificarse cuando partículas pequeñas, que pueden ser granos de polen o partículas inorgánicas, son suspendidas en líquidos y realizan movimientos muy irregulares sin descanso (Santamaría, 2013).
- Polímero: sustancia formada por moléculas con muchas partes o unidades, denominadas macromoléculas. La unión de estas moléculas es mediante enlaces covalentes y las unidades puede ser iguales o de diferente tipo (Costa, 2005).
- Solvente: sustancia que disuelve otras para formar una solución (Daintith, 2008). Ayuda al medio de la resina base para poder añadir con facilidad los aditivos. Se emplea también para disminuir la viscosidad de la mezcla y que su aplicación sea más sencilla (Cataño, 2002).
- Superficie: porción de adherente con la que interactúa el adhesivo (Cataño, 2002).
- Sustrato: soporte mecánico de una capa superficial. Consiste en el material a unir, puede tratarse de cualquier cuerpo sólido y, después de la unión, se le denomina adherente (Cataño, 2002).

2.3 Teorías de la adherencia

No existe una sola teoría de la adhesión que sea aplicable para todos los adhesivos. La adhesión existe en una diversidad de materiales y en cada uno de éstos se presentan distintos sistemas (Ashutosh, Hirak y Xuemei, 2016, apartado 7.3.2). Hay varios factores que influyen en la adherencia, pero hay uno que predomina dependiendo del tipo de mecanismo con el que el pegamento la promueva.

En algunos casos, principalmente los que involucran adsorción pura y fuerzas de difusión o atracción eléctrica, se encuentran en una interfase adhesiva. No obstante, lo más común es que la adhesión sea una combinación de todas las fuerzas motrices y atractivas, a excepción de los casos con sustratos difíciles de pegar (New Zealand Institute of Chemistry, 2017).

2.3.1 Adhesión mecánica

El fenómeno de la adhesión se ha explicado a partir de diversos modelos teóricos, uno de ellos es el de la adhesión o anclaje mecánico. Éste propuso que las uniones mecánicas eran posibles con materiales porosos en los que el adhesivo líquido se solidificara para formar una película sólida incrustada en los poros. De esta manera, las cavidades, poros y asperezas de la superficie sólida eran el principal factor en la determinación de la fuerza adhesiva (McBain y Hopkins, 1925).

Uno de los ejemplos más consistentes que ilustra la contribución de este modelo fue provisto por Borroff y Wake en 1950, quienes midieron la adhesión entre el hule y los textiles. Los investigadores demostraron que la penetración de los extremos de la fibra sobresaliente en el hule era el parámetro más importante en las uniones adhesivas. Sin embargo, la posibilidad de establecer otro modelo de adhesión para superficies lisas los llevó a la conclusión de que la teoría de la incrustación mecánica no podía considerarse universal (Pizzi y Mittal, 2003).

Para superar la dificultad anterior, Wake propuso que los efectos tanto de la adhesión mecánica como de las interacciones interfaciales termodinámicas pueden considerarse factores multiplicadores para estimar la fuerza de la unión G (Figura 1):

Figura 1. Fuerza de la unión (G)

$$G = (\text{constante}) \times (\text{componente de adhesión mecánica}) \times (\text{componente de interacciones interfaciales})$$

Fuente: Pizzi y Mittal (2003)

De acuerdo con la fórmula anterior, se debe lograr un alto nivel de adhesión al mejorar tanto la morfología de la superficie como las propiedades fisicoquímicas superficiales del sustrato y del adhesivo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la mejora de la adherencia por manipulación mecánica puede atribuirse simplemente al aumento del área interfacial debido a la rugosidad superficial, en la medida en que las condiciones de humedad permiten la penetración del adhesivo en los poros y cavidades (Pizzi y Mittal, 2003).

En 1992, el trabajo de Packham y colaboradores subrayó el papel que tiene la textura de la superficie de los sustratos al determinar la magnitud de la resistencia del adhesivo. Específicamente, se encontraron valores altos de resistencia al pelado de polietileno sobre sustratos metálicos cuando se formaba un tipo de superficie de óxido áspero y fibroso sobre el sustrato.

Finalmente, en 1996 Ward y colaboradores enfatizaron la mejora en la adhesión por medio de una prueba de extracción, con fibras de polietileno tratadas con plasma y resina epoxi. En este caso, se descubrió que los tratamientos con plasma, a largo plazo, crean una estructura marcada con picaduras en la superficie de polietileno, que puede rellenarse fácilmente para obtener una buena humectación.

2.3.2. Teoría de la adsorción

La teoría de la adsorción termodinámica es la teoría de adhesión más aceptada actualmente en la ciencia de los adhesivos, pues propone que los materiales se adhieren debido a un íntimo contacto intermolecular en la interfase (líquido-sólido). El tipo de fuerzas interfaciales más comunes son las fuerzas de Van der Waals y su cualidad puede atribuirse a diferentes efectos (Lahoud, 2002):

- a) Fuerzas de dispersión o de London: implica una atracción por dipolos instantáneos e inducidos, en la que los electrones se mantienen en constante movimiento aleatorio.
- b) Fuerzas de Keesom: se producen por “la interacción directa de dipolos permanentes en moléculas vecinas de dos o más compuestos polares, en las cuales los dipolos se orientan para disminuir su energía interna y de esta manera lograr una atracción máxima” (Lahoud, 2002, p. 43).
- c) Puente de hidrógeno (H): es la fuerza de atracción entre dos moléculas que están constituidas por un átomo o grupo de átomos fuertemente electronegativos, tales como oxígeno y flúor, así como por uno o más átomos de hidrógeno.

Estos mecanismos explican la fuerza de unión del adhesivo con el sustrato. El contacto de los materiales es en extremo importante, aunque por sí mismo no es suficiente para que ocurra una adhesión adecuada; por eso es necesario tomar en cuenta las particularidades de los adhesivos.

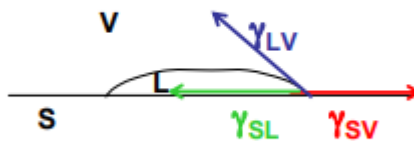
El mojado es la propiedad de algunos líquidos de extenderse espontáneamente en los sustratos sólidos cuando ambos entran en contacto. Es uno de los factores con mayor influencia en la fuerza adhesiva de la unión. Esta característica puede definirse cuantitativamente con referencia a una gota de líquido depositada en reposo sobre la superficie de un sólido (Kinloch, 1987).

Para una adhesión óptima, el adhesivo debe humedecer completamente las superficies de los sustratos que se van a unir. Esto significa que fluya, cubra la superficie y de ser posible se impregne en el sustrato, para así maximizar tanto el área de contacto como las fuerzas de atracción entre el adhesivo y la superficie. Por lo anterior es importante determinar la capacidad que tiene el adhesivo de mojar un sustrato, si se conoce el ángulo de contacto del líquido sobre la superficie del material. A partir de los valores del ángulo se pueden calcular la energía superficial (o energías de superficie) y la tensión superficial (Vallejo y Perilla, 2008).

La energía superficial se define como la energía que se necesita para aumentar la superficie por unidad de área. Como ya se dijo, un ejemplo para ilustrar la energía superficial es el de los líquidos. Esta teoría queda demostrada cuando un líquido está en ausencia de distorsión gravitacional —es decir, la energía asociada con la existencia de una superficie—, el líquido tiende a ir a su estado de energía superficial más bajo: el de una esfera (Adhesive and glue, s.f).

En la Figura 2, γ_{LV} , γ_{SV} , y γ_{SL} representan la energía superficial específica o tensión superficial de las interfaces líquido-vapor, sólido-vapor y sólido-líquido respectivamente. El mojado es una consecuencia de la interrelación de las tensiones superficiales presentes en la interfase sólido-líquido, por tanto se considera una medición directa de las fuerzas intermoleculares que exista en esta.

Figura 2. Gota de líquido en equilibrio sobre la superficie de un sólido



Fuente: Departamento de Química-Universidad de Valencia (s. f.)

Normalmente, las unidades de medición de la energía superficial son los milijoules por metro cuadrado (mJ/m^2), mientras que la tensión superficial se da en unidades de dinas por centímetro (dyn/cm) o newtons por metro (N/m). Las tensiones superficiales de los líquidos orgánicos y de la mayoría de los líquidos inorgánicos rara vez exceden el valor del agua ($32 \text{ dyn}/\text{cm}$). En los líquidos puros, la energía superficial es numéricamente idéntica a su tensión superficial.

Sabiendo esto, se afirma que los sustratos difíciles de pegar tienen baja energía superficial, lo que provoca que el adhesivo no humedezca la superficie. En este sentido, para que un adhesivo humedezca una superficie, su energía superficial debe ser menor o tan baja como la del sustrato a unir (SCIGRIP, s.f.).

Las energías de superficie de los líquidos se determinan fácilmente midiendo la tensión superficial con el método Du Noüy, que consiste en sumergir un anillo de platino en un líquido y posteriormente medir la fuerza necesaria para separar el anillo de la superficie (Castellan, Salager y Adamson citados en Galindo, 2011).

Como se aprecia en las Figuras 3, 4 y 5, el método paso por paso consiste en colocar un anillo de platino limpio debajo de la superficie del líquido de prueba; después, el recipiente se mueve lentamente hacia abajo hasta que el anillo rompe la superficie del líquido. La fuerza se registra y, por medio de factores de conversión apropiados, se calcula la tensión superficial del líquido. Un método similar es el de Wilhelmy, en el que se mide la fuerza de un líquido en una placa que pasa a través de su superficie.

Figura 3. Método Du Noüy (1)



Fuente: imagen tomada en laboratorio unificado de físico-química.

Figura 4. Método Du Noüy (2)



Fuente: imagen tomada en laboratorio unificado de físico-química.

Figura 5. Método Du Noüy (3)



Fuente: imagen tomada en laboratorio unificado de físico-química.

A partir de estas pruebas es posible calcular la tensión superficial de diversas sustancias y materiales. En la *Tabla 1* se muestra la tensión de algunos polímeros y materiales de referencia.

Tabla 1. Tensión superficial de polímeros y materiales de referencia

Material	Tensión superficial (dyn/cm)
Poliétileno (PE)	31-32
Polipropileno (PP)	29-30
Vinilo Rígido (PVC)	38
Vinilo Flexible (PVC)	35
Poli estireno (PS)	32-36
Vidrio Acrílico	40-44
Poli carbonato (PC)	42-44
Poliéster (PE)	42

Fuente: elaboración propia con información de Mactac (s. f.)

2.3.3. Teoría electrostática

La teoría electrostática de adhesión explica las fuerzas de atracción adhesiva en cuanto a los efectos electrostáticos en una interfase. De acuerdo con esta teoría, la atracción electrostática creada por el contacto del adhesivo con el sustrato, sucede debido a que ambos tienen bandas de estructura electrónicas diferentes. El resultado es la formación de una doble capa de carga eléctrica en la interfase adhesiva. Algunos investigadores sugieren que estas fuerzas electrostáticas contribuyen fuertemente a la adhesión; sin embargo, se ha creado controversia con esta teoría debido a que otros investigadores proponen que las cargas electrostáticas son consecuencia de la unión y no su causa (Ebnesajjad y Landrock, 2015).

2.3.4. Teoría de la difusión

Esta teoría se aplica a la adhesión de polímeros compatibles entre sí y a la unión de sustratos de la misma composición polimérica (*autoadhesión*). La teoría establece que la adhesión se debe a la mutua difusión de moléculas poliméricas a

través de la interfase, y que segmentos de cadena del polímero o macromolécula poseen suficiente solubilidad y movilidad para realizar la difusión en el sustrato y en el adhesivo, lo cual hace que incluso resulte difícil apreciar la interfase. Algunas veces, este tipo de adhesión requiere de la presencia temporal de un disolvente, el cual plastifica la superficie de los polímeros e incrementa la movilidad de las macromoléculas en la región interfacial. En resumen, este fenómeno se encuentra limitado a la autoadhesión, a la adhesión de polímeros compatibles y, posiblemente, también a la soldadura termoplástica o con disolvente (Kinloch, 1987).

2.3.5. Teoría de las capas débiles: concepto de interfase

A partir de esta teoría se visualiza microscópicamente la unión y se piensa en las distintas capas formadas con diferentes propiedades de materiales al entrar en contacto el sustrato con el adhesivo. Al no ser componentes puros, la formación de las capas tiene diversas características y, por lo tanto, puede existir una falla cohesiva de un material de capa débil. Las capas débiles pueden originarse a partir del adhesivo, el sustrato, el medio ambiente o una combinación de cualquiera de los tres elementos. Cuando se forma una grieta, la falla está en la capa débil, aunque pueda parecer que ocurre en la interfase adhesivo-adherente (Ebnesajjad y Landrock, 2015, p. 13).

La solidificación es un proceso primario en la vida de un adhesivo. Durante esta etapa, pueden formarse nuevas capas y, si resultan débiles, la unión final también lo será. Un ejemplo de una capa débil formada durante la solidificación es el subproducto de la reacción química de formación. Sobre esto, ciertas superficies metálicas activas, como el titanio, reaccionan con algunos endurecedores químicos usados en formulaciones adhesivas.

Por otra parte, una superficie limpia y reactiva del sustrato también puede contaminarse por los componentes del propio adhesivo, podría contener agua o componentes de bajo peso molecular que se pueden adsorber en la superficie del sustrato. En este sentido, durante el período de exposición —en el cual se realizan

la aplicación y el ensamble— las capas débiles podrían producirse debido a la difusión de la humedad ambiental a través del adhesivo o el adherente; además, los plastificantes, solventes u otras sustancias de bajo peso molecular también pueden migrar fuera del adhesivo y depositarse en la interfase.

Algunas capas débiles presentes en el momento de la aplicación del adhesivo son los sustratos de polietileno y metal. Los sustratos de polietileno usualmente tienen un componente débil de bajo peso molecular distribuido uniformemente a través del polímero. Esta capa débil está presente en la interfase y contribuye a la baja fatiga cuando el polietileno no tratado se utiliza como adhesivo o adherente, y se encuentra contaminado con óxidos metálicos (óxido de aluminio), estos son muy fuertes y no afectan significativamente la resistencia de la unión. Sin embargo, otros óxidos, como los asociados con cobre y aleaciones de cobre, son débiles y requieren eliminación antes de la aplicación del adhesivo (Ebnesajjad y Landrock, 2015).

Las capas débiles, como los constituyentes de polietileno de bajo peso molecular y los óxidos de cobre, pueden eliminarse o reforzarse mediante diversos tratamientos de superficie. Antes de aplicar el adhesivo, el método más común para eliminarlas es el desplazamiento del aire por el adhesivo, lo cual corresponde al método de mojado, por mencionar algún ejemplo.

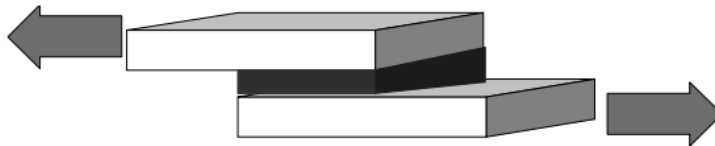
Tipos de esfuerzo o tensión

Al realizar una unión adhesiva, es importante considerar los esfuerzos a los que se va a someter. En términos prácticos, esto significa que antes de elegir el tipo de adhesivo que se empleará, se deben tomar en cuenta la naturaleza y la magnitud del esfuerzo mecánico que tendrá la unión. Específicamente, existen cuatro tipos de esfuerzos: cizalla o cortadura, tracción/compresión, pelado y desgarre.

a) Cizalla o corte

Las tensiones de corte o cizalla son paralelas a la unión y al plano (Ebnesajjad y Landrock, 2015, p. 340). Este tipo de tensión brinda un esfuerzo uniforme al área unida, cuyo resultado es una unión resistente. Siempre que sea posible, las uniones deben formarse de tal manera que la mayor parte del esfuerzo se transmita a través de la unión como una carga de corte (Figura 6).

Figura 6. Esfuerzo de cizalla o corte

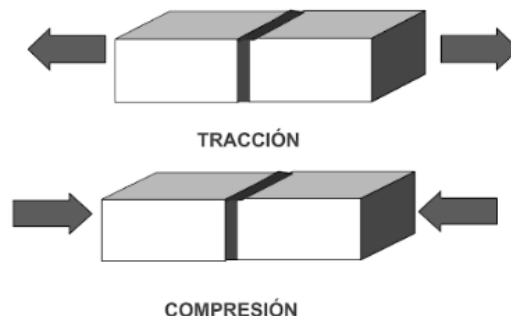


Fuente: Madrid (2002)

b) Tracción/Compresión

El esfuerzo de tracción actúa de forma perpendicular al plano de unión. Si éste se distribuye uniformemente sobre la sección, las uniones muestran buena resistencia porque todo el adhesivo contribuye a ella; pero si el esfuerzo se concentra en algún punto de la superficie, la resistencia no será uniforme. Por su parte, la compresión implica una tensión en sentido contrario al de la tracción; se trata del esfuerzo que tiene menos probabilidades de falla (Conesa, 2003) (Figura 7).

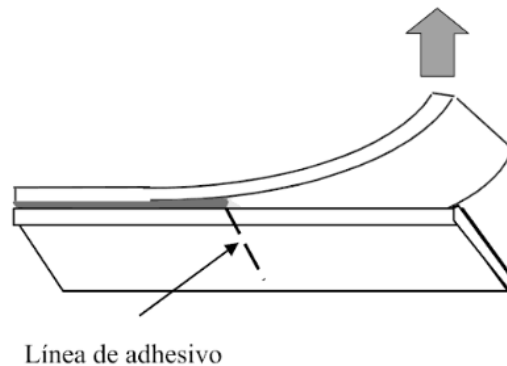
Figura 7. Esfuerzo de tracción/compresión



c) Pelado

Este tipo de esfuerzo implica una tensión muy alta en el límite de uno de los sustratos, que es el punto donde se encuentra la mínima resistencia de las uniones adhesivas. Esto produce la falla de la unión, a menos que el área sea amplia o el esfuerzo mínimo. Este ejemplo de esfuerzo es ejercido cuando uno o ambos sustratos son flexibles (Conesa, 2003) (Figura 8).

Figura 8. Esfuerzo de pelado

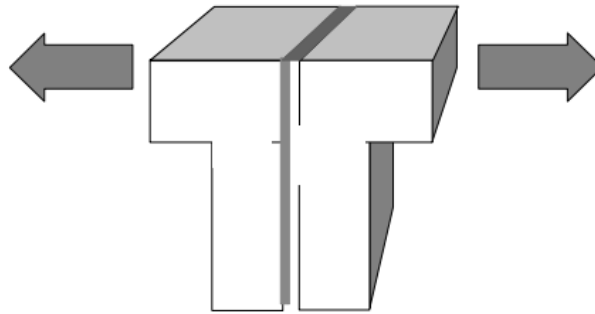


Fuente: Conesa (2003).

d) Desgarre

Consiste en una variación de pelado en la que los dos adherentes son rígidos (Ebnesajjad y Landrock, 2015, p. 341). Este tipo de esfuerzo suele ser el resultado de una fuerza de tracción y, a diferencia de los casos anteriores, el esfuerzo no se distribuye de manera uniforme, sino que se concentra en un lado de la unión. Se necesita un área unida lo suficientemente grande para adaptar dicho esfuerzo, en cuyo caso la unión necesitará más adhesivo (Figura 9).

Figura 9. Esfuerzo de desgarre

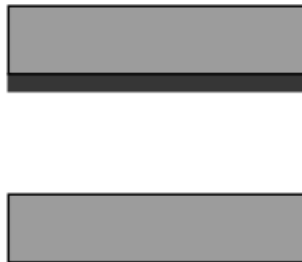


Fuente: Madrid (2002).

La adhesión de dos sustratos puede evaluarse si se realiza un ensayo de rotura de la unión adhesiva. Después de que los materiales fueron unidos, se debe aplicar el esfuerzo necesario para analizar qué es lo primero que sucede. A partir de esto, la falla de una unión adhesiva puede ser de tres tipos (Madrid, 2012):

- a) Separación por adhesión: la separación ocurre en la interfase sustrato-adhesivo. Esto significa que el adhesivo no fue seleccionado adecuadamente, ya que, además de no haber mantenido los sustratos juntos en alguno de ellos no dejó algún residuo (Figuras 10 y 11).

Figura 10. Separación por adhesión



Fuente: Madrid (2002)

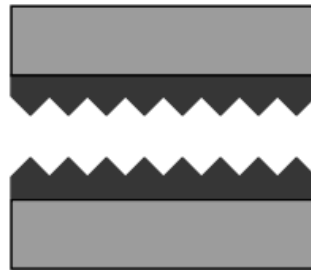
**Figura 11. Separación por adhesión
(cable con Policloruro de vinilo espumado)**



Fuente: imagen propia

- b) Separación por cohesión: en esta separación ocurre la ruptura del adhesivo. Esto sucede, regularmente, cuando se aplica adhesivo en exceso (Figuras 12 y 13).

Figura 12. Separación por cohesión



Fuente: Madrid (2002).

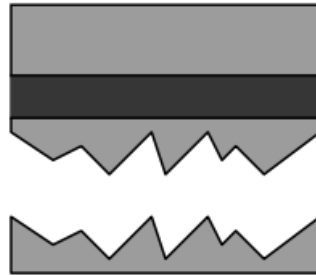
**Figura 13. Separación por cohesión
(policloruro de vinilo espumado y cable)**



Fuente: imagen propia

- c) Falla de sustrato: ocurre cuando el sustrato se rompe antes que la unión adhesiva o que la interfase entre sustrato y adhesivo (Madrid, 2012, p.5). Está sería la unión ideal ya que es más fuerte que la misma estructura del material a unir (Figuras 14 y 15).

Figura 14. Fallo de sustrato



Fuente: Madrid (2002).

**Figura 15. Fallo de sustrato
(corcho sintético y tapa de polipropileno)**



Fuente: imagen propia

2.5 Métodos de adherencia

Existen dos métodos a partir de los cuales se puede favorecer e incluso lograr la adherencia en materiales que son complicados de unir: una es el diseño de la unión y otro es el tratamiento superficial del sustrato.

2.5.1 Diseño de la unión




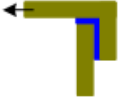
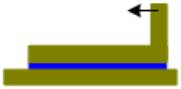

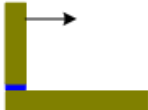
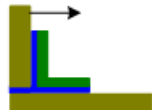
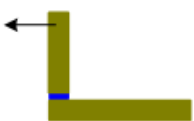
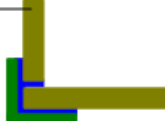


Conocer las propiedades mecánicas del adhesivo permite predecir el comportamiento de una unión adhesiva. Para aplicar reglas empíricas en un diseño certero y obtener adhesiones correctas, es importante saber los esfuerzos a los que estarán sometidos los elementos que se unirán. También se pueden generar modificaciones de esfuerzo debido a la alteración del sistema, como en la temperatura o en la humedad.

La Tabla 2 proporciona detalles particulares sobre el diseño de varios tipos de unión en diferentes condiciones de esfuerzo. Las aplicaciones se cumplirán cuando el esfuerzo en la unión sea muy bajo. Los diseños en esta imagen no deben considerarse restrictivos, dado que pueden modificarse para adecuarse a las necesidades. Lo que sí importa es reducir las tensiones que se ejercen directamente en la unión, al añadir algún soporte o cambiar ligeramente la estructura. En caso de que la unión tenga que resistir la rotura y/o el esfuerzo de presión, se deben tomar medidas para garantizar que la tensión máxima sea lo suficientemente baja.

El esfuerzo se puede reducir si se aumenta el área de unión o se agregan elementos adicionales que cumplan la función de una conexión mecánica, por ejemplo un perno o un remache. En los casos en los que se decida aumentar el área de unión, es preferible aumentar el ancho de unión en lugar de la cantidad de solapamiento. En general, algunas pautas básicas del diseño de la unión adhesiva son:

- Reducir el esfuerzo cuando se emplea el pelado y el desgarre. Esto se puede lograr incrementando el área de unión, agregando refuerzos o conexiones mecánicas, tales como pernos o remaches (Shields, 1985).
- Los esfuerzos por cizalla y por tracción son deseables, dado que implican la aplicación de una carga uniforme (Shields, 1985; Madrid, 2002).
- Emplear la mayor área posible de unión, en atención a las limitaciones en el costo de la aplicación (Madrid, 2002).
- Alinear las uniones para que los esfuerzos sean absorbidos en la dirección de mayor resistencia de la unión (Madrid, 2002).

Tabla 2. Diseño de uniones adhesivas

Incorrecto	Correcto
	
	
	
	
	
	

Fuente: Kopeliovich (s.f.).

2.6. Tratamientos superficiales

Como se ha visto hasta este momento, la adhesión es un fenómeno de superficie. De este modo, “la fuerza de una unión depende no sólo de la cohesión del adhesivo (o adherente), sino también del grado de adhesión a las superficies” (Shields, 1985, p. 87).¹ Dado que el espesor de la interfase adhesiva tiene una magnitud determinada por las distancias intermoleculares, se advierte que cualquier otra sustancia ajena al adhesivo y al sustrato (o incluso una capa exterior con otra composición a la del sustrato) interfiere en la eficacia de la adhesión (Madrid, 2002).

La durabilidad de la unión depende de procesos que aseguren la optimización de la adhesión, así como la maximización del grado de interacción molecular entre el adhesivo y el sustrato. A dichos procesos se les denomina *tratamientos superficiales*. Aunque éstos no son indispensables, optar por alguno depende de en gran parte de las condiciones del material del sustrato, el tipo de adhesivo elegido, los requerimientos de carga de la unión, el ambiente, el tiempo de vida, los costos del proceso y los recursos disponibles (Shields, 1985). A continuación se presentan los tratamientos más usuales.

2.6.1. Métodos mecánicos de abrasión

Los métodos mecánicos son convenientes para eliminar el óxido, la pintura y salpicadura de soldadura, e implican el uso de lijas o herramientas abrasivas, como cepillos de alambre y raspadores, así como la aplicación de procedimientos más intensos, entre ellos la abrasión a chorro. Por esta razón, estos métodos se emplean en metales caracterizados por una rápida oxidación, como el aluminio.

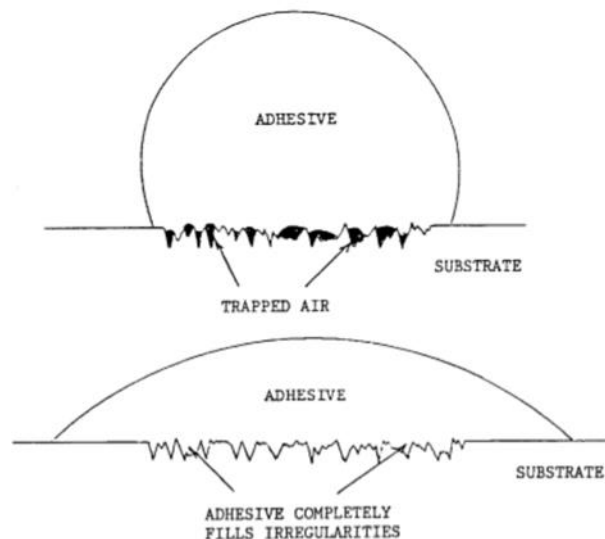
Una desventaja del proceso de abrasión mecánica es que produce residuos que se acumulan en la superficie; éstos provienen del abrasivo empleado, los

¹ La traducción es propia.

contaminantes superficiales y el material de la superficie en sí. En este sentido, es importante realizar la limpieza del sustrato antes y después del tratamiento de abrasión, con el fin de eliminar el polvo, residuos y contaminantes derivados del proceso, los cuales tendrían el potencial de debilitar la interfase. Finalmente, un enjuague con agua o solvente sirve para remover las partículas restantes (Shields, 1985).

De igual forma, otro aspecto por considerar cuando se usa este método es que no debe excederse el nivel de abrasión, ya que puede provocar protuberancias en el material. En estas condiciones, es probable que burbujas de aire queden atrapadas en la superficie rugosa (Figura 16), lo cual evitaría que el adhesivo penetre adecuadamente (Bishopp, 2005).

Figura 16. Adherencia en una superficie rugosa



Fuente: Jones y Stylios (2013).

2.6.2. Limpieza con solvente

Tanto en los materiales metálicos como en los plásticos, el detergente puede ser sustituido por solventes. En la limpieza de plásticos, algunos solventes efectivos incluyen metiletilcetona, acetona y metanol, cuya elección depende de la resistencia del material a la degradación durante el proceso de limpieza. En el

caso de los metales, los solventes orgánicos se usan en las primeras etapas de limpieza a partir de cuatro procedimientos básicos: desengrasado por vapor, desengrasado por ultrasonido, limpieza por ultrasonido y enjuague líquido, e inmersión o pulverización (Ebnesajjad, 2011).

La limpieza con solvente debe realizarse antes de cualquier tratamiento químico o abrasivo. De lo contrario, si se aplica un tratamiento abrasivo en una superficie recubierta con aceite, grasa o un agente libre, sólo contaminará más el sustrato y hará más complicada la adhesión (Adhesives.org, 2019).

En este punto es importante mencionar que una de las diferencias entre los metales y los plásticos es su energía superficial. Por su composición, los polímeros tienen menor energía superficial que los metales y tienden a formar uniones adhesivas débiles si no son sometidos a algún tipo de tratamiento. Los tratamientos sólo tienen efecto en la región cercana a la superficie y no alteran las propiedades de otras partes del sustrato (Ebnesajjad, 2011).

2.6.3. Limpieza con detergente

La limpieza con detergente es útil para plásticos, metales y superficies con pintura. En el caso de los sustratos no metálicos, especialmente los plásticos, deben ser desengrasados con una solución acuosa, para después aplicar un enjuague a fondo con agua limpia. En cuanto a los metales, el detergente es ocupado en los procesos de limpieza intermedia —para los que previamente ya se realizó una limpieza con solvente— (Ebnesajjad, 2011).

En general, los detergentes y jabones son económicos y se pueden manejar de manera sencilla. Éstos pueden ser aplicados por pulverización, fregado o sumergiendo la pieza en una solución agitada ultrasónicamente este método da lugar a un fenómeno llamado cavitación que consiste en crear de manera controlada y repetida micro burbujas con una presión menor en su interior respecto al sistema, lo cual provoca su implosión, dicho fenómeno favorece el desprendiendo el material contaminante de la superficie. (Adhesives.org, 2019).

2.6.4. Métodos químicos

Aunque la limpieza y la abrasión mecánica, juntas o por separado, son suficientes en diversas uniones adhesivas, el empleo de tratamientos químicos es necesario en los casos en que se busque la máxima fuerza y resistencia al deterioro. En adición a los métodos anteriores, los tratamientos químicos pueden producir una capa superficial químicamente resistente que mejora la fuerza de la unión adhesiva (Shields, 1985).

Los tratamientos químicos implican la inmersión de la superficie en reactivos a temperatura ambiente o elevada; dichos reactivos incluyen soluciones ácidas y alcalinas en diferentes grados de concentración. A este procedimiento se le denomina *grabado* (etching). Aunque ácidos y bases limpian las superficies oxidadas, los inhibidores de los primeros pueden además mejorar su acción en niveles de óxido en los que no es adecuado emplear la abrasión a chorro. Después de que las capas de óxido más gruesas fueron removidas, el metal es tratado con soluciones más suaves para producir capas delgadas de óxido. En cualquier caso, la aplicación de enjuagues con agua pura al finalizar el proceso es de gran importancia (Shields, 1985).

El ácido utilizado depende del metal y del tipo de óxido que presenta; incluso, el grabado con este tipo de soluciones también se puede emplear efectivamente en ciertos plásticos. En muchos casos, el grabado ácido prepara la superficie lo suficiente para la unión adhesiva, por tanto durante el proceso se deposita una capa porosa y estable de óxido en la parte superior del sustrato.

Puesto que en estos tratamientos se aplican soluciones químicas que activan la superficie y la hacen más receptiva a la unión adhesiva, es posible que también la alteren. Por ello, el tiempo de exposición de la superficie a la solución es crítica: si es corto, la solución no activa suficientemente la superficie; si es mayor del requerido, “se crea una capa, producto de reacciones químicas, que puede interferir en la unión adhesiva” (Ebnesajjad, 2011, p. 17).

2.6.5. Métodos físicos

Recientemente, los métodos mecánicos y químicos se pueden sustituir por métodos físicos, entre los que se encuentran los tratamientos a la llama y las descargas iónicas al vacío (o descargas *Corona*). En estas técnicas la superficie se limpia y se modifica químicamente por exposición a cargas iónicas. En general, éstas han tenido buenos resultados en ciertas clases de plásticos, como el polietileno tereftalato y el polietileno.

a) Tratamiento a la llama

Se expone la superficie a una llama formada por un gas rico en oxígeno (representa como una llama azul), que puede ser butano, propano o gas natural. La flama contiene elementos como oxígeno y compuestos como NO y OH, que pueden extraer el hidrógeno de las superficies para reemplazarlo por grupos oxigenados, como el carboxilo y el hidroxilo. Éstos mejoran las propiedades humectantes y, por lo tanto, la adhesión (Ebnesajjad, 2014).

El tratamiento a la llama se usa casi exclusivamente en polímeros como el polietileno y polipropileno. En este sentido, es importante elegir el tratamiento correcto de acuerdo con el sustrato. Algunos factores clave son el tipo de gas, la relación aire-gas, así como el flujo, la distancia y la velocidad de paso de la flama (Ebnesajjad, 2014). Dado que el efecto del tratamiento disminuye en poco tiempo, la adhesión debe realizarse de manera casi inmediata.

b) Descarga de Corona

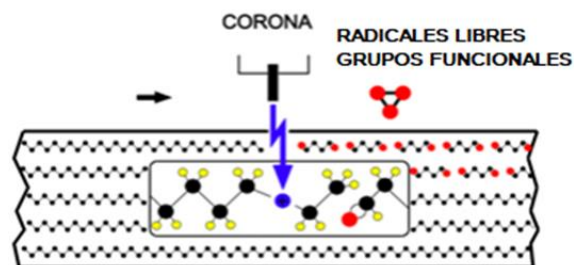
Este tratamiento es aplicado para tratar las superficies de los plásticos. La descarga Corona “es una corriente de partículas cargadas, como iones y electrones, la cual es acelerada por un campo eléctrico” (Ebnesajjad, 2011, p. 59). Ésta se genera cuando un espacio vacío es sometido a un voltaje suficientemente alto como para promover una reacción en cadena de colisiones de partículas de alta velocidad con moléculas neutras, lo que genera más iones.

El plástico es un material compuesto por cadenas moleculares largas, las cuales le dan su fuerza y uniformidad. La pequeña cantidad de puntos de unión causa baja humectabilidad y adherencia, lo que representa un problema en los procesos de modificación. Para solucionar este problema, el ingeniero danés Verner Eisby inventó el tratamiento superficial de descarga de Corona. Ésta se basó en la idea de que una carga de alta frecuencia proporcionaría un método más eficiente y controlable para aumentar la adhesión y humectabilidad de una superficie plástica.

Para el tratamiento de las superficies, este método implica la exposición a una descarga de Corona producida por una corriente alterna de alto voltaje y alta frecuencia. Durante el proceso, el sustrato pasa bajo un electrodo que ioniza el espacio que hay entre los dos; los electrones generados en la descarga impactan la superficie con una energía de dos a tres veces mayor que la necesaria para romper los enlaces moleculares del polímero. Lo anterior crea radicales libres que, en presencia de oxígeno, pueden reaccionar inmediatamente formando grupos funcionales en la superficie, entre los que está el carbonilo (Figura 17) (Lepore y Pugno, 2013).

El resultado de este tratamiento es una mejora de los enlaces químicos entre las moléculas del plástico y el adhesivo aplicado. En este sentido, no afecta las propiedades del material del sustrato, pues sólo modifica las características de capa superficial (Lepore y Pugno, 2013).

Figura 17. Tratamiento de descarga de Corona



Fuente: Vetaphone (2016).

3. Tipos de adhesivos

3.1. Cianoacrilatos

3.1.1. Características

Los cianoacrilatos son adhesivos estructurales rígidos de un solo componente. Antes del curado, son monómeros reactivos que se estabilizan en un medio ácido débil, y que se polimerizan por vía aniónica en cuanto son sujetos entre dos sustratos en una película fina. La polimerización ocurre al contacto de compuestos básicos débiles, como aminas, alcoholes y agua; en concentraciones adecuadas; estas sustancias generan los núcleos de los polímeros y posibilitan la solidificación del adhesivo (Madrid, 2002).

En el caso del agua, inclusive es suficiente la humedad del ambiente que absorben las superficies de los sustratos para iniciar la polimerización, puesto que dicha humedad proporciona iones hidroxilo. Sin embargo, no es recomendable que el agua se encuentre en exceso, pues provocará problemas de adhesión

Dado que, en algunos casos, la rápida polimerización de los cianoacrilatos se debe a su uso en pequeñas cantidades, una de sus principales características es que no están diseñados para rellenar holguras (su capacidad de relleno es de 0.2 mm). De esta forma, su aplicación excesiva propicia el indeseable *blooming* o la formación de una capa superficial blanca, consecuencia de la volatilidad del monómero. Dunn, D. (2003).

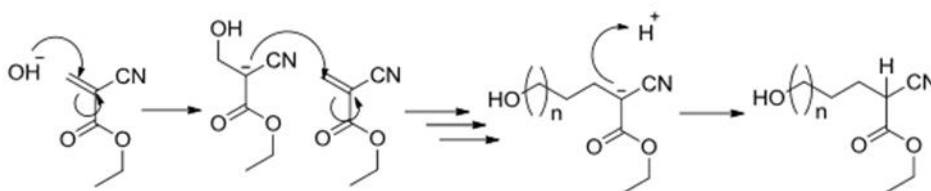
3.1.2. Mecanismo de reacción

De acuerdo con Estañ (2015), hasta el momento se han descrito tres mecanismos diferentes de polimerización de los cianoacrilatos: el mecanismo aniónico que es iniciado con una base de Brønsted (Figura 18), el zwitteriónico iniciado con u a

base de Lewis como amina y fosfina (Figura 19) y el radicalario que requiere de un iniciador radicalario AIBN azobis(isobutrnitrilo)(Figura 20).

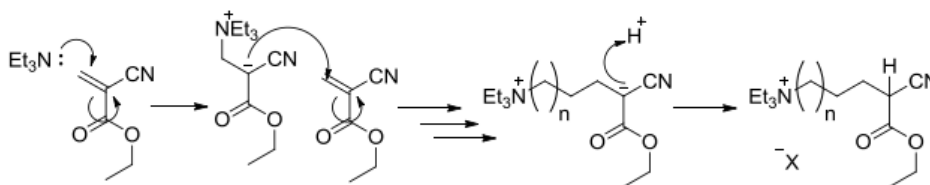
El doble enlace C=C terminal del cianoacrilato tiene dos grupos fuertemente atractores de electrones, por lo que posee un elevado carácter electrófilo que provoca una elevada reactividad frente a ataques nucleófilos tipo adición Michael, también llamada adición conjugada. En los primeros dos mecanismos, la polimerización comienza cuando un nuevo reactivo nucleófilo ataca a otra molécula del cianoacrilato. Por su parte, el mecanismo radicalario es similar, aunque en él se produce una adición homolítica y la reacción sigue a partir de rupturas homolíticas de enlaces C=C.

Figura 18. Mecanismo aniónico de polimerización de los cianoacrilatos



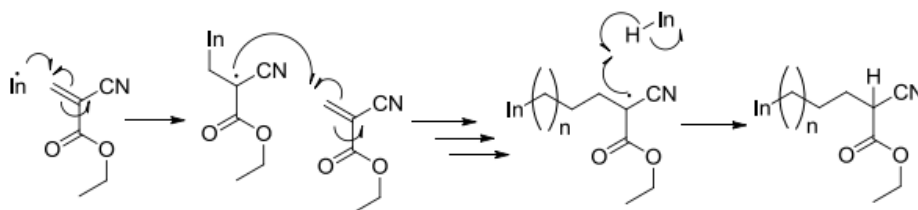
Fuente: Estañ (2015).

Figura 19. Mecanismo zwitteriónico de polimerización de los cianoacrilatos



Fuente: Estañ (2015)

Figura 20. Mecanismo radicalario de polimerización de los cianoacrilatos



Fuente: Estañ (2015).

3.1.3. Aplicaciones

Los cianoacrilatos son comercializados con o sin espesantes; Sin espesantes, estos adhesivos son tan líquidos como el agua, pues tienen una viscosidad de 1-3 centipoise (cP) (NPCS Board of Consultants & Engineers, 2008). Por esta razón, fluyen con bastante facilidad y pueden escurrir y manchar partes indeseables, lo que los hace complicados de manejar; además, la unión es buena cuando se usan en materiales flexibles (que no absorban), pero presentan baja resistencia al impacto y al pelado en caso que el sustrato se trate de un metal (Madrid, 2002).

Dado que son adhesivos instantáneos, es imposible trabajar las uniones una vez que los sustratos se ponen en contacto (Figura 21). Se recomiendan bajas viscosidades cuando la holgura es pequeña y, en caso de necesitar tiempos de trabajo un poco más amplios, es necesario agregar diversos componentes para aumentar la viscosidad (Troughton, 2008).

Figura 21. Aplicación de cianoacrilato negro, porta objetos y clip metálico



Fuente: imagen propia

La resistencia de los cianoacrilatos a la humedad es baja, principalmente en materiales que son permeables, por ello, no son adecuados para aplicarlo en superficies que se encuentren a la intemperie. Por otra parte, para mejorar la resistencia al corte o al impacto, se recomienda utilizar hule como uno de los sustratos o como una capa entre materiales que tienen menor resiliencia, como los metales (Tabla 3) (NPCS Board of Consultants & Engineers, 2008).

Pese a que los cianoacrilatos forman uniones fuertes y de rápida adherencia en la mayoría de los plásticos, hay varios que son complicados de adherir, como el polietileno, polipropileno, poliamida y poliacetal. En estos casos es necesario preparar la superficie con algún tratamiento mencionado anteriormente (NPCS Board of Consultants & Engineers, 2008).

Los monómeros etil cianoacrilato y metil cianoacrilato son los más importantes que se utilizan en el mercado industrial y doméstico. Algunos de los sectores industriales en los que se presenta mayor consumo de cianoacrilatos son los de la automoción, electricidad y electrónica (Madrid, 2002).

Debido a los estudios de citotoxicidad de los policianoacrilatos se le asigna al formaldehído liberado durante la degradación del polímero, de manera que cuanto mayor sea la cadena alquílica del éster menor será la toxicidad, puesto que la degradación cinéticamente es más lenta (Park 2003).

Esta característica se aprovecha para la aplicación en el ámbito médico del 2 octilcianoacrilato por ejemplo, este pegamento se aplica tópicamente y está indicado en heridas con los bordes de la piel cercanos y totalmente limpias una de las ventajas es la disminución de cicatrices, cuando se trata pacientes alérgicos al nylon pues evita que se utilice la sutura. (Torralba et al., s. f.)

Tabla 3 Viscosidad de distintos cianoacrilatos

Viscosidad	Sustrato
Alta (500-3,000 cP)	Superficies absorbentes (Esponja, tela, madera cartón, papel etc.)
Media (40 -500 cP)	Superficies rugosas (algunos plásticos, hule buna con superficie irregular, metales puros, porcelana etc.)
Baja (1- 40 cP)	Superficies lisas (algunos plásticos, metales puros, piel, etc.)

Fuente: elaboración propia

3.1.4. Manejo

Los cianoacrilatos pueden producir irritación en los ojos y el tejido nasal, despiden olores penetrantes, desagradables, y son combustibles. Por ello, es importante mantener bien ventiladas las áreas en las que son aplicados, utilizar goggles guantes y cubre bocas de ser posible. Además, se recomienda usar equipo de dosificación para minimizar el riesgo de contacto con la piel o los ojos y protección de manos.

En caso de derrame o de que la piel se adhiera accidentalmente, es importante no forzar la piel tan fuerte como para desgarrarla, ya que este adhesivo se caracteriza por presentar gran resistencia a este esfuerzo. Lo mejor es enjuagar la zona afectada con agua caliente o usar un solvente no tóxico mientras se pela delicadamente el adhesivo (como la cetona) (Millet, 1986).

3.2. Anaeróbicos

3.2.1. Características

Los anaeróbicos comunes no se consideran adhesivos estructurales, debido a que presentan baja resistencia cuando se someten a esfuerzos de tracción, pelado y desgarre. Son adhesivos que polimerizan únicamente si se presentan dos condiciones: ausencia de aire y presencia de iones metálicos, los cuales funcionan como catalizadores. En caso de no contar con metal en el sistema o de que los sustratos metálicos sean pasivos, se pueden utilizar agentes químicos (o activadores) que sustituyan a los iones desencadenantes de la polimerización como limadura de cobre (Madrid, 2002).

3.2.2. Tipos y aplicaciones

Las características de los adhesivos anaeróbicos los hacen útiles para ciertas áreas de aplicación. A continuación se presentan las cinco más importantes.

a) Fijadores de tornillería

Los adhesivos anaeróbicos se aplican en piezas que están en constante movimiento y vibración, como las de los autos, motocicletas, juegos mecánicos, maquinaria para construcción, maquinaria industrial, etc. En el caso de los tornillos, esta situación provoca que se debiliten y tiendan a aflojarse, aunque se haya aplicado mucho esfuerzo para atornillarlos.

El uso de adhesivos produce un relleno en todo el espacio libre que existe en la zona de la rosca, entre la tuerca y el tornillo. Al rellenar las holguras existentes se evita que los micromovimientos aflojen o relajen el tornillo (Madrid, 2002). Lo anterior es posible mientras más viscoso sea el adhesivo pues, como ya se ha destacado, así tiene mayor capacidad de rellenar las holguras —y, en este

caso, el espacio que existe entre la cuerda y la tuerca—. Algunos ejemplos se encuentran en Tabla 4.

Tabla 4 Ejemplos de fijadores de tornillos

Color	Holgura (mm)	Viscosidad (cP)	Rango de temperaturas (°C)	Tiempo de fijación (min)	Resistencia al Torque (lb/in)
Púrpura	0.1524	1,200	-55 a 150	15	80/40
Azul	0.1524	1,300	-55 a 150	10	140/60
Rojo	0.2032	1,800	-55 a 150	10	200/280
Rojo	0.254	7,000	-55 a 150	10	275/300
Rojo	0.1524	500	-55 a 150	15	275/350

Fuente: elaboración propia con información de Permabond (s. f.)

Como se observa en la Tabla 4, se deduce que el color del fijador es un indicador de la resistencia al torque (o torsión mecánica). Por ejemplo, el fijador púrpura es ideal si se desea retirar el tornillo con periodicidad; por su parte, en el caso del fijador azul será necesario aplicar más fuerza para retirar el tornillo. Finalmente, el fijador rojo necesitará una fuerza mayor, e incluso será necesario aplicar calor para retirar el tornillo; por ello, es recomendable utilizarlo en situaciones en las que ya no será necesario quitarlo.

b) Selladores de tubería

Se emplean para evitar fugas en las cuerdas de tuberías, ya que siempre existen pequeñas holguras por las que se pueden filtrar los fluidos que contiene, sobre todo si se trata de sistemas en agua o en aire a presiones altas. Estas fugas se consideran dinámicas por las vibraciones y los cambios de temperatura y presión que se presentan en ellas. Lo anterior hace necesario que el adhesivo tenga una mojabilidad suficiente para copiar las superficies de la rosca (Madrid, 2002).

Una forma de aplicar los selladores es hacerlo sobre las primeras tres cuerdas; además, es importante no aplicarlos en exceso, a menos que la cuerda esté demasiado dañada. En cualquier caso, es importante esperar la reacción de polimerización después de realizar el ensamble de la tubería (Figuras 22 y 23).

Figura 22. Aplicación de sellador en tubería con cuerda dañada



Fuente: imagen propia

Figura 23. Aplicación de sellador en tubería con cuerda dañada



Fuente: imagen propia

Existen sistemas de montaje de producción de alto volumen en los que la aplicación del adhesivo presenta problemas respecto de su manejo y dosificación. En estos casos se emplean selladores preaplicados: adhesivos que contienen microcápsulas con el activador en forma líquida, el cual se libera y permite la reacción de polimerización cuando las tuberías se ensamblan (Tabla 5) (Madrid, 2002).

Tabla 5. Ejemplos de selladores de tubería

Color	Holgura (mm)	Viscosidad (cP)	Tiempo de Fijación en acero (min)	Rango de temperatura (°C)	Torque (lb/in)
Blanco	0.508	250,000	120	-55 a 177	35/25
Preaplicado					
Blanco	N.A.	6,000	5*	-55 a 150	175/21
Blanco	N.A	30,000	5*	-55 a 150	175/21

Fuente: elaboración propia con información de Permabond (s. f.).

c) Selladores de tubería hidráulica

Este tipo de adhesivo no tiene cargas que puedan alterar los fluidos hidráulicos. Si el adhesivo se derrama por accidente, el producto se dispersará en el fluido; además, no tiene partículas que puedan obstruir o ensuciar pantallas hidráulicas o válvulas (Tabla 6).

Tabla 6. Ejemplo de sellador de tubería hidráulica

Color	Holgura (in)	Viscosidad (cP)	Tiempo de fijación en acero (min)	Rango de Temperaturas °C	Torque Rompimiento/Remanente(lb-in)
Café	0.008	2,000	30	-55 a 150	25/15

Fuente: elaboración propia con información de Permabond (s. f.).

d) Retenedores de piezas cilíndricas

La retención de elementos cilíndricos en la maquinaria industrial es uno de los montajes más idóneos para el empleo de adhesivos anaeróbicos. Para usarlos, se pueden realizar montajes por deslizamiento o con interferencia. En el primer caso, hay una holgura entre el eje y el alojamiento, la cual se recomienda que sea de 0.05 mm y hasta de 0.5 mm. Una vez curado, el adhesivo aplicado en este montaje se encarga de transmitir la carga en la holgura ocupada (Madrid, 2002).

Por su parte, los montajes con interferencia pueden realizarse a presión o mediante la técnica de contracción en caliente. Mediante el primer procedimiento, el contacto entre sustratos es de 30% como máximo, por lo que no toda la superficie está trabajando; sin embargo, al añadir el adhesivo se consigue que ésta trabaje, puesto que se rellenan los huecos. Mediante el segundo procedimiento, se calienta la pieza hembra para hacer trabajar toda la superficie de contacto, por lo que el adhesivo incrementa 20% su eficacia (Madrid, 2002).

Los retenedores se reconocen por su color verde, además de que varían en su viscosidad y resistencia. En cuanto a su aplicación, ésta debe hacerse en la punta de la pieza cilíndrica para que se moje por completo en el ensamble (Tabla 7).

Tabla 7. Ejemplos de retenedores de piezas cilíndricas

Color	Holgura (in)	Viscosidad (cP)	Rango de temperaturas (°C)	Tiempo de fijación (min)	Resistencia al corte (psi)
Verde	0.005	150	-55 a 150	10	2,300
Verde	0.008	600	-55 a 150	15	3,000
Verde	0.010	5,000	-55 a 150	15	2,000
Verde	0.010	7,000	-55 a 150	10	3,500

Fuente: elaboración propia con información de Permabond (s. f.).

e) Eliminador de juntas

El sellado de bridas se realiza tradicionalmente mediante juntas de papel, corcho o acero. Dado que estas juntas se deterioran y relajan como consecuencia de la pérdida de humedad y de la corrosión por fricción, se presenta como alternativa el uso de juntas líquidas con adhesivo anaeróbico (Madrid, 2002).

El uso de adhesivo en lugar de las juntas sólidas mejora la distribución uniforme del material en la pieza, así como evita el vencimiento y el deterioro. En general, son resistentes a la corrosión y eliminan la necesidad de apretar los pernos de las bridas (*Tabla 8*).

Tabla 8. Ejemplos de eliminadores de juntas

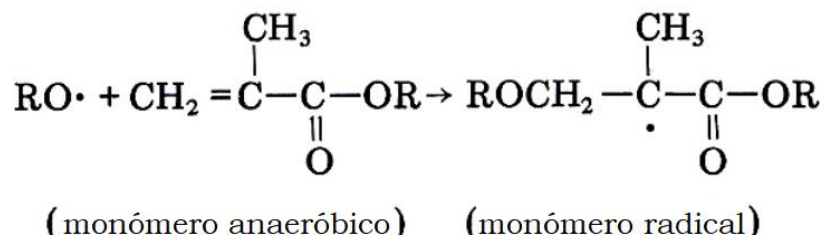
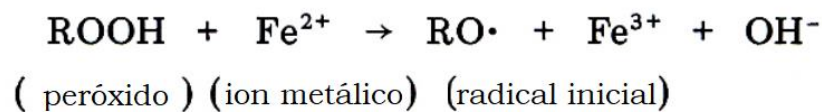
Color	Holgura (in)	Viscosidad (cP)	Tiempo de fijación en acero (min)	Rango de temperaturas °C	Resistencia al corte (psi)
Púrpura	0.635	600,000	15	-55 a 120	900
Rojo	0.508	150,000	15	-55 a 120	1,500

Fuente: elaboración propia con información de Permabond (s. f.).

3.2.3 Mecanismo de reacción

- 1) Reacción inicial: la polimerización ocurre cuando la reacción entre el peróxido y el ion metálico produce un radical inicial (Figura 24).

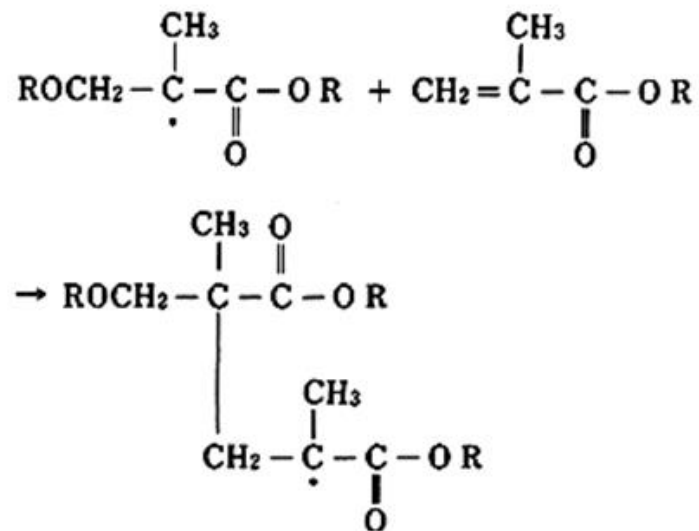
Figura 24. Reacción inicial de los adhesivos anaeróbicos



Fuente: Masaoka, Mochizuki y Haruna (1986).

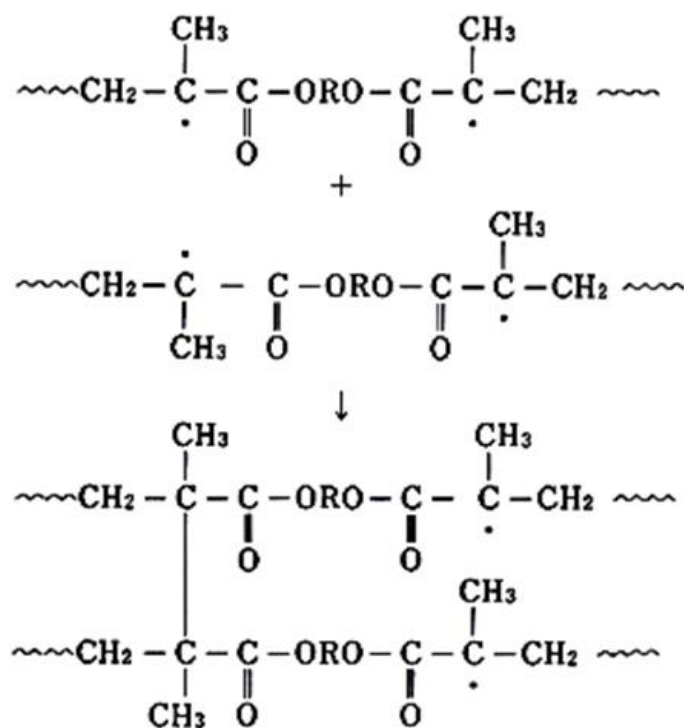
2) Reacción de propagación: esta reacción procede rápidamente para permitir la formación del polímero. En el caso del dimetacrilato, como con el tri- y tetra-metacrilato, puede ocurrir el entrecruzamiento entre los polímeros (Figura 25). También puede haber entrecruzamiento por transferencia y terminación por combinación (Figura 26). Estas reacciones dan lugar a estructuras reticuladas tridimensionales (Figura 27).

Figura 25. Reacción de propagación de los adhesivos anaeróbicos (1)



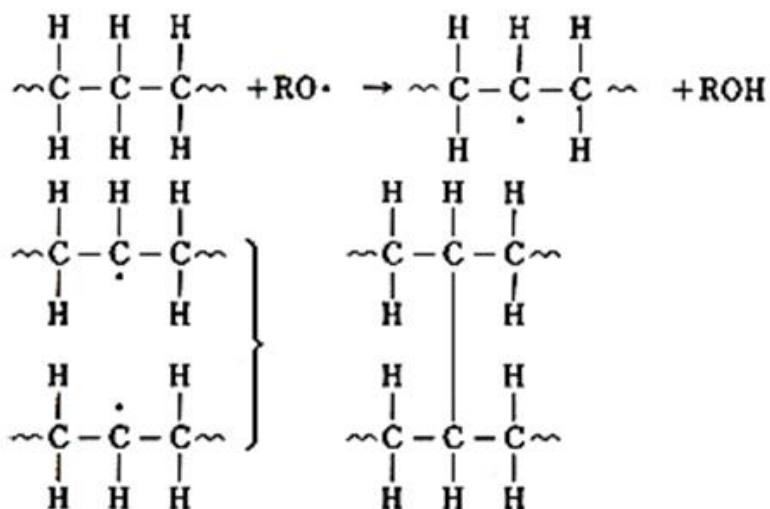
Fuente: Masaoka, Mochizuki y Haruna (1986).

Figura 26. Reacción de propagación de los adhesivos anaeróbicos (2)



Fuente: Masaoka, Mochizuki y Haruna (1986).

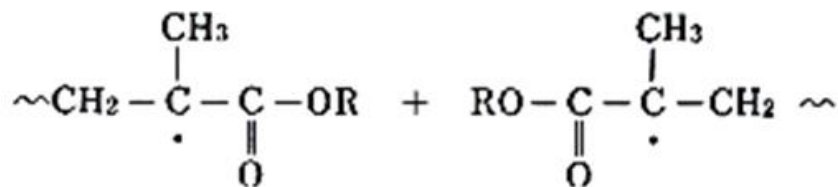
Figura 27. Reacción de propagación de los adhesivos anaeróbicos (3)



Fuente: Masaoka, Mochizuki y Haruna (1986).

- 3) Fin de la reacción: la reacción termina con el curado del adhesivo (Figura 28).

Figura 28. Fin de la reacción de los adhesivos anaeróbicos



Fuente: Masaoka, Mochizuki y Haruna (1986).

3.2.4 Manejo

Se debe evitar el contacto con los ojos y la piel mediante el uso de equipo de protección: goggles guantes y bata. Por otra parte, se debe evitar comer, beber o fumar al mismo tiempo en que se está utilizando. Es importante conservar los adhesivos en recipientes bien cerrados, los cuales deben estar llenos al 50% de su capacidad como máximo; además, deben conservarse a temperaturas entre 5°C y 25°C.

En caso de derrame, se recomienda absorber el adhesivo con algún material inerte, como arena. Después de esto, es importante colocarlo en contenedores para su posterior tratamiento.

3.3. Adhesivos epoxi

3.3.1. Características

Los adhesivos epóxicos constituyen probablemente la familia más versátil de adhesivos, ya que se utilizan para unir una amplia gama de sustratos y pueden ser modificados fácilmente para conseguir propiedades distintas. Se conforman por dos componentes, una resina y un activador o catalizador, los cuales determinan

sus características (viscosidad, tiempo de curado, color, aplicación) dependiendo del tipo que se use para su formulación (Petrie, 1999).

Debido a su buena capacidad de mojado, estos adhesivos ofrecen un alto grado de adhesión para todos los sustratos, a excepción de algunos que tienen baja energía superficial. Además, su alta viscosidad les da la una gran capacidad para rellenar holguras. Presentan una excelente resistencia al aceite, la humedad y muchos solventes, así como a los esfuerzos de tracción, cizalla y pelado —cuando se modifican con un polímero más resiliente— (Petrie, 1999).

Estos adhesivos ofrecen una mayor resistencia mientras más sea el tiempo en que se lleve a cabo su reacción. Aunque pueden curarse a temperatura ambiente en tan sólo unos minutos, la mayoría requieren de 18 a 72 horas para que alcancen su máxima resistencia. En algunos casos, si requieren ser curados en menos tiempo, pueden aplicarse temperaturas elevadas (Petrie, 1999).

Algunas desventajas de los adhesivos epóxicos son sus problemas de absorción y difusión de humedad en el centro, el que su empleo en holguras pequeñas es limitado debido a su alta viscosidad, y sus tiempos de curado —cuya reducción requiere de la aplicación de calor— (Madrid, 2002).

Además del tipo de resina y activador que se utilicen en la formulación del adhesivo, su presentación depende de la proporción entre ambos componentes. Algunas presentaciones contemplan relaciones de mezcla 1:1, 2:1 o 5:1.

Tabla 9. Características de adhesivos epoxi

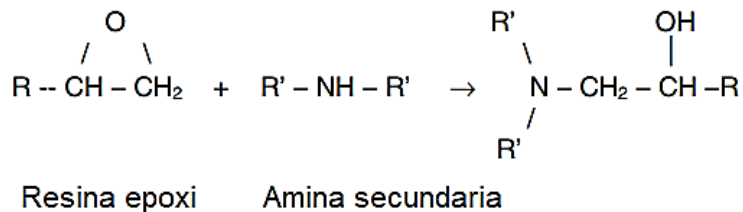
Relación de mezcla	Apariencia	Viscosidad (cP)	Rango de temperatura (°C)	Resistencia al corte (psi)	Tiempo de fijación (min)
1:1	Translucido, ligeramente amarillo o pigmentado	90,000-120,000	-45 a 51	2,000	5
1:1	Translucido, ligeramente amarillo	8,500-12,000	-46 a 90	2,646	60

Fuente: elaboración propia con información de Permabond (s. f.).

3.3.2. Mecanismo de reacción

Los adhesivos epoxi sufren diversas reacciones en función del activador empleado en la mezcla; de éstas, Petrie (1999) señala la reacción amina, la reacción anhídrido y la reacción mercaptano como las más comunes. En primer lugar, la reacción amina se produce a temperatura ambiente y se puede acelerar el curado mediante calor. Cuando se emplea una cantidad mayor o menor de activador de la que indica el fabricante puede llevar a un sistema debilitado y, en consecuencia a una adhesión pobre (Figura 29).

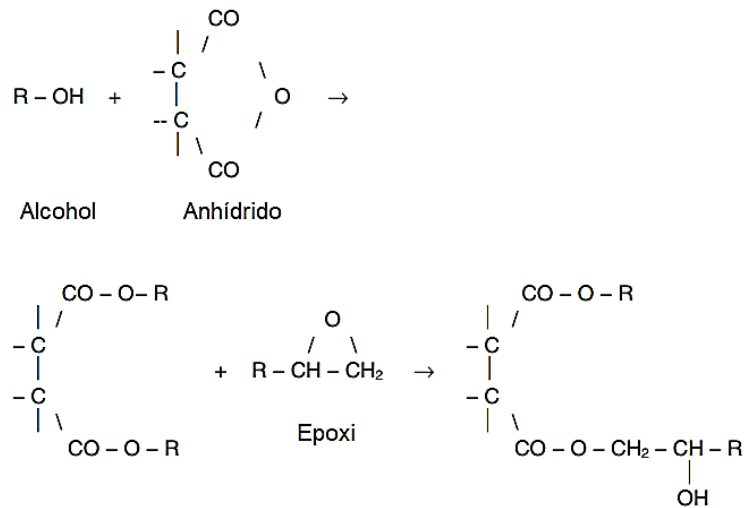
Figura 29. Epoxi / Reacción amina



Fuente: Petrie (1999).

En segundo lugar, la reacción anhídrido produce baja viscosidad, larga vida útil y mínima reacción exotérmica (Figura 30). Normalmente, debe aplicarse calor para completar la reacción o usar aminas terciarias para acelerarla. A pesar de que las adhesiones producidas por esta reacción son resistentes a altas temperaturas, son débiles frente a los esfuerzos de pelado. En general, se recomienda mantener el componente anhídrido cubierto dado que puede reaccionar con la humedad.

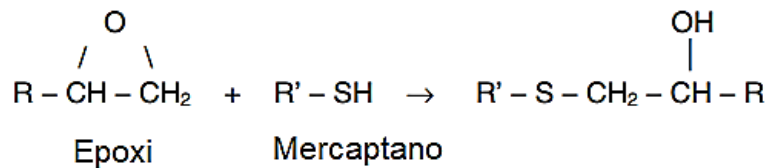
Figura 30. Epoxi / Reacción anhídrido



Fuente: Petrie (1999).

Por último, la reacción mercaptano se activa normalmente mediante una amina terciaria (Figura 31). Esta reacción es propia de productos de curado rápido, los cuales tienden a ser frágiles frente a los esfuerzos de pelado. Los adhesivos que presentan esta reacción tienen un fuerte olor a azufre, el cual puede ser irritante.

Figura 31. Epoxi / Reacción mercaptano



Fuente: Petrie (1999).

3.3.3. Manejo

Se debe usar ventilación general para controlar la exposición a los adhesivos por debajo de los límites; si no es adecuada, se debe utilizar equipo de protección (googles, bata, guantes de nitrilo). Es importante no consumir alimentos y bebidas en el área de trabajo.

En caso de derrame, se debe utilizar material inerte (arena, aserrín) para su limpieza y no verterlo en el alcantarillado. La reacción de estos adhesivos es exotérmica, lo cual puede llegar a ser peligroso. En específico, el incremento de la temperatura puede provocar que se derrita el sustrato, sobre todo si se trata de plásticos, o llegar a ser una fuente de ignición. Frente a estos riesgos, se puede minimizar el calor generado de la reacción bajando la temperatura de los componentes mezclados o utilizando porciones pequeñas de material. En el caso de los adhesivos de un solo componente, es necesario seleccionar uno cuyo catalizador encapsulado no acelere tanto la reacción (Petrie, 1999).

3.3.4. Aplicación

Para ciertas aplicaciones, es importante que la mezcla entre resina y catalizador sea lo más homogénea posible. Por ello, una de sus presentaciones consiste en una jeringa con doble embolo, en cuya punta se agrega un mezclador; dicho mezclador tiene en su interior un arreglo tipo espiral. La jeringa está diseñada para que la mezcla se ejecute mejor mientras sea mayor el número de vueltas del espiral o número de elementos. No obstante lo anterior, la desventaja de utilizar este artefacto es el desperdicio de material dentro del mezclador, ya que el adhesivo se curará a lo largo del mezclador después de la aplicación. Dado que la polimerización comienza lentamente una vez realizada la premezcla, el adhesivo debe ser aplicado sobre las piezas a unir y mantenerlas en la posición deseada hasta que se alcance la resistencia al esfuerzo.

Otra manera de adquirir el adhesivo epoxi es en cubetas de 19 litros aproximadamente, que contienen tanto la resina como el catalizador. Esta

presentación es útil para aplicaciones más bastas en las que la estética no es tan importante, por ejemplo para adherir vialetas al pavimento.

En general, los adhesivos epóxicos se emplean en muchas aplicaciones, entre ellas (Madrid, 2002, p. 26):

- Aditivos para mezclas y elementos de construcción.
- Adhesivos estructurales para la industria aeronáutica.
- Fabricación de materiales compuestos.
- Recubrimientos superficiales.
- Electrónica (circuitos impresos, encapsulación, etcétera).
-

3.4. Adhesivo de curado UV

3.4.1. Características

Son adhesivos estructurales cuyo mecanismo de reacción depende de una sustancia química denominada *fotoiniciador*, el cual genera radicales libres cuando se expone a la luz UV; dichos radicales libres producen la polimerización de los monómeros. En la actualidad, son esenciales en uniones en las que prevalecen sustratos de alto rendimiento o delicados (Petrie, 1999; Madrid, 2002). En la Tabla 10 se presentan algunas propiedades de estos adhesivos.

Tabla 10. Propiedades de adhesivos de curado UV

Apariencia	Viscosidad cP	Rango de temperatura (°C)	Resistencia al corte (psi)	Tiempo de fijación (min)
Translucido Incoloro	800 a 1,000	-55 a 130	1,900 a 2,300	11
Translucido Incoloro	2,000 a 3,000	-55 a 130	1,300 a 1,500	5

Fuente: elaboración propia con información de Permabond (s. f.).

Estos adhesivos requieren la presencia de frecuencias de luz a una suficiente intensidad para formar uniones duraderas (Figuras 32, 33, 34). Por ello, una de las condiciones para el curado es que la luz debe incidir en la junta adhesiva, por lo que alguno de los sustratos tiene que ser transparente. Si las partes son opacas, la tecnología se limita a procesos de adhesión, encapsulado, relleno y recubrimiento; en estos casos es posible que el curado se realice exponiendo uno de los laterales de la unión a la luz. A partir de estas condiciones, la velocidad de curado depende de varios factores (Madrid, 2002, p. 29):

- La intensidad y el espectro de frecuencias emitidas por la fuente luminosa.
- La formulación del adhesivo y el espesor de la unión adhesiva.
- El espesor, la composición química y el color de cualquier vidrio o polímero a través del cual deba pasar la luz transmitida hacia la junta adhesiva.
- El color y brillo de los sustratos.

Figura 32. Aplicación de adhesivo de curado UV



Fuente: imagen propia.

Figura 33. Aplicación de adhesivo de curado UV



Fuente: imagen propia.

Figura 34. Aplicación de adhesivo de curado UV



Fuente: imagen propia.

En cuanto a las ventajas y desventajas de los adhesivos de curado UV, se presentan las siguientes (Tabla 11):

Tabla 11. Ventajas y desventajas de los adhesivos de curado UV

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • La velocidad de curado permite que la unión sea manipulada en menor tiempo. • Capacidad de relleno de holgura, en función de la viscosidad. • Son adhesivos tenaces con buenas propiedades estructurales. • Producen adhesiones relativamente aceptables en polímeros de baja energía superficial. • Buena resistencia a la humedad y a la temperatura. • Apariencia transparente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuado en uniones donde al menos un sustrato es transparente a la luz UV. • Su aplicación requiere de una inversión importante en equipo. • Es importante mantenerlos en envases oscuros que estén alejados de la luz. • Son inservibles cuando en los sustratos, aunque sean transparentes, se apliquen películas resistentes a la luz UV.

Fuente: elaboración propia con información de Madrid (2002).

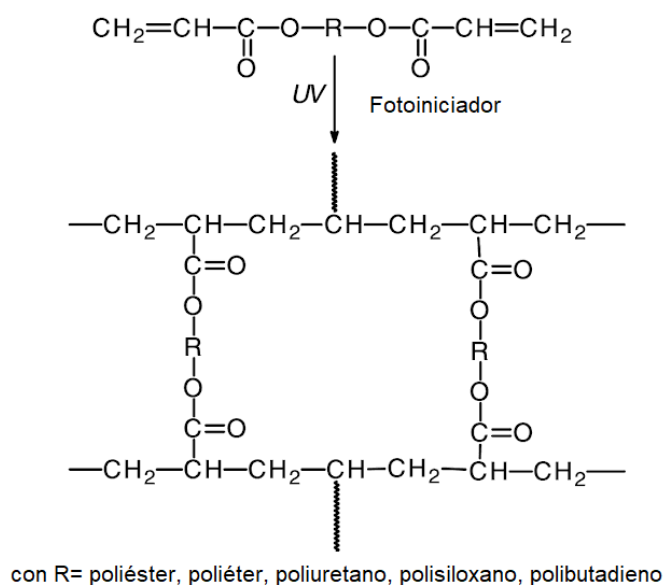
3.4.2. Mecanismo de reacción

Los acrilatos se encuentran entre los monómeros más reactivos que polimerizan a través del mecanismo de radicales libres. Esta característica, junto con las propiedades “hechas a la medida” del fotopolímero obtenido, explican el amplio uso de adhesivos curados por UV con base de acrilato (Decker, 2005).

Existen diversos oligómeros funcionalizados con acrilato que están disponibles comercialmente. Éstos se diferencian en sus estructuras químicas —las cuales pueden ser poliuretanos, poliésteres, poliéteres y polisiloxanos—, además que por su peso molecular —que oscila entre 500 g y 2,000 g—. Las propiedades finales de los polímeros de acrilato curados por UV dependen principalmente de la estructura química del oligómero funcionalizado, así como del

grado de curado (Decker, 2005). En la figura 35 se ilustra la polimerización de reticulación fotoiniciada de un oligómero de acrilato.

Figura 35. Curado UV de un oligómero de acrilato



Fuente: Decker (2005).

3.4.3. Manejo

Se deben aplicar uniformemente sin excedentes en el área deseada (preferentemente con equipo de dosificación) y realizar la unión de ambos sustratos. Es necesario contar con una lámpara LED con intensidad de 100 mW/cm² y exponer la unión por 2 segundos, o una luz UV con intensidad de 30 W/cm² durante 1 segundo, para que la adhesión se establezca de la manera óptima posible. Si se excede el tiempo, el adhesivo puede adquirir un tono amarillento y perder sus propiedades adhesivas (Decker, 2005).

En cuanto a sus condiciones de aplicación, se debe usar con una ventilación adecuada, a fin de reducir el riesgo de inhalación de vapores. De igual

forma, se debe usar equipo de protección para manos, como guantes de goma o nitrilo, y lentes de seguridad o careta para proteger los ojos.

3.4.4. Aplicaciones

Dadas las propiedades de los adhesivos y las condiciones en que deben ser curados, son usados en algunas áreas específicas (Madrid, 2002):

- Fabricación de muebles (por ejemplo, mesas de vidrio y metal)
- Ensamblajes ornamentales, como joyería.
- Diversas operaciones en electrónica: protección por encapsulado, rellenado, recubrimiento, etc.
- Aparatos médicos desechables.

3.5. Adhesivos acrílicos estructurales

3.5.1. Características

Los adhesivos acrílicos se caracterizan por la polimerización de monómeros de acrilato y metacrilato a partir de un mecanismo de radicales libres. Además, se caracterizan por su versatilidad, puesto que existen componentes en el momento de la aplicación, al igual que ocurre con los epoxi. El monómero más usado es el metacrilato de metilo y pueden usarse otros monómeros como el metacrilato de etilo, metacrilato de 2-etilhexilo, metacrilato de ciclohexilo y acrilato de etilo. La elección del monómero se relaciona directamente con las propiedades del adhesivo: olor, resistencia a la tracción, volumen, estabilidad hidrolítica (DeCato, 2006).

Por lo general, los monómeros de cadenas más largas aumentan la flexibilidad y la dureza del adhesivo curado. Por otra parte, la capacidad antideslizante del adhesivo —es decir, de que no se deslice fuera de la superficie aplicada— se relaciona con el poder de solvatación del monómero a la superficie del sustrato. En general, el curado se puede efectuar a temperatura ambiente y se

acelera al agregar calor porque es una reacción exotérmica, es decir, por el aumento de la temperatura del adhesivo (DeCato, 2006).

Idealmente, la fórmula se basaría en una relación de mezcla 1:1; sin embargo, es necesario mantener separados los ingredientes reactivos, por lo que las formulaciones implican la mezcla de los componentes en proporciones más altas, como 3:1 o incluso 10:1. Las presentaciones disponibles comercialmente tienen proporciones de mezcla 1:1, 3:1, 4:1 y 10:1, por lo que también es necesario aplicarlos con pistolas, jeringas y mezcladores, del mismo modo que los adhesivos epóxicos (DeCato, 2006).

Para incrementar la efectividad de la formulación, un formulador puede optar por usar un "portador" no reactivo o plastificante como ingrediente líquido de uno de los componentes; sin embargo, esto afectaría el rendimiento general y el curado del adhesivo. También se opta por presentar los dos componentes con colores diferentes para asegurar visualmente que la mezcla sea uniforme (DeCato, 2006). Entre sus desventajas, Ledesema (2013) destaca las siguientes:

- Un inconveniente común sobre los adhesivos acrílicos estructurales es su olor.
- La inflamabilidad de los adhesivos acrílicos estructurales está asociada con el monómero.
- Tienen tiempos altos de curado de (cinco a diez minutos).
- Amplias porciones de los adhesivos acrílicos estructurales pueden generar grandes cantidades de calor; por lo que, es necesario aplicar uniformemente evitando excesos.
- Para asegurar la inyección de ambos componentes del adhesivo, es necesario adquirir equipo de dosificación.

A su vez, entre las ventajas de los adhesivos acrílicos estructurales, Madrid (2002) refiere las siguientes:

- Amplia versatilidad de sustrato. Comúnmente, este adhesivo funciona, satisfactoriamente, en acero, aluminio y plásticos de ingeniería.

- Insuperable resistencia hidrolítica y permanencia en ambientes agresivos. No se plastifican fácilmente por la humedad y pueden entrecruzarse *in situ* durante la reacción de curado.
- Versatilidad en el procesamiento. Se puede curar a temperatura ambiente sin mezcla previa.

3.5.2. Química

La química de adhesivos acrílicos estructurales es compleja y extremadamente variable. Esencialmente, sus resinas adhesivas contienen diversos polímeros disueltos o dispersos en monómeros insaturados reactivos. También, contiene iniciadores y atrapadores de radicales libres, cargas, diluyentes no reactivos y, en algunos casos, oligómeros insaturados.

En cuanto a las resinas de las recetas típicas de la parte adhesiva, destacan los siguientes elementos:

- a. Mezcla de monómeros insaturados reactivos (metacrilato de metilo, ácido metacrílico, etcétera): 70 a 85%.
- b. Polímero elastómero modificado (neopreno, nitrilo, etcétera): 15 a 20%.
- c. Iniciador de radicales libres (amina terciaria): 0.5 a 2%.
- d. Buscadores de radicales libres: 0.001 a 0.05%
- e. Rellenos, diluyentes, etcétera.

Por su parte, comúnmente, los catalizadores son fuentes de radicales libres, como peróxidos transportados en plastificantes o diluyentes no reactivos. Algunos son los siguientes:

- a. Peróxido orgánico reactivo: 10 a 25%.
- b. Diluyente no reactivo o plastificante: 75 a 90%.
- c. También pueden estar presentes rellenos o agentes de control de flujo.

3.5.3. Manejo

Los monómeros precursores de los adhesivos acrílicos estructurales son sustancias inflamables; por lo que, se deben evitar llamas y no producir chispas. Se debe trabajar con ellos en áreas ventiladas. Si se les usa en equipos eléctricos o de alumbrado, éstos deben ser a prueba de explosión. Tampoco, se debe utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular recipientes o dispositivos.

Es de suma importancia proteger la piel con guantes de nitrilo o goma y equipos de protección. Para proteger los ojos, se requiere utilizar gafas ajustadas de seguridad, o combinada con la protección respiratoria.

3.5.4. Aplicación

Para lograr una unión óptima con adhesivos acrílicos estructurales, se requiere menos preparación de la superficie en sustratos metálicos, compuestos y plásticos. En comparación con las uniones donde se aplican adhesivos epóxicos y poliuretanos, las realizadas con los adhesivos acrílicos requieren mayor abrasión, limpieza e imprimación en todos los sustratos. Para uniones en la mayoría de los metacrilatos, sólo se requiere eliminar los aceites ligeros de los metales con una toallita de solvente. En el caso de los plásticos, algunos requieren limpieza con una toallita seca y otros materiales necesitan solventes o abrasión (Madrid, 2002). Los adhesivos de tipo metacrilato son excelentes para los siguientes sustratos:

- Metales: acero, acero inoxidable y aluminio.
- Compuestos termoestables: fibras de vidrio o de carbono, poliéster, éster vinílico.
- Termoplásticos, tales como acrílicos, poliacrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), policarbonatos (PC), policloruro de vinilo (PVC).

- También, se han diseñado productos para sustratos difíciles de unir, como polipropileno (PP), polietileno (PE), compuesto de moldeo en lámina (SMC), dicitlopentadieno (DCPD), politetrafluoroetileno (PTFE), poliamida (PA), nylon, etcétera.

Por sus propiedades, los adhesivos basados en metacrilato de metilo se están empleando en las industrias de marina, transporte, energía eólica y construcción. Particularmente, se contempla en los sectores ferroviarios, de autobuses y camiones, puesto que requieren una unión resistente en parachoques, accesorios de iluminación, paneles de techo y accesorios internos.

Los metacrilatos están disponibles en formato de cartucho, con una capacidad estándar de 50 cc y hasta 490 cc. Es ideal para uniones en superficies más amplias. Al igual que los adhesivos epóxicos, para su aplicación, es necesario utilizar mezcladores y adquirir una pistola de aplicación.

3.6. Adhesivos de contacto

3.6.1. Características

Los adhesivos de contacto son ampliamente utilizados, debido a que pueden unir una amplia gama de sustratos. Son muy económicos, en comparación con los adhesivos mencionados anteriormente, ya que no entran en la categoría de estructurales. A pesar de ello, con las practicas correctas de aplicación, pueden formar uniones bastante resistentes, sobre todo si se someten a esfuerzos de cizalla y pelado.

Los adhesivos de contacto se aplican a ambos sustratos por recubrimiento con rodillo, brocha o un sistema de aplicación como la pistola pulverizadora. Usualmente, el solvente se deja secar unos minutos bajo condiciones ambientales o se puede aplicar calor para acelerar el proceso. Después de que una porción del solvente se evapora, los sustratos se unen y el adhesivo se fortalece rápidamente

con la aplicación de presión de contacto (NCPS Board of Consultants & Engineers, 2008) (Tabla 12).

Tabla 12. Ejemplos de adhesivos de contacto

Apariencia	Viscosidad (cP)	Rango de temperatura (°C)	Resistencia al corte (psi)	Tiempo de fijación (min)
Beige	1,800	N.A.	22%	6 a 30
Ámbar	550	N.A.	35%	6 a 30

Fuente: elaboración propia con información de Uniones Permanentes (2019).

3.6.2. Aplicaciones

Generalmente, los adhesivos de contacto pueden usarse en materiales porosos, como madera, telas, plásticos (con excepción a los difíciles de pegar, como teflón, PP, PE, PA y PET). Éstos presentan baja resistencia, espuma de poliuretano, cartón, metal, cuero, lona, etcétera (Fundación Eroski Contigo, 1998).

Los adhesivos de contacto son inflamables, debido a que contiene solventes orgánicos como hexano y tolueno (Berenguer, 1986). Debe mantenerse en contenedores cerrados, así como alejados de fuentes de calor, equipo eléctrico, chispas y flama abierta. Se debe almacenar a temperaturas menores de 25°C (Fundación Eroski Contigo, 1998), este tipo de adhesivo se suele aplicar con brocha o pistolas de presión con ayuda de una bomba de trasvase.

3.6.3. Manejo

Para su manipulación, el personal debe emplear los adhesivos de contacto en espacios ventilados, al igual utilizar lentes de seguridad, guantes de neopreno y respiradores con cartuchos químicos para vapores orgánicos (Ibermutuamur, 2014).

Es de suma importancia tomar en cuenta la naturaleza del material al que se va a aplicar el adhesivo por aspersion, por ejemplo; la espuma de poliuretano es un

material muy flamable y la fricción que se produce con el aire comprimido puede generar calor hasta el punto de llegar a incendiarse, por lo tanto hay que tomar serias precauciones.

3.7. Adhesivos de poliuretano

3.7.1. Características

Para la industria de los adhesivos de poliuretano, las propiedades adhesivas y la estabilidad térmica son factores importantes. Las primeras están fuertemente relacionadas con las propiedades mecánicas, químicas y físicas de los materiales adherentes. Especialmente, su capacidad de anclaje sobre los sustratos es la principal propiedad para lograr una buena fuerza adhesiva —la cual se asocia con la movilidad del polímero debido a su efecto de anclaje—.

En general, los adhesivos de poliuretano se utilizan en diversos productos comerciales, los cuales son expuestos fácilmente a diversas condiciones térmicas, como luz solar o aparatos eléctricos que generan calor. De tal modo, los adhesivos de poliuretano con gran estabilidad térmica son prometedores para diversas aplicaciones.

Los poliuretanos monocomponentes reaccionan con la humedad atmosférica para generar un material elastomérico. Su reacción de polimerización ocurre desde el exterior del cordón hacia el interior (Madrid, 2002). Así, no se recomienda utilizar presentaciones pequeñas de producto (300 ml) para holguras demasiado grandes, ya que la dosificación tiene que ser más fina. A su vez, los adhesivos bicomponentes de poliuretano polimerizan cuando se combina diisocianato de tolueno con polioliol y se agrega un catalizador de base amina (Consejo Estadounidense de Química, 2011). Por esta reacción, se les considera un adhesivo ideal, pues cubre perfectamente holguras, a mayor rapidez de curado. Es importante analizar su aplicación porque incrementa notablemente el costo si se utiliza la presentación antes mencionada (Tabla 13).

Tabla 13. Características de adhesivos de poliuretano

Relación de mezcla	Apariencia	Viscosidad (cP)	Rango de temperatura (°C)	Resistencia al corte (psi)	Relleno de Holgura (mm)	Tiempo de fijación (min)	Elongación (%)
1:1	Negro	3,000-8,000	-40 a 120	2,600-3,600	5	45-60	10
1:1	Negro	3,000-8,000	-40 a 120	2,600-3,600	5	60-90	15

Fuente: elaboración propia con información de Loctite (s. f.).

Ventajas (Madrid, 2002):

- Sellan un amplio rango de sustratos.
- Permanecen flexibles a temperaturas entre -40°C y 80°C.
- Debido a sus propiedades flexibles, pueden aprovecharse en la amortiguación de ruidos y vibraciones.
- Tienen buena resistencia a los productos químicos.
- Una vez que el adhesivo es curado puede pintarse.
- Producen olores muy suaves debidos al propio prepolímero de uretano. También, los subproductos generados durante el curado —como dióxido de carbono— no son olorosos.

Desventajas (Madrid, 2002; Ledesma, 2013):

- Cuando se emplea dicho monómero, se ocasionan problemas de seguridad e higiene relacionados con el diisocianato de tolueno, ya que sus vapores son dañinos. Éstos se presentan cuando aún no se lleva a cabo la polimerización. Después de ella, ya no hay presencia de los vapores.
- Resistencia escasa a la radiación de rayos UV.
- Disminuye su resistencia, si se le utiliza para rellenar holguras.
- Requiere de humedad para polimerizar. En ambientes muy secos, se puede formar muy lentamente y no alcanzar su máximo potencial

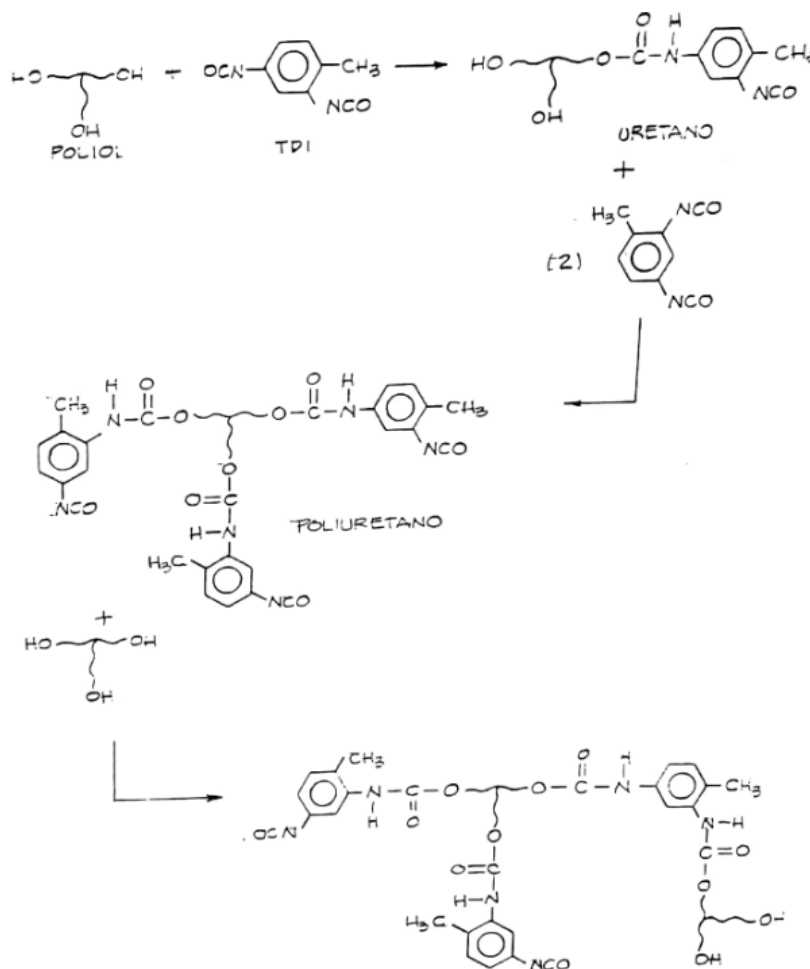
3.7.2. Aplicaciones

Los adhesivos de poliuretano son ideales para materiales compuestos, plásticos y cuero. Los adhesivos bifásicos son fuertes en metal, madera y vidrio. Además, los poliuretanos tienen buena resistencia a componentes polares y no polares (Madrid, 2002).

3.7.3. Mecanismo de reacción

En la síntesis de poliuretano, los reactivos que se usan con isocianatos, agua, polioliol, catalizadores de amina y octanoato de estaño (Jiménez, Sibaja y Vega-Baudrit, 2012). En esta síntesis, se llevan a cabo, simultáneamente, dos reacciones. En la primera reacción, el polioliol y el diisocianato de tolueno reaccionan para producir uretano (Figura 35).

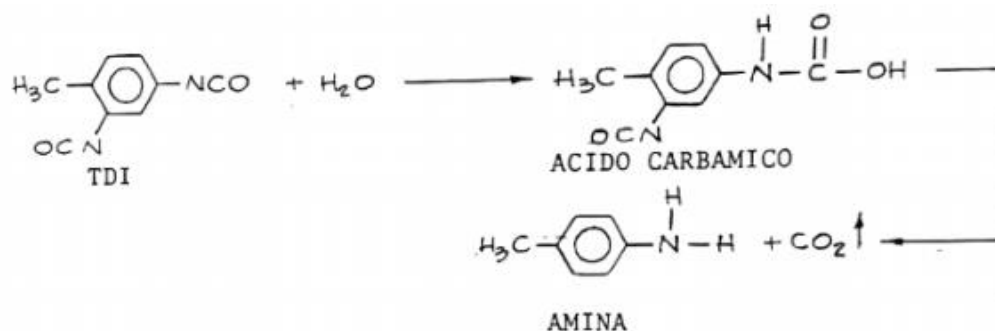
Figura 36. Reacción del polioliol y el diisocianato de tolueno



Fuente: López (1990).

La segunda reacción con diisocianato de tolueno y agua se lleva a cabo en dos pasos. En principio, el ácido carbámico es el primer producto formado por la reacción. Éste es muy inestable, así que rápidamente se descompone en una amina y dióxido de carbono gaseoso, debido a esto incrementa el volumen del adhesivo (Figura 37).

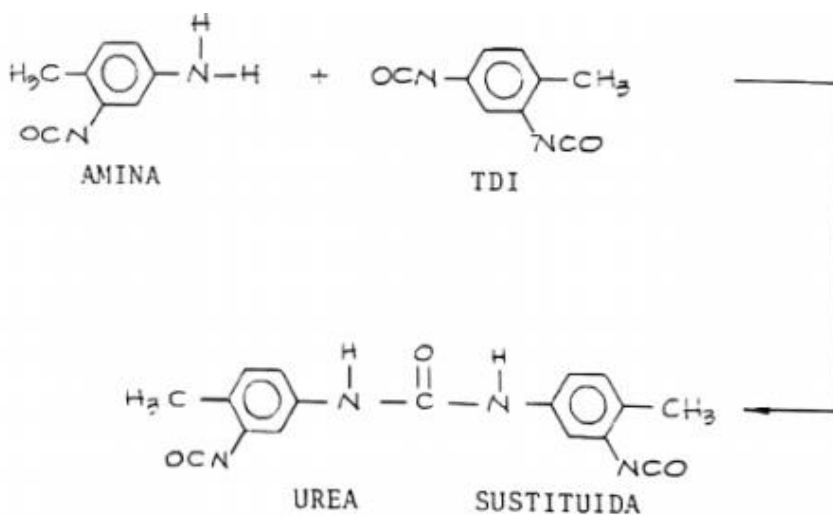
Figura 37. Primer paso de la reacción de agua isocianato



Fuente: López (1990).

Después, la amina formada reacciona con una molécula de isocianato y forma una urea sustituida (Figura 38).

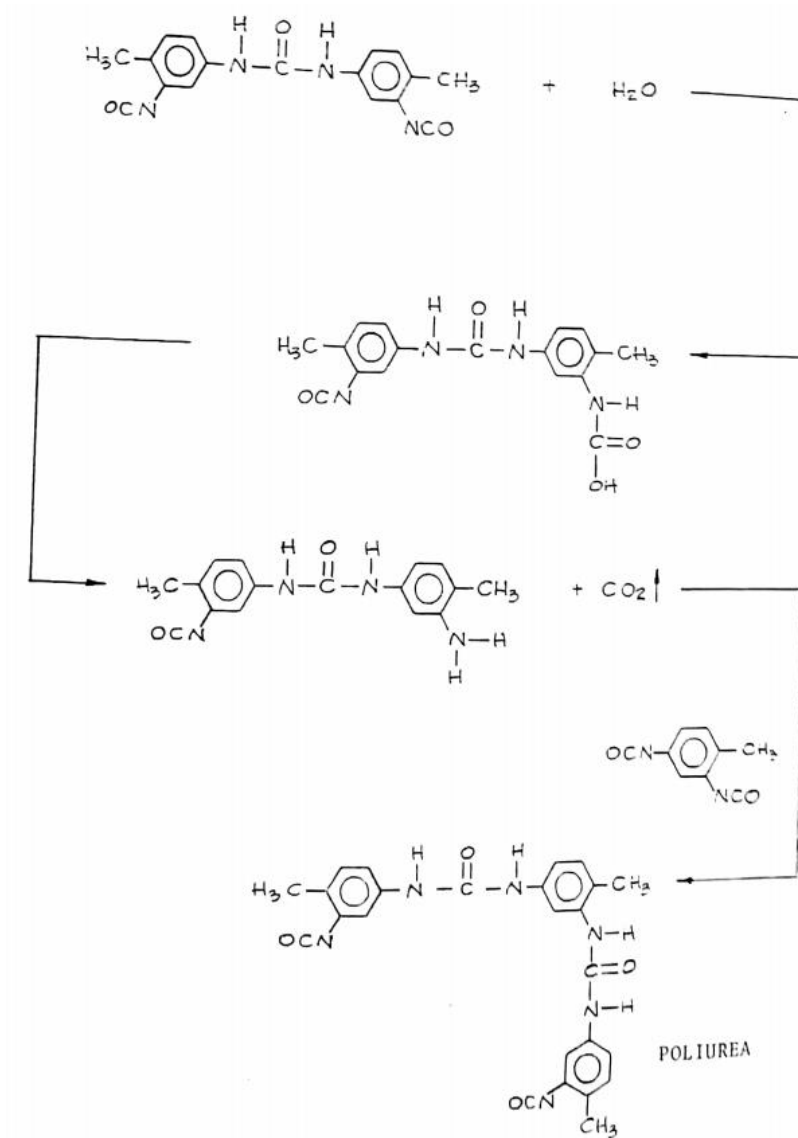
Figura 38. Segundo paso de la reacción de agua isocianato



Fuente: López (1990).

La urea sustituida continúa teniendo grupos de isocianato (-NCO). Así, puede seguir reaccionando (Figura 39).

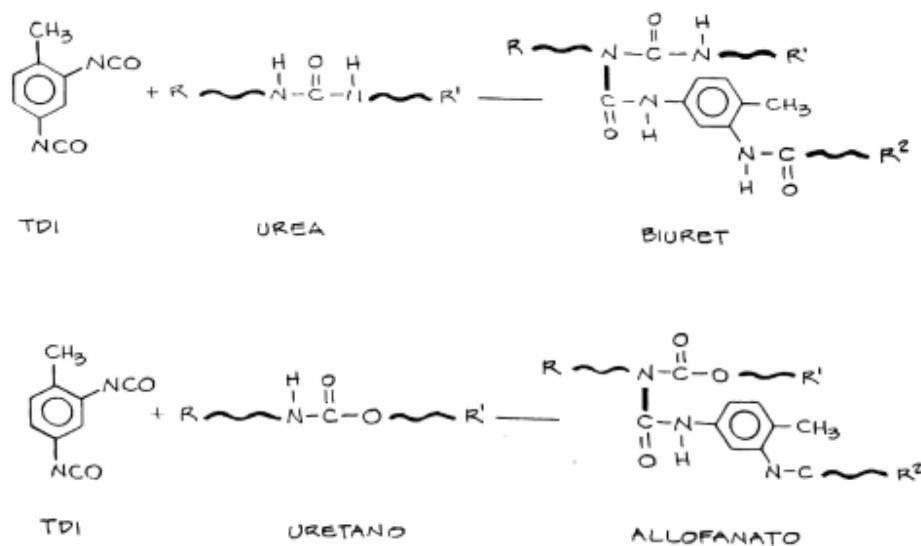
Figura 39. Reacción de poliurea



Fuente: López (1990).

También, pueden ocurrir reacciones de entrecruzamiento o ramificación, por la formación de enlaces biura o alofanato en las cadenas principales

Figura 40. Enlaces de entrecruzamiento y ramificación



Fuente: López (1990).

3.7.4. Manejo

En las áreas donde se maneja, almacena y procesa el adhesivo de poliuretano, está estrictamente prohibido ingerir alimentos, beber y fumar. También, se recomienda que se aplique con equipo de protección personal adecuado. Al igual, se debe evitar su contacto en ojos, piel o ropa. Después de utilizar el material, los trabajadores que lo empleen deben lavarse las manos y la cara antes de comer, beber y fumar, puesto que no se debe ingerir.

Las personas con antecedentes de problemas de piel sensible, asma, alergias o enfermedades respiratorias crónicas no deben participar en ningún proceso donde se use el adhesivo de poliuretano. Se debe evitar respirar vapores con un cubre bocas. Se aconseja utilizarlo sólo con ventilación; en caso contrario, se recomienda utilizar un respirador.

Se debe almacenar el adhesivo de poliuretano entre temperaturas de -4.5 a 40.5°C. Cuando no se utilice, debe mantenerse en su contenedor original. Éste requiere resguardarse de la luz solar directa. Se sugiere colocarlo en un área

seca, fresca, bien ventilada y lejos de materiales incompatibles. Los contenedores que se han abierto se deben volver a cerrar y mantenerse en posición vertical para evitar fugas. Igualmente, los residuos del material pueden almacenarse en una alternativa aprobada, hecha de un material compatible y que se mantenga cerrada. Conservar residuos del producto en contenedores vacíos puede ser peligroso. Tampoco se puede reutilizar el recipiente.

4. Costos

Otro factor importante para selección de adhesivos es el costo, puesto que pudieran existir dos o más ejemplares que funcionen para una misma aplicación, entonces es importante visualizar los costos de cada uno y así mejorar la optimización del recurso. Para costear de manera adecuada es importante los mL o g utilizados por pieza a unir.

Tabla 14. Costos por gramo de adhesivo

Tipo de Adhesivo	Precio por gramo (M.N.)	Precio por gramo (U.S.A.)
Ultravioleta	\$ 3.98	\$0.21
Anaeróbicos	\$3.69	\$0.19
Cianoacrilatos	\$3.51	\$0.18
Epóxicos	\$3.26	\$0.17
Estructurales	\$2.64	\$0.14
Poliuretano	\$0.36	\$0.019
Adhesivo de contacto	\$0.064	\$ 0.002

Fuente: elaboración propia con información de Uniones Permanentes S.A. de C.V.

Nota: Para los adhesivos estructurales, epóxicos y algunos tipos poliuretano se requieren mezcladores y jeringa o pistola dosificadora, lo cual incrementa considerablemente el costo.

5. Conclusiones

La presente investigación ahondó sobre materia de adhesivos que se utilizan en la industria. Pese a que en otros momentos de la Historia se han elaborado fórmulas de adhesivos a partir de productos minerales, vegetales y animales, fue hasta la Revolución Industrial que comenzaron a ocuparse compuestos químicos sintéticos. En este sentido, el desarrollo de la tecnología de adhesivos se ha basado en el descubrimiento de nuevos componentes y el estudio de las características de los sustratos para lograr una mayor eficiencia de las uniones adhesivas.

Ante la complejidad que supone el fenómeno de la adhesión, en este documento se presentó una definición sintética de *adhesivo*, la cual da cuenta de su función en el ámbito industrial. En general, un adhesivo es una sustancia que tiene las propiedades y características suficientes para mantener al menos dos superficies unidas de manera fuerte y permanente.

De todas las teorías que han explicado los mecanismos de acción de los adhesivos, la de la adsorción se menciona que es la más aceptada dado que contempla la propiedad de mojado. A partir del cálculo de la energía superficial y la tensión superficial es posible determinar la capacidad que tiene el adhesivo para impregnarse en los sustratos, pero también la capacidad de los sustratos para mantener el adhesivo sin escurrimientos. Ambos indicadores determinan la estabilidad y duración de la unión adhesiva en tanto que miden el comportamiento del adhesivo a momento de ser aplicado. A partir de lo anterior, es posible afirmar que la adhesión es un fenómeno que no depende sólo de las propiedades del adhesivo, sino también de las características de los sustratos, esto no hace las demás teorías menos importantes, ya que muy seguramente deben de aplicar en sistemas específicos.

Además de describir las perspectivas teóricas sobre la acción de los adhesivos, se presentaron los principios que fundamentan su tecnología: el diseño de las uniones adhesivas y los tratamientos de superficie. Ambos principios determinan

la eficiencia de las uniones y ofrecen alternativas para mejorarlas en función de las características de los adhesivos y sustratos.

En cuanto a la descripción de los tipos de adhesivos, sus características y manejo, se pueden aportar los siguientes comentarios sobre la aplicación de cualquier adhesivo en general:

- La importancia que tiene llevar a cabo una investigación específica respecto a la aplicación, debido a que, el hecho de implementar un tratamiento superficial, a cambio de que sea posible utilizar un adhesivo más económico o de fácil manejo, no necesariamente implica que existirá una disminución de costos, pues se debe tomar en cuenta otros factores como; Los aumentos en tiempos de proceso en el ámbito industrial .
- Analizar si es posible cambiar los procedimientos para reducir al mínimo el contacto del trabajador con el material peligroso utilizando algún equipo de dosificación, por ejemplo, pues también favorece en el control en el gasto del adhesivo ya que se mantiene constante.
- Para generar una atmósfera segura, es necesario colocar ventilación general o de atenuación (dilución) con aire limpio, proporcionar a los operadores equipo de seguridad de acuerdo a el adhesivo a tratar.
- Completar los controles de ingeniería mediante la capacitación de los trabajadores expuestos a los adhesivos.
- El hecho de conocer los diferentes tipos de adhesivos nos permite ampliar el panorama, por lo regular se conocen únicamente los comerciales y estos son los que queremos emplear para todos los sustratos, lo cierto es que, por muy bueno que sea un adhesivo nunca va a ser universal.
- Ya una vez elegido el adhesivo que se va emplear, es necesario manejarlo bajo las condiciones que se especifican para favorecer el curado dependiendo la naturaleza del adhesivo y aumentar los tiempos de permanencia de la unión.

6. Bibliografía

- Adhesive and glue (s.f.). Surface energy-Surface tension. Definitions and examples [página web]. Recuperado de <https://www.adhesiveandglue.com/surface-energy.html>
- Adhesives.org (2019). Surface preparation [en línea]. Recuperado de <https://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/use-of-adhesives/surface-treatment/surface-preparation>
- Ashutosh, T., HIRAK K. y Wuemei, W. (Eds.) (2016). *Advanced materials interfaces*. Tailandia: John Wiley & Sons.
- Berenguer, J. (2016). NTP 164: Colas y adhesivos. Tipos y riesgos higiénicos. Recuperado de: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/>
- Bishopp, J. (2005). Surface pretreatment for structural bonding. En Cognard, P. (Ed.). *Adhesives and sealants. Basic concepts and High Tech Bonding* (pp. 163-214). Oxford: Elsevier.
- Cataño, J. (2002). *Adhesivos y selladores en la industria química* (Tesis de licenciatura). Recuperada de <http://132.248.9.195/ppt2002/0302059/Index.html>
- Conesa, J. (2003). *Evaluación mecánica de uniones adhesivas de materiales compuestos en la construcción naval* (Tesis de licenciatura). Recuperada de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/46/Introduccion3.pdf?sequence=19>
- Consejo Estadounidense de Química (2011). Catalizadores de amina para poliuretano: pautas de manipulación segura [en línea]. Recuperado de: <https://polyurethane.americanchemistry.com/Resources-and-Document-Library/12017.pdf>
- Costa, J. (2005). *Diccionario de Química Física*. Barcelona: Díaz de Santos.
- Daintith, J. (2008). *A Dictionary of Chemistry*. Oxford: Oxford University Press.
- DeCato, A. (2006). Formulating (meth)acrylic structural adhesives for modern vehicle assembly [en línea]. Recuperado de <https://www.trfa.org/erc/>

- doctr retrieval/uploadedfiles/Technical%20Papers/2006%20Meeting/DeCato-Henkel_paper.pdf
- Decker, C. (2005). UV-Radiation curing of adhesives. En Cognard, P. (Ed.). *Adhesives and sealants. Basic concepts and High Tech Bonding* (pp. 303-354). Oxford: Elsevier.
- Departamento de Química Física-Universidad de Valencia (s. f.). Fenómenos de superficie [en línea]. Recuperado de https://www.uv.es/tunon/QFIII/tema_5.pdf
- Dunn, D. (2003). *Adhesives and sealants. Technology, applications and markets*. Reino Unido: Rapra Technology Limited.
- Ebnesajjad, S. (2011). *Handbook of adhesives and surface preparation. Technology, applications and manufacturing*. Oxford: Elsevier.
- Ebnesajjad, S. (2014). *Surface treatment of materials for adhesive bonding* (3a ed.). Massachusetts: Elsevier.
- Ebnesajjad, S. y Landrock, A. (2015). *Adhesives technology handbook*. Londres: Elsevier.
- Estañ, G. (2015). *Caracterización fisicoquímica de diferentes adhesivos basados en cianoacrilato de etilo* (Tesis doctoral). Recuperada de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/63554/1/tesis_estan_cerezo.pdf
- Fundación Eroski Contigo (1998). Pegamentos de contacto. Los más baratos también son eficaces. Consumer [en línea]. Recuperado de <http://revista.consumer.es/web/es/19981001/actualidad/analisis3/32039.php>
- Galindo, R. (2011). *Modelado de la tensión superficial de líquidos puros mediante una red neuronal artificial* (Tesis de maestría). Recuperada de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/13890/1/TEISIS%20RFGE.pdf>
- Hartug, I. y Boehm, S. (2011). Civil Construction. En Da Silva, L., Öchsner, A. y Adams, R. (Eds.). *Handbook of Adhesion Technology* (pp. 1263-1288). Berlín: Springer Heidelberg.

- Ibermutuamur (2014). Recomendaciones sobre productos químicos [en línea]. Recuperado de: http://www.seguridadsalud.ibermutuamur.es/IMG/pdf/Ficha_Calzado_pegado_02.pdf
- Jones I. y Stylios G. K. (2013). *Joining textiles. Principles and applications*. Cambridge: Woohhead Publishing.
- Kinloch, A. (1987). *Adhesion and Adhesives. Science and Technology*. Londres: Cambridge University Press.
- Kopeliovich, D. (s.f.). Adhesive joints [en línea]. Recuperado de http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=adhesive_joints
- Lahoud, V. (2002). Adhesión de los materiales dentales. *Odontología Sanmarquina*, 1(9), 43-45. Recuperado de http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/odont/article/viewFile/3585/4527FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_164.pdf
- Lepore, E. y Pugno, N. (2013). *An experimental study on adhesive or anti-adhesive, bio-inspired experimental nanomaterials*. London: Versita.
- Liesa, F. y Bilurbina, L. (1990). *Adhesivos industriales*. Barcelona: Marcombo.
- Loctite (s. f.). Catálogo general [en línea]. Recuperado de <https://www.rodaunion.es/media/imagenes/Catalogos/Adhesivos%20y%20lubricantes/Catalogo%20General%20Loctite.pdf>
- López, N. (1990). *Curso de Poliuretano*. s. r.
- Mactac (s. f.). Productos autoadhesivos para superficies plásticas [en línea]. Recuperado de http://www.mactac.eu/datas/files/TL05_SUPERFICIES%20PLSTICAS.pdf
- Madrid, M. (2002). *Tecnología de la adhesión*. España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Recuperado de https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/7071/7071377/curso_de_adhesivos.pdf
- Masaoka, T., Mochizuki, S. y Haruna, K. (1 de abril de 1986). Anaerobic adhesive and sealant. *ThreeBond Technical News*, 8. Recuperado de <http://www.threebond.com/technical/technicalnews/pdf/tech08.pdf>
- McBain, J. y Hopkins, D. (1925). On Adhesives and Adhesive Action. *The Journal of Physical Chemistry*, 29(2), 188-204. doi: 10.1021/j150248a008

- D.H. Park, S.B. Kim, K.D. Ahn, E.Y. Kim, Y.J. Kim, D.K. Han. In Vitro degradation and cytotoxicity of alkyl 2- cyanoacrylate polymers for application to tissue adhesives. *J. Appl. Polym Sci*, 2003
- Millet, G. H. (1986). Cyanoacrylate adhesives. En Hartshorn, S. R. (Ed.). *Structural Adhesives. Chemistry and technology* (pp. 249-308). Nueva York: Plenum Press.
- New Zealand Institute of Chemistry (2017). Adhesives [en línea]. Recuperado de <https://nzic.org.nz/app/uploads/2017/10/10H.pdf>
- NPCS Board of Consultants & Engineers (2008). *The complete technology book on industrial adhesives*. Delhi: Asia Pacific Business Press.
- Permabond (s. f.). Guía de productos [en línea]. Recuperado de <https://www.antala.es/wp-content/uploads/2016/07/1-Cianoacrilatos-Anaerobicos-Epoxis.pdf>
- Permabond Engineering Adhesives (2014). Permabond PT 321. Poliuretano. Hoja de datos técnicos [en línea]. Recuperado de https://www.permabond.com/wp-content/uploads/2016/04/PT321_TDS_ES.pdf
- Petrie, E. (1999). *Handbook of adhesives and sealants*. Boston: McGraw-Hill.
- Pizzi, A. y Mittal, K. L. (Ed.) (2003). *Handbook of Adhesive Technology. Second edition, revised and expanded*. Nueva York: Marcel Dekker.
- Santamaría, A. (2013). El movimiento browniano: un paradigma de la materia blanda y de la biología. *Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 106(1-2), 39-54.
- SCIGRIP Smarter Adhesive Solutions (s.f.). An introduction to MMA structural adhesives. IPS Corporation. Recuperado de https://www.compositesworld.com/cdn/cms/cw_whitepaper_scigrip_mma_intro.pdf
- Shields, J. (1985). *Adhesives handbook* (3ª ed.). Londres: Butterworths.
- Torralba, C., Fonfría, J., González, M., Notario, M. P., Losa, M. S., Rodríguez, M. P. (s. f.). Uso de pegamentos con base de cianoacrilato para el cierre de heridas en niños [en línea]. Recuperado de <http://www.codem.es/Documentos/Informaciones/Publico/9e8140e2-cec7-4df7-8af9-8843320f05ea/f12d732a-3f42-46cb-8e22-241db134d72e/6bea2afe-baa0->

4540-8d49-b4c1024de99d/Uso_pegamento_cianocrilato_cierre_heridas
_ni%C3%B1os_t.pdf

Troughton, M. J. (Ed.) (2008). *Handbook of plastics joining. A practical guide* (2a ed.). Nueva York: William Andrew.

Uniones Permanentes (2019). Adhesivos de contacto [página web]. Recuperado de <http://www.unionespermanentes.com/navegacion/adhesivos-industriales/-/de-contacto>

Vetaphone (2016). Corona Treatment [página web]. Recuperado de <http://www.vetaphone.com/technology/corona-treatment/>

Wu, S. (1982). *Polymer Interface and Adhesion*. Florida: CRC Press.