



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE ADHESIVOS BASE POLIURETANO PARA
APLICACIONES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

RICARDO NEGRETE LÓPEZ



CD MX

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



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: Dr. Luis Miguel Trejo Candelas

VOCAL: Dr. Eduardo Vivaldo Lima

SECRETARIO: Dr. Alberto Rosas Aburto

1er. SUPLENTE: Ing. José Luis López Cervantes

2° SUPLENTE: Ing. Federico Daniel Sandoval Ibarra

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA DE ADHESIVOS HENKEL

ASESOR DEL TEMA:

Dr. Alberto Rosas Aburto

SUSTENTANTE:

Ricardo Negrete López

Agradezco a la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México por la calidad de los conocimientos inculcados y los fondos invertidos en mi educación profesional.

Mi más sincero reconocimiento a tres personas clave para la ejecución de este proyecto, y fundamentales en la trayectoria profesional de un servidor. No hubo minuto alguno durante el cual no destacara la integridad profesional, vocación y apoyo de parte del Dr. Alberto Rosas, el Ingeniero Norberto Noriega y el Ingeniero Gustavo Reyes.

A mi madre Susana López y a mi segunda madre Carmen George, no me alcanzan las palabras para agradecer lo que han hecho de mí. Con plena certeza puedo decir que les estaré eternamente agradecido.

Nicole Trujillo, coincidir contigo en esta vida ha sido mi más grande alegría. Muchas gracias por todo el amor y todo el apoyo que me has dedicado.

Un especial reconocimiento a la familia Trujillo Minero por la calidez de su hospitalidad durante la redacción de este trabajo.

Índice

1. Introducción	1
2. Antecedentes	7
2.1. Polímeros	7
2.2. Clasificación de polímeros	7
2.2.1. Por crecimiento de la cadena	8
2.2.2. Por mecanismo de polimerización.....	8
2.3. Tecnología de adhesión	9
2.3.1. Tipos de uniones adhesivas.....	10
2.3.2. Tipos de fallas adhesivas.....	11
2.4. Energía superficial de sólidos	12
2.5. Adhesivos poliuretanos.....	14
2.6. Síntesis de poliuretanos	14
2.7. Curado de adhesivos base poliuretano.....	15
2.8. Características de adhesivos PU de curado por humedad	16
2.9. Aplicaciones de Adhesivos PU en la industria automotriz.....	18
3. Objetivo	21
4. Metodología	21
4.1. Diseño de experimento	21
4.2. Sustratos de ensamble	21
4.3. Limpieza de sustratos.....	22
4.4. Aplicación de <i>Primer</i>	22
4.5. Aplicación de adhesivo base PU	22
4.6. Formación del ensamble vidrio – aluminio.....	23
4.7. Registro de cantidad de adhesivo empleado.....	23
4.8. Acondicionamiento de probetas	23
4.9. Área de traslape y prueba de esfuerzo máximo de tensión al corte	25
4.10. Tratamiento y análisis de los datos experimentales	25
5. Ejecución del proyecto.....	26
5.1. Aplicación y formación de ensambles (probetas)	26
5.2. Tratamiento de superficie con primer.....	26
5.3. Dispensado de adhesivo base PU	27
5.4. Acoplamiento de ensamble.....	27
5.5. Acondicionamiento.....	28
5.6. Prueba de tensión al esfuerzo cortante máximo	29
6. Resultados	32
7. Conclusiones.....	41
Anexo 1. Ficha Técnica (TDS) del adhesivo “A” empleado,.....	44
Anexo 2. Ficha Técnica (TDS) del adhesivo “B” empleado,.....	47
Anexo 3. Ficha Técnica (TDS) del primer empleado,.....	49
Anexo 4. Control de calibración en equipos utilizados durante este proyecto.....	51

1. Introducción

Un adhesivo es toda aquella sustancia que se aplica sobre una superficie con la finalidad de unirla a otra superficie.

Existen una gran cantidad de presentaciones de adhesivos, cada uno con diversas aplicaciones para unir sustratos prácticamente de cualquier tipo.

Es así que encontramos distintas formas de clasificar a los adhesivos. Una de las más completas es la propuesta por Madrid-Vega¹ y se basa en el mecanismo de formación de la junta adhesiva. Así, se pueden distinguir dos grandes grupos de adhesivos con sus respectivas subclasificaciones:

1) **Adhesivos prepolimerizados.** El polímero base ya existe en el seno del propio adhesivo:

a. *En fase líquida:*

- i. Soluciones acuosas de origen natural:
 1. Origen mineral: cementos, colas
 2. Origen animal: caseína
 3. Origen vegetal: celulosa, almidón.
- ii. Soluciones acuosas de origen sintético:
 1. Polivinilpirrolidona (PVP)
 2. Polietilenglicol (PEG)
 3. Poli (alcohol vinílico) (PAV)
- iii. Soluciones orgánicas: suelen contener solutos (polímeros) lineales y adquieren propiedades elásticas tras la vulcanización, la cual en ocasiones tiene lugar con el oxígeno del aire.
 1. Hule natural
 2. Polienos
 3. Polidienos

¹TECNOLOGIA DE LA ADHESION, Mario Madrid Vega, 3ª edición, Editado por LOCTITE España, Madrid España 2000.

4. Hule estireno - butadieno (SBR)
- iv. Emulsiones o líquidas: tienden a sustituir a los anteriores por los problemas derivados del uso de disolventes en su formulación.
 1. Poli (cloruro de vinilo) (PVC)
 2. Polietileno
 3. Poli (acetato de vinilo)
 4. Poliacrílicos (acrílicos y metacrílicos)

b. En fase sólida:

- i. Adhesivos sensibles a la presión o piezosensibles (PSA): son adhesivos con una reología especial que les permite deformarse y mojar los sustratos en estado sólido.
 1. Adhesivos de contacto
 2. Películas y cintas autoadhesivas
 3. Adhesivos reposicionables (post it)
 4. Adhesivos reactivables por calor
- ii. Adhesivos termofusibles o Hot Melts: son adhesivos que humectan los sustratos cuando se calientan por encima de la temperatura de reblandecimiento del termoplástico y al enfriar adquieren la consistencia de un plástico.
 1. Polietileno
 2. Poliolefinas
 3. Etileno vinilo acetato (EVA)
 4. Poliamidas
 5. Poliésteres
 6. Mezclas

2) Adhesivos reactivos. El adhesivo contiene el monómero u oligómero que polimerizará para generar el polímero curado final:

a. *Mediante poliadición:*

- i. Anaeróbicos
- ii. Acrílicos
- iii. Cianoacrilatos
- iv. Siliconas de poliadición
- v. Poliésteres
- vi. Polisulfuros

b. *Mediante policondensación:*

- i. Poliuretanos
- ii. Epoxis
- iii. Siliconas de policondensación
- iv. Fenólicos

Existen *tecnologías de adhesivos* híbridos que mezclan las características de dos o más de estas clasificaciones.

Dentro de esta clasificación queremos denotar a los adhesivos base poliuretano (PU). Son el resultado de una reacción de policondensación entre un isocianato y un hidroxilo, el cual puede provenir de un poliol o del agua. Es esta la razón por la que el mecanismo de curado o polimerización de un adhesivo PU comienza cuando los isocianatos entran en contacto con el agua de la humedad del medio ambiente.

Los adhesivos base PU son ampliamente usados en la industria automotriz, específicamente en el ensamble de parabrisas y ventanas. Su capacidad de amortiguamiento y resistencia estructural son algunas de las propiedades aprovechadas para esta aplicación.

La unión del vidrio con partes plásticas o metálicas en un parabrisas de un auto es un reto tecnológico importante en materia de adhesivos. Los parabrisas de cristal

son componentes pesados, que deben quedar fijos a la estructura. Más aún, debe aislar a la cabina del clima exterior. No deben ser muy diferentes los coeficientes de expansión del cristal, el adhesivo y los componentes del marco para evitar la ruptura del parabrisas o su desprendimiento. Deben soportar impactos de objetos en el camino. Esto constituye un reto para quien formula el adhesivo.

Existe una gran variedad de adhesivos base PU destinados al pegado de parabrisas. Entre las características consideradas al momento de seleccionar cierto adhesivo base PU para el ensamble de parabrisas está su capacidad de aislamiento, propiedad de interés para sistemas de calefacción de cristales o en algunos otros casos en donde la antena del radio se encuentra incrustada dentro del mismo marco que forma el adhesivo. Otra característica es su alto módulo, el cual difiere para el tipo de transporte y está relacionado con el grosor necesario de adhesivo. Un ejemplo del empleo de adhesivos base PU de alto módulo es para el ensamble de ventanas de autobuses de turismo debido al gran tamaño de los cristales.

Hablando en términos de seguridad, un parabrisas debe de ser capaz de brindar rigidez torsional a la carrocería. El esfuerzo principal que se espera sea capaz de resistir un parabrisas es el del impacto provocado por la detonación de una bolsa de aire desde el interior del automóvil. El parabrisas debe de presentar soporte a la bolsa de aire por lo que se debe de estar absolutamente seguro que el ensamble será capaz de resistir dicho impacto, de lo contrario, el parabrisas saldría disparado del automóvil en caso de un choque lo suficientemente fuerte como para activar las bolsas de aire. Para una reparación en donde se requiere sustituir el parabrisas, no sólo entra en juego la capacidad de resistencia sino también el tiempo en que el ensamble es capaz de desarrollar dicha resistencia.

Este tiempo que se debe dejar pasar, antes de poder conducir el auto nuevamente de manera segura, está completamente estudiado y se le conoce como *tiempo*

*seguro de manejo*¹. El dejar curar al adhesivo durante este tiempo, asegura que en caso de un accidente que detone las bolsas de aire, el ensamble del parabrisas automóvil será capaz de resistir el impacto. Por lo tanto, la bolsa de aire tendrá el soporte necesario para amortiguar cualquier golpe que pudieran sufrir el conductor o pasajeros.

Las pruebas realizadas para garantizar la resistencia, al igual que el *tiempo seguro de manejo*, están estandarizadas. Un ejemplo es el estándar estadounidense FMVSS-208². Éste consiste en regular la protección de ocupantes durante el impacto de automóviles bajo distintas características (velocidad, geometría, área de contacto, etc.) y, por supuesto, no sólo se enfocan en parabrisas sino en la resistencia general que ofrece la estructura del automóvil concatenada a la seguridad de los tripulantes. En México existen instituciones que realizan estudios experimentales de seguridad como es el caso de CESVI México (por sus siglas: Centro de Experimentación y Seguridad Vial).

Generalmente un *tiempo seguro de manejo* habitual es de cuatro horas, aunque hay algunos adhesivos que logran reducir dicho tiempo a una hora.

Existen varios métodos para cuantificar la resistencia que un adhesivo es capaz de brindar. Todo depende del tipo de resistencia que se requiere en el ensamble. Hay cuatro tipos de resistencia o esfuerzos al que un ensamble puede estar sometido: 1) resistencia al corte, es aquella en donde el ensamble es sometido a un esfuerzo tangencial entre las superficies adheridas; 2) resistencia al esfuerzo en T, es aquella en donde el ensamble es sometido a un esfuerzo perpendicular respecto a las superficies adheridas; 3) resistencia al despellejamiento (peel), es aquella en donde uno de los sustratos es flexible o blando y es sometido a una tensión con dirección de 180° respecto a la superficie opuesta del ensamble, la cual debe ser rígida; y por último 4) resistencia al torque, generalmente aplicado a

¹ *Tiempo seguro de manejo. Tiempo que se debe de esperar para volver a hacer uso de un automóvil después de que a este le ha sido cambiado el parabrisas.*

² *Federal Motor Vehicle Safety Standard 208: Occupant Crash Protection*

uniones de roscas y tornillería en donde el esfuerzo sometido sigue la línea de una circunferencia.

El método *ASTM D1002-5*¹, “Esfuerzo al corte en placas”, es empleado para la medición de la resistencia de un ensamble desde una tensión de cero a la tensión de falla del ensamble. En el numeral 2.3.2 del presente escrito se presentan los tipos de falla que puede sufrir una unión adhesiva.

En este proyecto se evaluaron dos tipos de ensamble usando adhesivos base PU mediante uso del método STM-700², el cual a su vez se basa en el método *ASTM D1002-5*³. Mediante dicho método, el empleo de sustratos de cristal y aluminio (pre – tratado con pintura automotriz) pretende simular la unión de un parabrisas convencional a un automóvil.

Los dos tipos de unión aluminio – cristal estudiados en este proyecto son los siguientes:

- 1) Unión mediante un adhesivo PU posterior a un pretratamiento de la superficie de cristal con un primer afín.
- 2) Unión mediante un adhesivo PU que no requiere pretratamiento de primer.

¹ *ASTM D1002-5. Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal).*

² *STM-700. Henkel’s Standard Test Method “Shear Strength of Adhesives Using Lap-Shear Specimens”*

³ *ASTM D1002-5. Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal).*

2. Antecedentes

Hemos visto que el componente fundamental en el uso de adhesivos es el polímero que lo constituye. Por ello, la siguiente sección trata acerca de la definición y algunas de las clasificaciones de polímeros.

2.1. Polímeros

Un Polímero es una macromolécula conformada por varias unidades moleculares más pequeñas, llamadas monómeros, que se unen entre sí. Éstas pueden o no compartir la misma estructura química y la manera en que se unen es mediante una reacción de polimerización¹, en la cual se forman enlaces covalentes.

2.2. Clasificación de polímeros

Debido a la gran cantidad de materiales poliméricos existentes, podemos encontrar distintas maneras de clasificar a los polímeros.

Una forma de clasificar es a partir del monómero que los constituye. En este caso la clasificación es diversa: estirénicos, acrílicos, elastoméricos, poliuretanos, epóxicos, olefínicos, etc.

En este trabajo nos enfocaremos en dos clasificaciones que son más útiles ya que nos explican muchos de los fenómenos involucrados en el proceso de adhesión de dos superficies.

La primera de ellas es la clasificación que se basa en la forma en que se hace crecer la cadena polimérica. De esta manera encontramos: polímeros obtenidos por reacciones de condensación y polímeros obtenidos por reacciones de adición. La segunda clasificación se basa en el mecanismo de polimerización, en cadena o por pasos.

¹ Odian, G. G. (2004). *Principles of polymerization (4th ed.)*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. pp 1-4. License No 4347660974689 (May 11, 2018) provided by John Wiley and Sons Inc. through Copyright Clearance Center.

2.2.1. Por crecimiento de cadena

Un *polímero de condensación* es aquel que se forma a partir de monómeros polifuncionales (aquel monómero capaz de formar enlaces con al menos dos unidades monoméricas), mediante varias reacciones de condensación que conllevan la eliminación de moléculas de bajo peso molecular como el agua. Ejemplos de polímeros de condensación naturales son el almidón, seda, lana o celulosa¹.

Por otra parte, un *polímero de adición* es aquel que se origina a partir de la formación de enlaces entre monómeros, sin la eliminación de ninguna molécula, por lo que la unidad de repetición en un polímero de adición tiene la misma estructura del monómero a partir del cual se formó. Los principales *polímeros de adición* son aquellos que se forman por polimerización de monómeros que contienen doble enlace carbono – carbono. Ejemplo de polímeros de adición son el estireno, metacrilato de metilo y cloruro de vinilo¹.

Siguiendo esta primera clasificación, los poliuretanos son considerados polímeros obtenidos por condensación ya que el enlace uretano (-NH-CO-O-) tiene mucho en común con el enlace éster (-CO-O-) y amida (-NH-CO-), enlace característico de los polímeros de condensación¹.

2.2.2. Por mecanismo de polimerización

Existen dos tipos de mecanismo de polimerización, por pasos y por crecimiento de cadena. La diferencia principal radica en la identidad de las especies que pueden reaccionar entre sí¹.

La *polimerización por pasos* sucede debido a la reacción entre grupos funcionales de los reactantes. El tamaño del polímero incrementa de forma relativamente lenta. Por la unión de dos monómeros se forma un dímero, por la unión de un

¹ Odian, G. G. (2004). *Principles of polymerization (4th ed.)*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. pp 1-9. License No 4347660974689 (May 11, 2018) provided by John Wiley and Sons Inc. through Copyright Clearance Center.

dímero y un monómero, un trímero; y así sucesivamente hasta que eventualmente se forman moléculas poliméricas de gran tamaño. La característica de la polimerización en paso que la distingue de la polimerización en cadena es que la reacción ocurre entre cualquiera de las especies de diferente tamaño presentes en el sistema de reacción¹.

En la *polimerización por crecimiento de cadena* un iniciador es usado para producir una especie con centro reactivo que puede ser un radical libre, un catión o un anión. La polimerización ocurre por la propagación del centro reactivo a lo largo de adiciones sucesivas de un gran número de monómeros de la propia reacción en cadena. La diferencia principal de la polimerización en cadena es que el crecimiento del polímero ocurre por la reacción del monómero únicamente con el centro reactivo, el monómero no reacciona con ninguna otra especie ya sea otro monómero u otra especie de distinto tamaño. El crecimiento del polímero finaliza cuando el centro reactivo se destruye por una o más reacciones de terminación¹.

Una característica de la polimerización por crecimiento de cadena es que durante todo el avance de reacción se presentan polímeros de gran peso molecular, mientras que, en la polimerización por pasos, este tipo de polímeros únicamente se observan al final de la reacción cuando la conversión es mayor al 98%¹.

2.3. Tecnología de adhesión

Un adhesivo es considerado un material, el cual se aplica en la superficie de dos objetos para lograr una unión, ya sea permanente o temporal, por medio de un proceso de ensamble. Sin embargo, existen distintas formas de unir o ensamblar dos o más componentes, uniones adhesivas, lo cual influye en el tipo de adhesivo a seleccionar.

¹ Odian, G. G. (2004). *Principles of polymerization (4th ed.)*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. pp 1-9. License No 4347660974689 (May 11, 2018) provided by John Wiley and Sons Inc. through Copyright Clearance Center.

2.3.1. Tipos de uniones adhesivas

Se define como unión adhesiva a la forma de ensamblar dos o más componentes mediante un adhesivo. Existen dos principales tipos de unión adhesiva: estructural y no estructural.

La *unión adhesiva estructural* es aquella en la que los sustratos pueden resistir tensiones lo suficientemente grandes como para llegar a su punto de quiebre. El enlace de tipo estructural debe ser capaz de transmitir tensión sin pérdida de la integridad dentro de los límites designados. Algunos ejemplos de adhesivos estructurales empleados en este tipo de unión son los adhesivos instantáneos como los cianoacrilatos, o bien, los de base poliuretano¹.

Los adhesivos de *unión adhesiva no estructural* no requieren soportar cargas considerables, sino mantener materiales no pesados. A este tipo de adhesivos también se les conoce como “adhesivos de agarre” (del inglés *holding adhesives*) y un claro ejemplo son las cintas aislantes, adhesivos de empaque o cintas sensibles a la presión¹.

Ahora bien, la unión de dos elementos al someterse a distintas cargas y esfuerzos puede llegar a la falla (separación de los componentes). Existen distintas formas de falla en la unión.



Figura 2.3.1. Esquema de una unión adhesiva.

¹ Ednesajjad, S. (2008). *Adhesives Technology Handbook* (2nd ed.). NY: William Andrew. Pp 1.

2.3.2. Tipos de fallas adhesivas

Las fallas de unión adhesiva se califican de las siguientes tres maneras:

- ❖ **Falla de adhesión** – Una falla de adhesión se caracteriza por la buena adherencia del adhesivo en cuestión solamente a uno de los dos sustratos, por lo que, al observar el área de ensamble, una de las superficies adheridas retendrá todo el adhesivo aplicado. Al presentarse una falla adhesiva en un ensamble, la carga de ruptura antes del fallo será la resistencia máxima que el ensamble fue capaz de resistir.



Figura 2.3.2.1. Esquema de una falla adhesiva.

- ❖ **Falla de cohesión** – Una falla cohesiva sucede cuando el adhesivo en cuestión presenta una excelente adherencia a ambos sustratos y se verá reflejado en que quedan restos del adhesivo en ambas superficies. En este caso, la carga máxima de ruptura, antes del fallo, reflejará la resistencia del propio adhesivo, siendo las fuerzas cohesivas del mismo polímero menores que la fuerza de adherencia al sustrato.

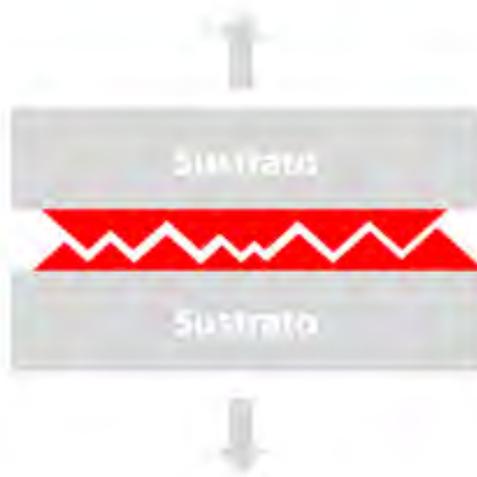


Figura 2.3.2.2. Esquema básico de una falla cohesiva

- ❖ Falla de sustrato – sucede cuando la fuerza de adherencia del adhesivo al sustrato es mayor que la fuerza cohesiva del propio sustrato. En dicho caso se observarán fracturas, desgarres o desprendimiento total de alguna parte de uno de los sustratos adheridos en algún lugar distinto a la interfase sustrato-adhesivo-sustrato.



Figura 2.3.2.3. Esquema básico de una falla de sustrato.

2.4. Energía superficial de sólidos

La tecnología de adhesión no solo se basa en la resistencia estructural de los materiales, sino que también entra en juego el conocimiento de la fisicoquímica de superficies. En específico, en el conocimiento de la energía interfacial y de la superficie de sólidos. Las superficies de materiales sólidos pueden dividirse en dos categorías: aquellas con alta y baja energía superficial. La energía superficial de

un sólido se determina a través de medir la capacidad de ser mojado por distintos solventes con distintas energías superficiales ¹.

Los sólidos con energía superficial alta incluyen metales y compuestos inorgánicos como óxidos, silicatos, sílica, diamante y nitrilos, entre otros. Esta alta energía se explica debido a su estructura atómica o molecular altamente empaquetada, formada por cristales o estructuras fractales. Los valores de tensión superficial de estos materiales están en el rango de los 50 a 200 dina/cm.

Los materiales de baja energía superficial, están conformados principalmente por materiales orgánicos o de bajo empaquetamiento o densidad, tales como polímeros o tejidos. Sus valores son menores a 50 dina/cm ².

Regresando a las sustancias líquidas, aquellas de baja energía superficial como las grasas, son adsorbidas espontáneamente por superficies con mayor energía debido al gradiente de fuerzas de atracción entre la superficie de mayor energía, respecto a las fuerzas cohesivas que presenta el material con menor energía superficial. Lo anterior indica que una superficie, limpia, de alta energía que es expuesta al medio ambiente, no permanecerá limpia por mucho tiempo debido a la adsorción de agua y contaminantes orgánicos en su superficie. Por lo anterior, un procedimiento de limpieza de las superficies es mandatorio previo a la mayoría de los procesos de aplicaciones de adhesivos o recubrimientos. Otra manera de prevenir la contaminación de las superficies de alta energía superficial, es el uso de películas protectoras, por ejemplo, en el caso de metales se emplean grasas y se remueven inmediatamente antes de la aplicación del adhesivo, o bien del tratamiento posterior que se requiera.

Retomando el tema de estudio de este trabajo, para la unión de vidrio con metal se empleó un adhesivo base poliuretano (PU). Es de esperar que el contacto entre un material de baja energía (PU) con dos de alta energía (vidrio por un lado y

¹ A. W. Adamson, A. P. Gast (1997). Physical Chemistry of Surfaces (6th ed.) NY John Wiley & Sons pp 364-368.

² Ednesajjad, S. (2008). Adhesives Technology Handbook (2nd ed.). NY: William Andrew. pp 23 – 24.

metal por otro), permitan esa adsorción espontánea de la que se habló previamente, facilitando así la adhesión.

No obstante, la naturaleza de las superficies no es lo único a considerar para tener una buena adhesión. Debe también haber una afinidad química entre las superficies. Así, por ejemplo, no todos los adhesivos de poliuretano podrán llevar a cabo la adhesión entre un vidrio y un metal, debido a los grupos funcionales que éstos posean y las características del polímero, entre otros aspectos.

2.5. Adhesivos poliuretanos

La familia de poliuretanos es una clase amplia de polímeros basados en la reacción por pasos entre diisocianatos y polioles. Los poliuretanos tienen diversas aplicaciones en la industria automotriz, se encuentran en asientos, componentes interiores, paneles externos y partes de motores. En la industria de muebles se usan principalmente como rellenos de colchones, cojines, etc. También son comunes en la industria de la construcción, en electrodomésticos, en la industria del calzado, etc.¹.

Las resinas poliuretano son ampliamente usadas como componentes de adhesivos estructurales. Los poliuretanos tienen el potencial de absorber energía mecánica y pueden ser formulados para curar desde temperatura ambiente hasta temperaturas alrededor de 60 ~ 80 C.^{2,3}.

2.6. Síntesis de poliuretanos

Los poliuretanos son formados a partir de la reacción química entre un di/poliisocianato y un di/poliol formando unidades repetitivas del grupo de uretanos. Generalmente la reacción ocurre en presencia de un catalizador o un agente que permite extender la cadena. Frecuentemente hay grupos funcionales

¹ Schollenberger, C. (1990). Handbook of Adhesives (1st ed). Skeist. Van Nostrand Reinhold. pp 369.

² Pocius, A. (2012). Adhesion and Adhesives Technology (3rd ed). Munich: Hanser Publishers. pp 232-233.

³ Langenberg, K. *et al.* (2010). The durability of isocyanates-based adhesives under service in Australian conditions. The results from a 3 years' exposure study and accelerated testing regime. Melbourne: Forest & Wood Products Australia Limited. pp 1-2.

describe la reacción típica del curado por humedad de un adhesivo base poliuretano.

El curado por humedad de un adhesivo poliuretano involucra varias posibles reacciones. La reacción principal se da cuando un isocianato reacciona con hidroxilos presentes en la superficie a adherir o con la humedad del ambiente para dar lugar a la formación de un enlace uretano, siendo este producto el que posee propiedades adhesivas. La reacción secundaria consiste en que un isocianato reacciona con la humedad del ambiente o la humedad de la superficie para formar una amina y dióxido de carbono; posteriormente, dicha amina reacciona con otro isocianato para dar lugar a un enlace tipo urea (reacción secundaria)¹.

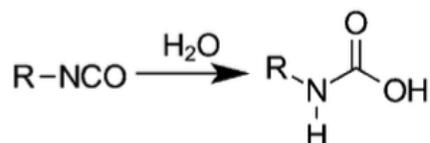


Figura 2.7.1. Reacción principal de curado de un adhesivo base PU a partir de isocianato y agua.

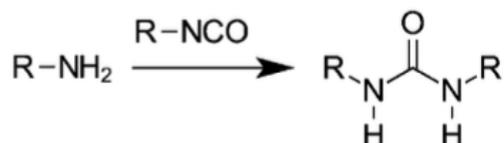


Figura 2.7.2. Reacción secundaria de curado de un adhesivo base PU a partir de isocianato y agua.

2.8. Características de adhesivos PU de curado por humedad

Al momento de seleccionar un adhesivo base poliuretano deben considerarse las siguientes características:

❖ Degradación por radiación UV

Los adhesivos poliuretanos presentan una pobre resistencia a la radiación UV. Existen tratamientos complementarios a la aplicación de estos adhesivos para protegerlos. Un claro ejemplo es el marco de cerámica negra que se aplica a los

¹ Engels, H. *et al* (2013). Polyurethane: vielseitig Materialien und nachhaltige Problemlöser für aktuelle Anforderungen. *Angewandte Chemie*. 125. 9596 – 9616.

bordes de los cristales de los parabrisas de automóviles para proteger el ensamble de la radiación UV. Este sería el caso de un pretratamiento que se aplica a la superficie del cristal. Otro ejemplo es el uso de *primers*¹.

Existe una gran variedad de sustancias pro-adhesivas tales como promotores de adhesión, *primers* y activadores. Todos ellos son sustancias que incrementan la adhesión de la superficie a los materiales que se desea unir, o aceleran el proceso de entrecruzamiento de un adhesivo. Estas sustancias incrementan la cantidad de interacciones, principalmente de los enlaces covalentes. Haciendo referencia a la tecnología de adhesivos, estas sustancias son comúnmente conocidas como *primers*.

La energía libre de la superficie de adhesión de *primers* en estado sólido es mayor que la de los sustratos, por lo que el uso de estas sustancias facilita el proceso de adhesión. Durante la unión del primer con la superficie del sustrato a adherir, el primer se adsorbe en la superficie de la cual fue aplicado, lo cual lleva a la formación de enlaces químicos con moléculas del sustrato. La estructura de un buen *primer* debe interactuar tanto con el material a ser adherido como con el adhesivo¹.

Los *primers* pueden ser clasificados en dos tipos: los que se aplican directamente a la superficie del sustrato, y los que se introducen directamente en el adhesivo¹.

❖ Resistencia estructural

Los poliuretanos, al ser polímeros estructurales, son capaces de transmitir esfuerzos, por lo que un adhesivo base poliuretano puede brindar esta propiedad al ensamble en el que se aplique. En el caso de un automóvil, cuando el parabrisas ha sido instalado con un adhesivo base PU, éste se convierte en parte de la estructura del automóvil.

¹ Rudawska, A. *et al.* (2017) The effect of primers on adhesive properties and strength of adhesive joints made with polyurethane adhesives. *Journal of Adhesion Science and Technology*. Vol 31. pp 327 – 344.

❖ Flexibilidad y elasticidad

Una vez curados en su totalidad, los adhesivos base poliuretano presentan una cierta flexibilidad y elasticidad. Esta propiedad les permite amortiguar vibraciones, evitando la fractura de materiales a los que se encuentran adheridos, por ejemplo, el cristal del parabrisas.

2.9. Aplicaciones de Adhesivos PU en la industria automotriz

El ensamble o la unión de piezas es un paso muy común en los procesos de manufactura, ya sea que hablemos de líneas de producción o artesanías. Una vez vendido el producto final, por naturaleza éste es susceptible de sufrir daños, o bien es necesario darle mantenimiento. En cualquiera de estos casos los adhesivos tienen papeles fundamentales ya sea por cuestiones de seguridad, costo o eficiencia. Por ejemplo, un adhesivo ayuda a reducir los puntos de soldadura, brindando mayor facilidad de aplicación, disminuyendo los costos de las materias primas que requiere un equipo de soldadura, e incluso si el adhesivo es afín a los sustratos a unir, es posible sustituir completamente el paso de soldadura.

Seleccionar un adhesivo es una decisión compleja, especialmente cuando se trata de volúmenes grandes de producción. Se deben analizar las propiedades químicas, propiedades físicas, estructura, forma, entre otras, de los sustratos a adherir. Posteriormente se estudia el tipo de esfuerzos a los que estará o pudiera estar sometido el ensamble, y por último las condiciones ambientales a las que estará expuesta la pieza final.

Estos requisitos en si son del ensamble. Hay algunas otras cuestiones a considerar como, por ejemplo, qué tan segura se desea que sea la aplicación o el manejo de adhesivos, dado que hay casos en donde estos son inflamables o perjudiciales para la salud de las personas que se encuentran al momento de las aplicaciones.

Por lo anterior, es necesario realizar pruebas con los sustratos a adherir antes de pasar a la aplicación en una línea de producción. Con esto se garantiza la

adquisición de un adhesivo correcto y la total seguridad del desempeño correcto del ensamble.

Las resinas de poliuretano son ampliamente usadas en el campo de recubrimientos y adhesivos debido a su alta reactividad, flexibilidad, propiedades mecánicas de adhesión y resistencia al medio ambiente. En particular, los adhesivos poliuretanos son usados en la industria automotriz para el ensamblaje o unión de componentes, ya que las juntas obtenidas son resistentes a grasas y agua¹.

Los adhesivos también son empleados para la unión de superficies expuestas a fricción como es el caso de frenos y clutch. Se emplean adhesivos anti-vibraciones en el cofre y cajuela para ayudar a controlar la deformación que puede causar el aire a altas velocidades. Se aplican adhesivos selladores y fijadores de roscas y tornillería en algunas partes del motor.

En autos recientes, el parabrisas de un auto forma parte fundamental de la estructura que da protección y soporte al automóvil y a los pasajeros que se encuentran en el interior. Actualmente éste se ensambla a los automóviles por medio de adhesivos.

Dado que un automóvil está expuesto a cambios de humedad, temperatura y vibraciones, la unión metal-vidrio debe de ser capaz de amortiguar cualquier tipo de impacto y vibración a los que el parabrisas pueda estar expuesto y de igual manera responder correctamente a los cambios climatológicos.

A pesar de que anteriormente se ha expuesto la poca resistencia a radiación UV lo que se hace para protegerlos de la radiación UV es recubrir los marcos de los parabrisas de cerámica negra.

¹ Malucelli, G. *et al.* (2005). Polyurethane resin-based adhesives: curing reaction and properties of cured systems. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 25. pp 87-91.

Es por ello que, generalmente, los parabrisas tienen un marco negro de grosor considerable además de que ayuda a la estética del automóvil ocultando la parte del ensamble.

Cabe mencionar que en algunas ocasiones los cristales y las ventanas de algunos autobuses, no presentan de fábrica este tipo de marcos en los cristales. En este caso se le da un pretratamiento con un algún *primer* afín al adhesivo PU a las superficies a adherir, el cual brindará la misma protección a los rayos UV que los marcos de cerámica, además de mejorar el desempeño del ensamble.

3. Objetivo

Evaluar el efecto del área de contacto, cantidad de adhesivo, temperatura y humedad, durante la aplicación y *curado*¹, en el desempeño de dos adhesivos base Poliuretano de la marca Teroson® (referenciados más adelante como Adhesivo A c/primer y Adhesivo B), de uso común en el ensamble de parabrisas de automóviles, buscando optimizar la aplicación en campo de los mismos. El desempeño de los adhesivos será medido mediante el sometimiento de los ensambles a esfuerzo máximo de tensión al corte con una máquina de tensión de la marca Instron®.

4. Metodología

4.1. Diseño de experimentos

Se realizaron dos diseños de experimentos, uno para cada adhesivo, abarcando rangos factibles, de acuerdo con la hoja de datos técnicos (TDS)² del producto (Anexos 1, 2 y 3), de las cuatro variables a monitorear (área de contacto, cantidad de adhesivo, temperatura y humedad) durante la aplicación y curado de los adhesivos.

4.2. Sustratos de ensamble

Para la simulación de un ensamble del parabrisas en un automóvil se utilizaron placas de aluminio con tratamiento de pintura automotriz y placas de vidrio. Las placas empleadas son de dimensiones estandarizadas de acuerdo al método *STM-700*³, el cual se basa en el método *ASTM D1002-10*⁴. Se hará referencia a estas placas por el nombre de "*lap shear*". Con este par de sustratos se pretende simular la aplicación real de los ensambles de parabrisas que se realizan en la industria automotriz.

¹ *Curado. Reacción de polimerización del adhesivo. En dicho punto se alcanza la resistencia máxima que el adhesivo puede brindar y sus propiedades físicas se mantienen constantes.*

² *Technical Data Sheet- Hoja técnica del producto. Se encuentran en los anexos del presente trabajo.*

³ *STM-700. Henkel's Standard Test Method "Shear Strength of Adhesives Using Lap-Shear Specimens"*

⁴ *Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal – to – Metal).*

4.3. Limpieza de sustratos

A partir de este punto, todos los pasos subsecuentes (4.3 a 4.9) se realizaron en un laboratorio con condiciones de temperatura y humedad controladas. El laboratorio se encontraba bajo un programa de acreditación ISO 17025¹, lo que asegura que los equipos de medición se encuentran sometidos a un programa de calibración. Cada sustrato fue limpiado con alcohol isopropílico para remover posibles restos de grasa. Se usaron guantes de nitrilo durante la limpieza y la aplicación para evitar contaminación de la superficie a adherir.

4.4. Aplicación de *Primer*

En el primer diseño de experimentos, la superficie de ensamble del vidrio de cada probeta fue pre-tratada con un *primer* de la marca Teroson®, específico para adhesivos base poliuretano. El pre-tratamiento consistió en aplicar una fina capa de *primer* en la superficie a adherir del cristal, con ayuda de una brocha y dejar secar 15 min, de acuerdo a lo recomendado en la ficha técnica del *primer* (Anexo 3). En el segundo diseño de experimento la aplicación del adhesivo se realizó sin ningún pretratamiento adicional a la pintura automotriz en las *lap shear* de aluminio.

4.5. Aplicación de adhesivo base PU

La aplicación consistió en el dispensado del adhesivo base poliuretano sobre una *lap shear* de aluminio con pretratamiento de pintura automotriz y se ensambló a una *lap shear* de vidrio, de acuerdo a la matriz de experimentación presentada en la Tabla 4.8. Existen varios tipos de pistolas para la aplicación de este tipo de adhesivos, las hay manuales y neumáticas. Las pistolas neumáticas son muy convenientes para aplicaciones a escala industrial ya que evitan la fatiga de presionar con los dedos el gatillo como sucede con una pistola manual, como es el caso de una galafateadora convencional, además de que ofrecen un flujo constante de salida de producto. En este trabajo, el dispensado del adhesivo se realizó con una pistola galafateadora manual. Se utilizaron puntas de dispensado especiales para la aplicación de adhesivos para parabrisas de la marca Teroson®.

¹ Acreditación de laboratorios de ensayo y calibración.

La importancia del uso de estas puntas es que dispensan el adhesivo en forma de triángulo y te permiten dosificar el grosor de la aplicación. Con la forma en triángulo se evita la formación de burbujas atrapadas entre el adhesivo poliuretano y el cristal al momento del ensamble.

4.6. Formación del ensamble vidrio – aluminio

El ensamble se realizó con ayuda de un molde para *lap shear* con el fin de homogeneizar el área de ensamble que será de aproximadamente 0.5 in². La unión se sujetó mediante dos tenazas estandarizadas indicadas en el método *STM-700*¹ en extremos opuestos, para mantener distribuida la presión en toda el área del ensamble.

A partir de este punto al ensamble de aluminio con recubrimiento automotriz – adhesivo – vidrio mediante adhesivo base poliuretano, se le llamará probeta.

4.7. Registro de cantidad de adhesivo empleado

Antes de someter cada probeta a las respectivas condiciones de curado, se registró la cantidad de adhesivo aplicado por diferencia de peso con la ayuda de una balanza de plato.

4.8. Acondicionamiento de probetas

Las condiciones de curado de cada probeta se programaron de acuerdo con la matriz de experimentación presentada en la Tabla 4.8 en una cámara de ciclos, la cual permite alcanzar condiciones específicas de temperatura y humedad, y mantenerlas constantes por un tiempo programado. En las corridas en donde la humedad se mantiene constante, se empleará un horno en lugar de la cámara de ciclos.

El tiempo de curado para todas las probetas de este experimento fue de 72 horas.

¹ *STM-700. Henkel's Standard Test Method "Shear Strength of Adhesives Using Lap-Shear Specimens"*

Tabla 4.8. Matriz de experimentación

Experimento	Repeticiones	Adhesivo	Sustratos	Acondicionamiento	Prueba
A	3	A c/primer	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=5°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
B	3	A c/primer	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=15°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
C	3	A c/primer	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
D	3	A c/primer	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=35°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
E	3	A c/primer	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =30	Esfuerzo al corte en placas
F	3	A c/primer	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =40	Esfuerzo al corte en placas
G	3	A c/primer	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
H	3	A c/primer	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =60	Esfuerzo al corte en placas
I	3	B	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=5°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
J	3	B	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=15°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
K	3	B	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
L	3	B	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=35°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
M	3	B	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =30	Esfuerzo al corte en placas
N	3	B	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =40	Esfuerzo al corte en placas
O	3	B	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =50	Esfuerzo al corte en placas
P	3	B	Vidrio-Aluminio c/ pintura automotriz	T=25°C, %H _r =60	Esfuerzo al corte en placas

“Adhesivo A”: Terostat® 9097 PL HMLC (TDS¹ en ANEXO 1)

“Adhesivo B”: Teroson® PU 9092 PL (TDS¹ en ANEXO 2)

“Primer”: Teroson® PU 8519 P (TDS¹ en ANEXO 3)

¹ Hoja de datos técnicos (TDS)

4.9. Área de traslape y prueba de esfuerzo máximo de tensión al corte

Una vez transcurrido el tiempo de acondicionamiento, se calculó para cada probeta el área de traslape, con ayuda de un vernier digital de la marca Mitutoyo®.

Posteriormente se midió el esfuerzo de tensión al corte máximo soportado por el ensamble, para el cual se tomó como referencia el método *STM-700*¹, mismo que se basa en el método *ASTM D1002-10*². Se utilizó una máquina de tensión y un software de la marca Instron® para monitorear el porcentaje de elongación, así como la resistencia máxima presentada por el ensamble.

Se registraron el área de ensamble, esfuerzo máximo y modo de falla para cada ensamble.

4.10. Tratamiento y análisis de los datos experimentales

Se realizó un análisis estadístico de las cuatro variables consideradas para la evaluación de su influencia sobre el esfuerzo al corte de los ensambles.

¹ *STM-700. Henkel's Standard Test Method "Shear Strength of Adhesives Using Lap-Shear Specimens"*

² *Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal – to – Metal).*

5. Ejecución del proyecto

5.1. Aplicación y formación de ensambles (probetas)

Para la aplicación de adhesivo, y en su caso pretratamiento de superficie con primer, fue necesario limpiar previamente las superficies que se deseaba adherir con alcohol isopropílico y un paño de papel (*Figura 5.1*). Con esto se asegura que las superficies queden libres de polvo y principalmente grasa proveniente del contacto con piel o cualquier otra fuente, la cual podría debilitar significativamente el ensamble. Cabe mencionar que este paso (limpieza de superficies) es fundamental no sólo en el pegado de parabrisas sino en la aplicación de cualquier adhesivo.

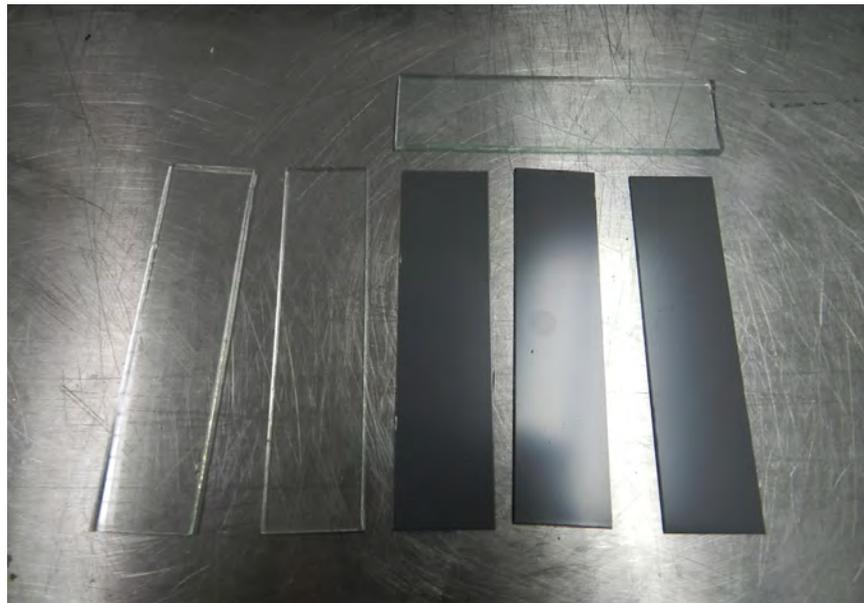


Figura 5.1. Sustratos de ensamble limpios.

5.2. Tratamiento de superficie con primer

Para las corridas que requerían un tratamiento de superficie con primer, se aplicó, con ayuda de una brocha, una capa de primer sobre la superficie metálica. Se dejó orear por 15 minutos, tiempo suficiente para evaporar completamente el solvente en el que se encuentra disuelto el *primer*, de acuerdo a la TDS del producto (ver Anexo 3).

Después del tiempo de oreo del primer recomendado por la TDS del producto, se registró el peso inicial de las dos “lap shear” a ensamblar.

5.3. Dispensado de adhesivo base PU

Se colocó el cartucho de adhesivo en una pistola galafateadora (Figura 5.3.1) y posteriormente se aplicó una tira de adhesivo sobre la superficie metálica, o sobre la capa de primer según fuera el caso, con ayuda de puntas exclusivas para este tipo de aplicación (Figura 5.3.2).



Figura 5.3.1. Pistola galafateadora, cartucho de adhesivo PU y primer.



Figura 5.3.2. Punta de aplicación para pegado de parabrisas.

5.4. Acoplamiento de ensamble

Una vez aplicado el cordón, se realizó el ensamble con ayuda de moldes (fixures), los cuales contaban con las medidas para formar un área de contacto entre ambos sustratos recomendada por los métodos ASTM D1002-5 y STM-700 (aprox. 0.5 in²).

Una vez acoplados los sustratos, se sujetó el ensamble con ayuda de pinzas de plástico “clamps” de características específicas acorde al método STM-700 (Figura 5.4), sin retirarlos éstos del molde para evitar movimiento o cambio en el área de contacto. Lo anterior pretendía que no hubiera movimiento durante la manipulación mientras se acondicionaban las probetas.



Figura 5.4. Ensamble aluminio pintado – vidrio (probeta).

Después de fijar el ensamble con los sujetadores, se registró el peso final del ensamble con adhesivo e inmediatamente se sometieron las probetas a las condiciones de curado indicadas en la Tabla 4.8.

5.5. Acondicionamiento

Se usaron una cámara de ciclos y un horno (Figura 5.5.1.) para poder mantener constantes la humedad relativa y la temperatura (Figura 5.5.2.). Se programó el tiempo de acondicionamiento en 72 horas.



Figura 5.5.1. Cámara de ciclos.



Figura 5.5.2. Pantalla de control de la cámara de ciclos.

5.6. Prueba de tensión al esfuerzo cortante máximo

Una vez transcurrido el tiempo de acondicionamiento se ejecutaron las pruebas de esfuerzo al corte con una máquina de tensión marca Instron® (Figura 5.6.1) de las cuales se obtienen datos de esfuerzo contra distancia. La velocidad de separación de la celda de carga mantuvo en 0.05 in/min acorde con el método STM-700 (Figura 5.6.2 y Figura 5.6.3).



Figura 5.6.1. Máquina de tensión.



Figura 5.6.2. Celda de carga



Figura 5.6.3. Celda de carga

Los resultados de la máquina de tensión se reportan como gráficas de carga (lbf) vs extensión (mm) como la de la *Figura 5.6.4* por medio de un software complementario de la máquina de tensión, de la misma marca Instron®.

Se registró el tipo de falla que presentó cada ensamble (*Figura 5.6.4*).



Figura 5.6.4. Ejemplo de modo de falla de ensamble adhesivo.

STM 700 TENSION METHOD 17025

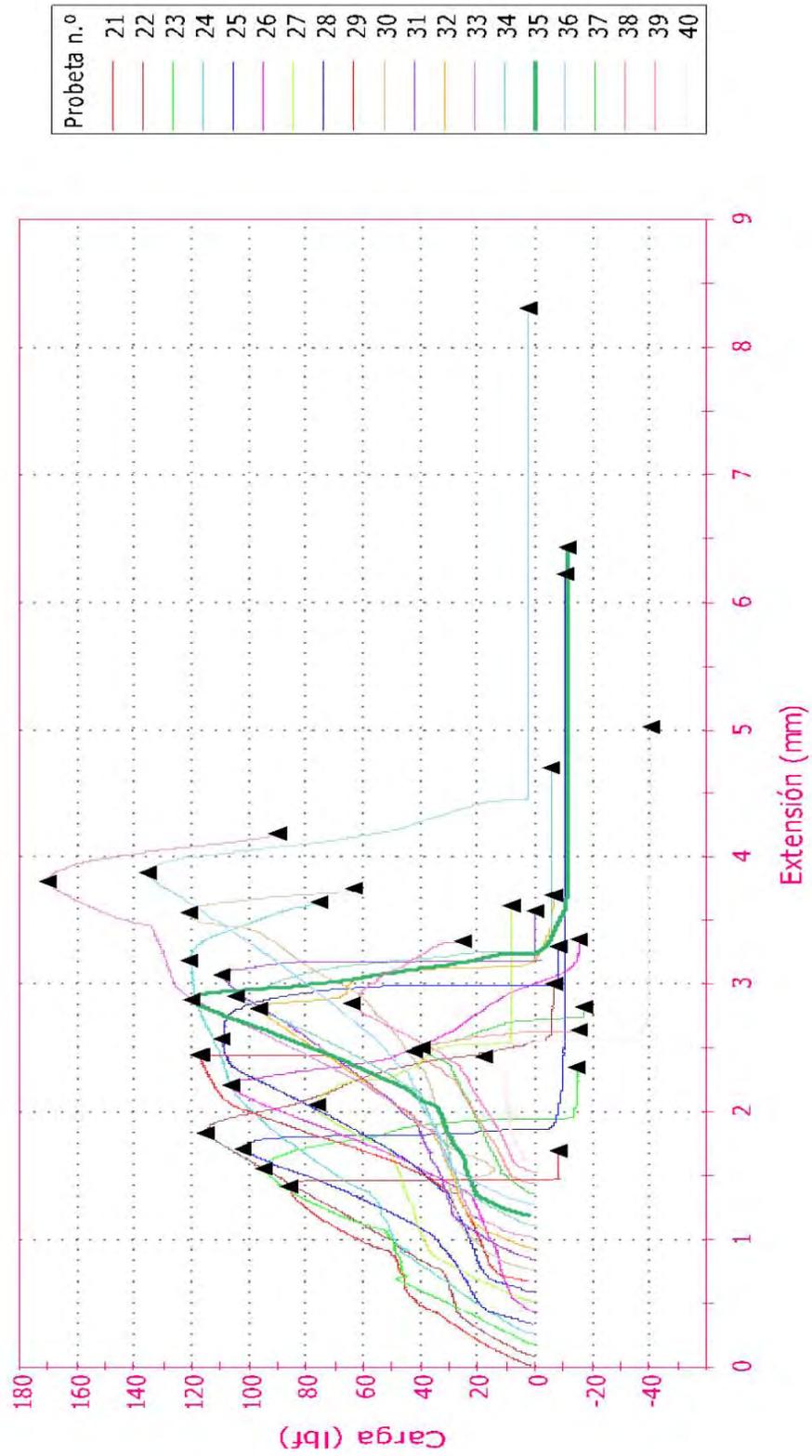


Figura 5.6.4. Gráfica arrojada por la máquina de tensión (carga registrada en lb, a lo largo de la distancia recorrida en mm por la celda de carga).

6. Resultados

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos de esfuerzo de tensión al corte máximo para cada configuración de condiciones de curado. También se registra el modo de falla de cada probeta.

Tabla 6. Resultados experimentales

Experimento	Repetición	T (°C)	% Hr	Área (in2)	m adhesivo (g)	Modo de falla	Carga máxima (lbf)
A	1	5	50	0.4906	0.624	Adhesión a cristal	102.02
	2	5	50	0.3975	0.641	Adhesión a cristal	106.39
	3	5	50	0.4353	0.564	Adhesión a cristal	76.47
C	1	25	50	0.4827	0.241	Adhesión a cristal	39.52
	2	25	50	0.5006	0.161	Adhesión a cristal	42.33
	3	25	50	0.5259	0.206	Adhesión a cristal	63.9
D	1	35	50	0.5082	0.270	Adhesión a cristal	104.37
	2	35	50	0.4327	2.191	Adhesión a cristal	120.01
	3	35	50	0.4480	0.236	Adhesión a cristal	135.13
E	1	25	30	0.5424	0.225	Adhesión a cristal	53.44
	2	25	30	0.5282	0.152	Adhesión a cristal	100.01
	3	25	30	0.5532	0.209	Adhesión a cristal	112.93
F	1	25	40	0.7425	0.690	Adhesión a cristal	66.3
	2	25	40	0.4831	0.214	Adhesión a cristal	84.64
	3	25	40	0.6172	0.353	Sustrato cristal	85.81
G	1	25	50	0.5268	0.289	Cohesión	96.9
	2	25	50	0.4724	0.166	Adhesión a cristal	96.04
	3	25	50	0.4824	0.139	Adhesión a cristal	136.12
H	1	25	60	0.5015	0.472	Adhesión a cristal	80.02
	2	25	60	0.5429	0.000	Adhesión a cristal	84.91
	3	25	60	0.4739	0.174	Adhesión a cristal	85.74
I	1	5	50	0.4177	0.097	Sustrato cristal	109.58
	2	5	50	0.4078	0.131	Sustrato cristal	117.52
	3	5	50	0.4257	0.156	Adhesión a cristal	120.41
K	1	25	50	0.4966	0.134	Adhesión a cristal	17.91
	2	25	50	0.5510	0.181	Adhesión a cristal	63.54
	3	25	50	0.4810	0.142	Adhesión a cristal	83.2

Tabla 6. Resultados experimentales (continuación)

Experimento	Repetición	T (°C)	% Hr	Área (in ²)	M adhesivo (g)	Modo de falla	Carga máxima (lbf)
L	1	35	50	0.4305	0.191	Sustrato cristal	109.26
	2	35	50	0.4596	0.210	Adhesión a cristal	96.45
	3	35	50	0.4399	0.225	Cohesión	170.4
M	1	25	30	0.5708	0.354	Adhesión a cristal	61.31
	2	25	30	0.5067	0.169	Adhesión a cristal	72.05
	3	25	30	0.4531	0.105	Adhesión a cristal	63.73
N	1	25	40	0.5371	0.349	Adhesión a cristal	114.81
	2	25	40	0.5342	0.281	Adhesión a cristal	94.48
	3	25	40	0.6258	0.449	Adhesión a cristal	121.14
O	1	25	50	0.5607	0.164	Sustrato cristal	115.55
	2	25	50	0.5527	0.211	Adhesión a cristal	75.22
	3	25	50	0.5733	0.229	Adhesión a cristal	148.61
P	1	25	60	0.5238	0.178	Adhesión a cristal	65.59
	2	25	60	0.5700	0.189	Adhesión a cristal	61.69
	3	25	60	0.5163	0.186	Adhesión a cristal	137.43

Se observa que las corridas con Adhesivo B sin uso de primer (I-P) presentaron más fallas del sustrato cristal, lo que significa que el ensamble fue lo suficientemente fuerte como para que primero se fracturara el sustrato, antes que el área de adhesión.

Con los datos experimentales de la *Tabla 6* se construyeron gráficas de variación del esfuerzo máximo presentado por el ensamble.

Estos datos se compararon contra área de ensamble, masa de adhesivo aplicado, humedad relativa del medio (%Hr) y temperatura de curado.

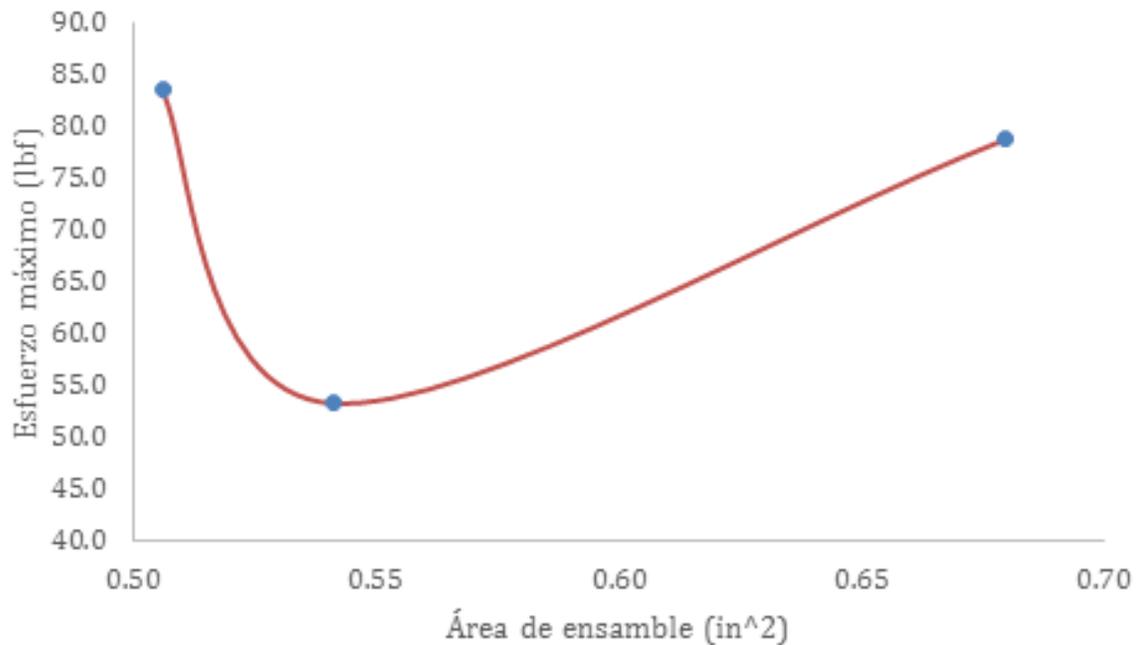


Figura 6.1.A. Esfuerzo máximo de adhesivo A c/primer en función del área de ensamble.

La Figura 6.1.A presenta los resultados del esfuerzo máximo registrado en función del área de ensamble de cada probeta.

Se asume un error experimental en valores menores a 0.55 in² en la gráfica, ya que el comportamiento esperado es que el esfuerzo máximo aumente conforme el área de ensamble sea mayor. Se observó ese comportamiento que sigue la gráfica a partir del valor de 0.55 in².

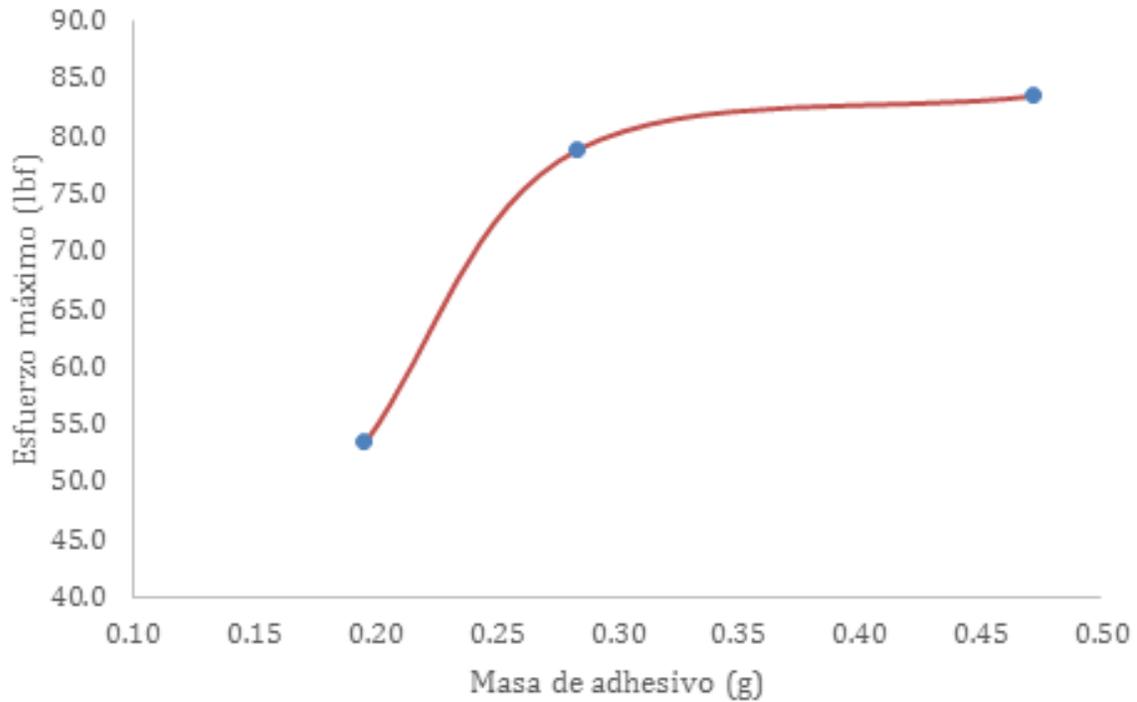


Figura 6.2.A. Esfuerzo máximo de adhesivo A c/primer en función de la masa de adhesivo aplicado.

Se observa en la Figura 6.2.A un incremento del esfuerzo máximo respecto a la cantidad de adhesivo dispensado al principio de la gráfica.

Se observa que a partir de los 0.6 g/in^2 en adelante, puede considerarse como desperdicio el exceso de adhesivo aplicado ya que no hay cambio considerable en el esfuerzo máximo registrado. El valor anterior se deduce considerando un promedio de área de traslape de 0.5 in^2 por probeta y que a partir de los 0.3 g, de acuerdo a la gráfica se asume un comportamiento constante, $\frac{0.3 \text{ g}}{0.5 \text{ in}^2} = 0.6 \frac{\text{g}}{\text{in}^2}$).

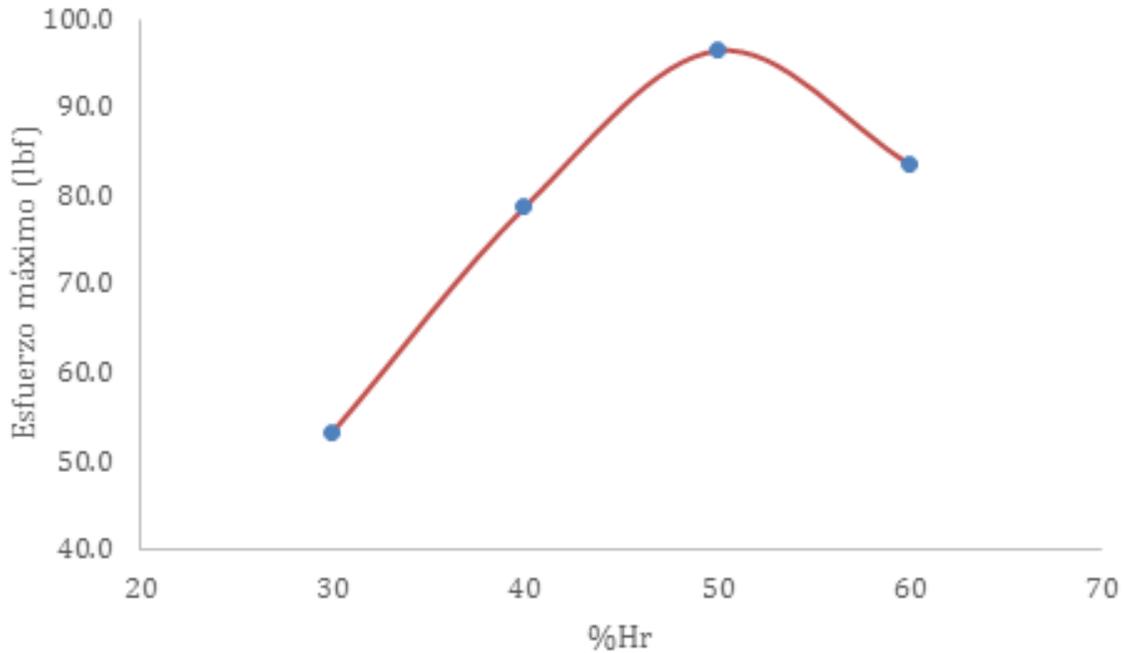


Figura 6.3.A. Esfuerzo máximo de adhesivo A c/primer en función del %Hr del ambiente durante el curado.

Se observa en la Figura 6.3.A que existe un valor de humedad del ambiente de curado en el que se alcanza el máximo esfuerzo y es alrededor de los 50% de Hr.

Antes y después de este punto, el esfuerzo máximo registrado presenta una tendencia a disminuir.

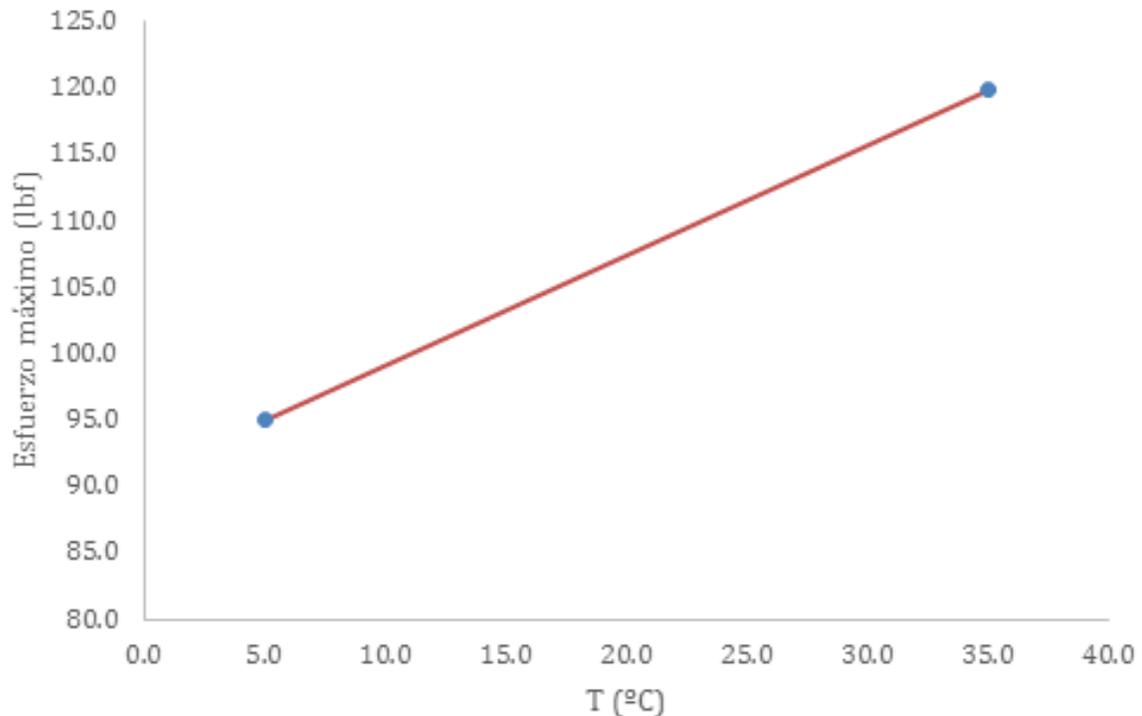


Figura 6.4.A. Esfuerzo máximo de adhesivo A c/primer en función de la temperatura ambiente durante el curado.

Se observa en la Figura 6.4.A el comportamiento del esfuerzo máximo de rompimiento en función de la temperatura. El comportamiento del esfuerzo máximo es directamente proporcional a la temperatura de curado y se puede observar de las gráficas analizadas hasta el momento, que la variación con la temperatura de curado es la que ha presentado mayores cargas de resistencia antes de la falla del rompimiento del ensamble. La máxima carga registrada hasta este punto es de 120 lbf y sucedió cuando el curado se realizó a la máxima temperatura registrada en el diseño de experimento, que es de 35°C.

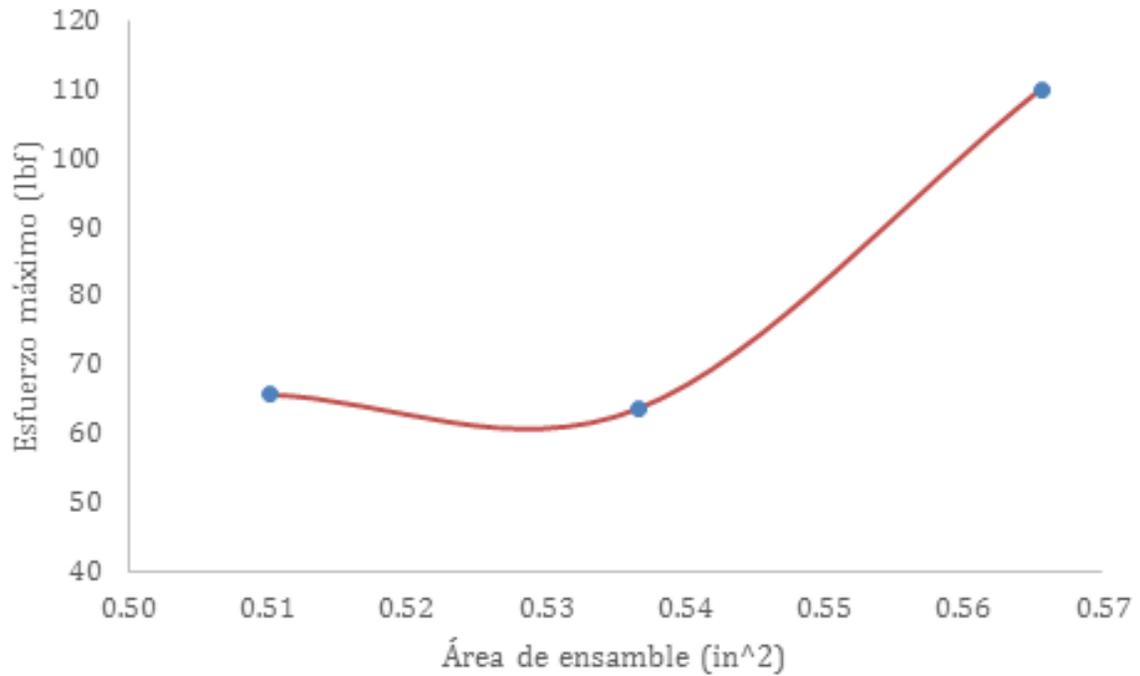


Figura 6.1.B. Esfuerzo máximo de adhesivo B en función del área de ensamble.

Se presenta en la Figura 6.1.B el comportamiento del esfuerzo máximo en función del área para un ensamble en el que no se aplica ningún tipo de *primer*. Se observa un comportamiento similar al de la Figura 6.1.A, a diferencia que en este caso de aplicación se registran valores de resistencia máxima de rompimiento alrededor de 30 lbf mayores

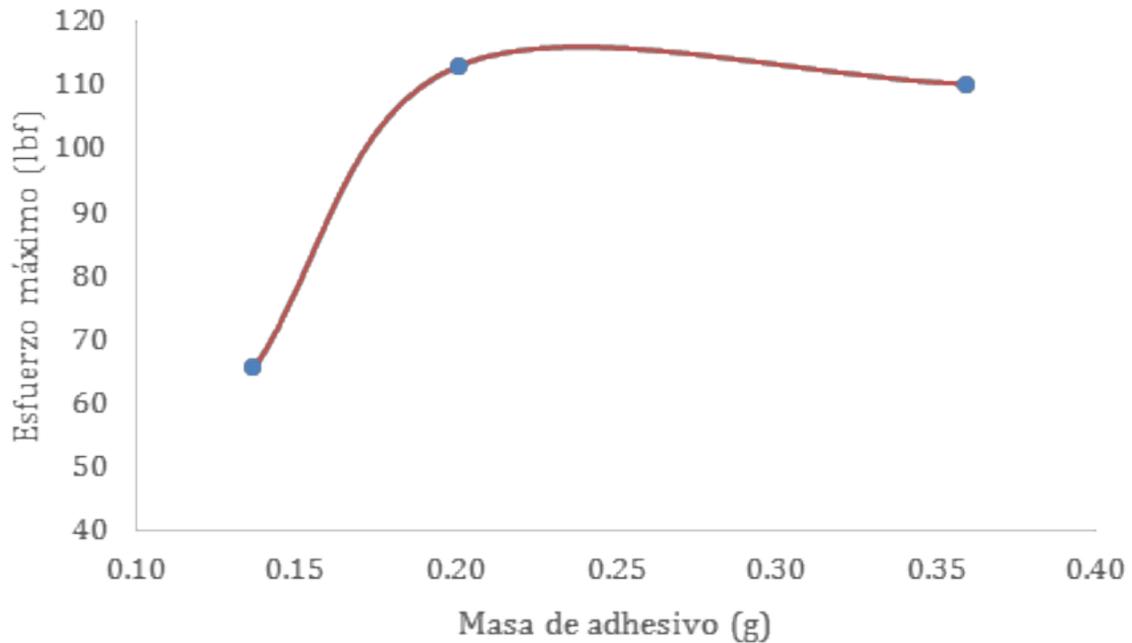


Figura 6.2.B. Esfuerzo máximo de adhesivo B en función de la masa de adhesivo aplicado.

Se observa en la Figura 6.2.B el comportamiento del esfuerzo máximo en función de la cantidad de adhesivo empleado durante la aplicación para un ensamble en donde no se usó ningún primer. Se observa un comportamiento similar al de la Figura 6.2.A en donde después de alcanzar cierto esfuerzo éste se mantiene relativamente constante sin importar cuanto más adhesivo se aplique por lo que se llega a la misma conclusión que, para los sustratos empleados, después de los 0.4g/in^2 de adhesivo, se considera un desperdicio el exceso que se aplique.

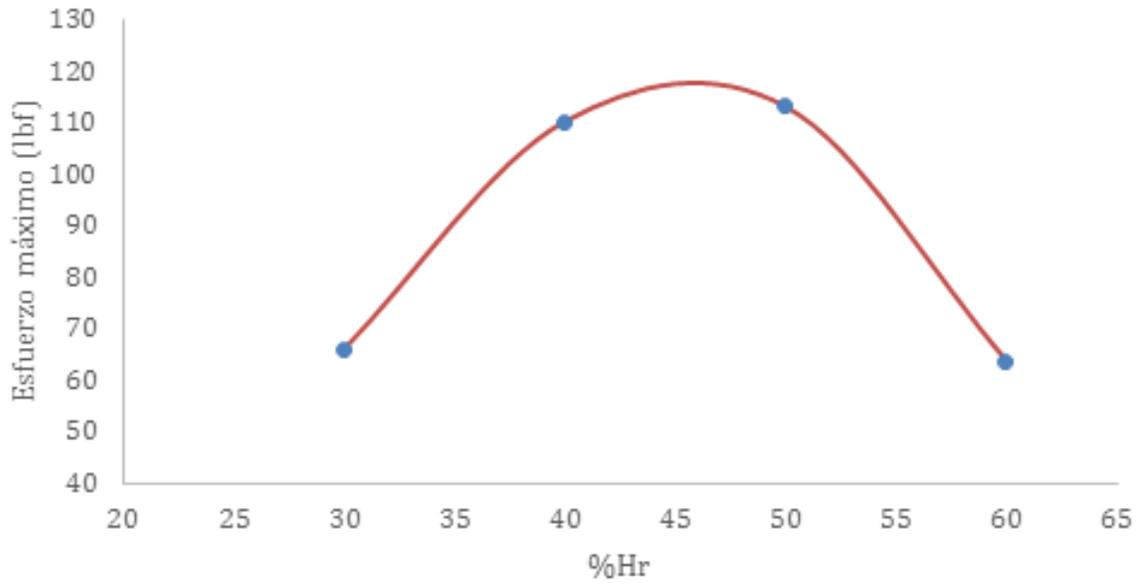


Figura 6.3.B. Esfuerzo máximo de adhesivo B en función del %Hr del ambiente durante el curado.

Se observa en la Figura 6.3.B un comportamiento similar para el esfuerzo máximo respecto a la humedad de curado. Hay registro de un valor de humedad de curado en donde se obtiene la mayor resistencia al esfuerzo cortante. Para este caso, en donde no se aplicó ningún primer, el valor óptimo de humedad del ambiente para aplicar el adhesivo base PU es de 45 – 50 %Hr.

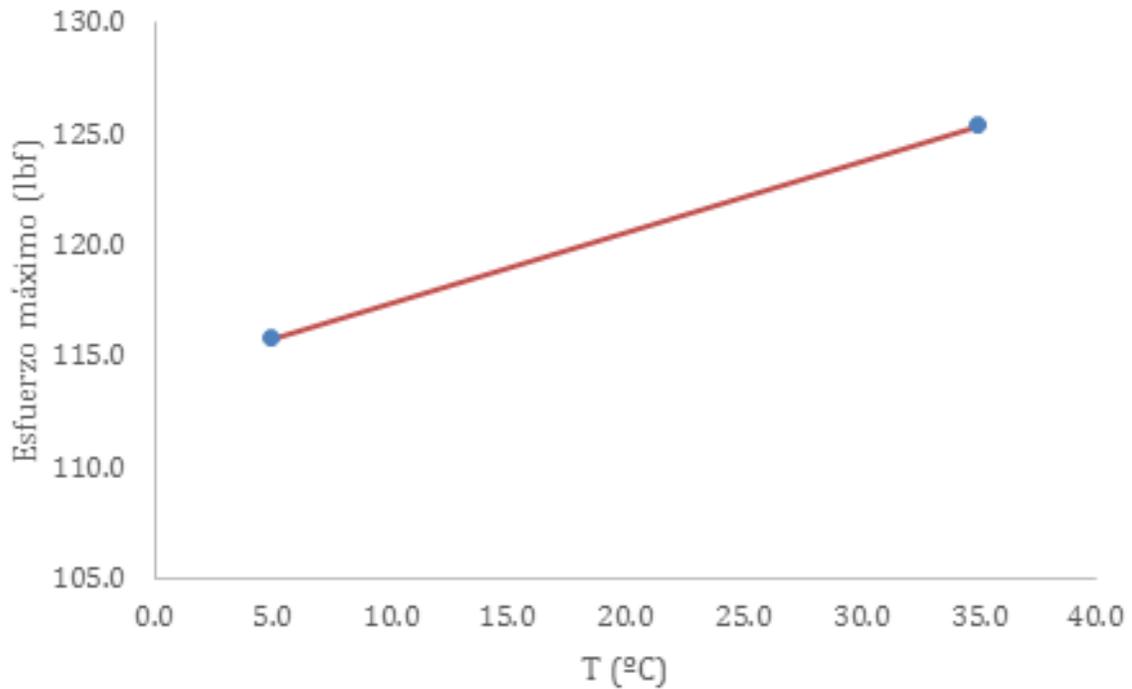


Figura 6.4.B. Esfuerzo máximo de adhesivo B en función de la temperatura ambiente durante el curado.

Se observa en la Figura 6.4.B se el comportamiento del esfuerzo máximo respecto a la temperatura de curado en donde el esfuerzo es directamente proporcional a la temperatura, alcanzando un valor de resistencia máximo registrado para este experimento de 125 lbf, a una temperatura de curado de 35°C.

7. Conclusiones

Se aprecia un comportamiento similar de las variables analizadas (cantidad de adhesivo, área de ensamble, %Hr y temperatura) por parte de cada par (Adhesivo A c/primer y Adhesivo B) respecto a la tensión máxima que presentaron los ensambles.

Del área de ensamble

Excepto por el inicio de la gráfica de la Figura 6.1.A, donde se asume un error experimental al comienzo de la curva, se observa un aumento del esfuerzo al corte máximo conforme aumenta el área del ensamble para el adhesivo A con *primer*. Este comportamiento e hipótesis se pueden corroborar en la Figura 6.1.B en la que se muestra el mismo comportamiento para el caso de adhesivo B sin *primer*. El esfuerzo máximo en este caso aumenta conforme aumenta el área de ensamble. Esto es lógico ya que mientras más área posea un ensamble, mayor resistencia brindará el mismo. Conforme disminuye el área, el ensamble se torna cada vez más débil hasta el punto en el que el uso de un adhesivo ya no es conveniente y se deben recurrir a otras técnicas, como por ejemplo soldadura.

De la cantidad de adhesivo aplicado

Se observa que tanto para el adhesivo A con *primer* como para el adhesivo B (Figuras 6.2.A y 6.2.B, respectivamente) la resistencia máxima de esfuerzo al corte aumenta hasta cierta cantidad de adhesivo aplicado. Para cantidades mayores de adhesivo se muestra una tendencia constante de resistencia lo que resulta indistinto en cuestiones de desempeño, y un desperdicio en cuestiones económicas.

Si para la elección de un adhesivo PU sólo nos basáramos en la resistencia máxima al corte, podría pensarse que en el ensamble de parabrisas se usa adhesivo en exceso, lo cual no necesariamente es cierto. Este tipo de ensamble requiere que la unión cristal-metal se encuentre amortiguada para evitar fracturas por con vibraciones o impactos en el cristal. Por lo tanto, en una aplicación a escala real debe de corroborarse que el grosor del adhesivo en la unión sea el adecuado.

De la humedad en el ambiente

Los comportamientos presentados por las gráficas de las Figuras 6.3.A y 6.3.B (adhesivo A *c/primer* y adhesivo B, respectivamente) muestran que la resistencia máxima al corte se presenta al 46 % para el adhesivo B y 50% para el adhesivo A. Antes y después de estos puntos la resistencia al corte es inferior. Cabe resaltar que la humedad relativa de 50% del ambiente de curado fue la variable con segunda mayor influencia en el desempeño de resistencia, obteniendo los valores más altos del experimento antes tomar en cuenta la influencia de la temperatura.

De la temperatura de curado

Se deduce que la temperatura ambiente durante el curado de ambos adhesivos es la variable con mayor influencia en la resistencia al corte de los ensambles sometidos a prueba, dado que los mayores valores de resistencia, de todas las corridas, fueron alcanzados cuando la temperatura de curado fue de 35 C.

Como conclusión global de ambos adhesivos, cabe resaltar que, para los sustratos empleados en este proyecto, el uso de un adhesivo sin primer presentó un mejor desempeño en la resistencia al esfuerzo máximo. Aquí se ejemplifica la necesidad de la ejecución de pruebas previas a la recomendación de un adhesivo para uso a escala industrial, ya que vemos que no siempre es necesario el uso de un primer o bien podría significar un ahorro de tiempo y económico para el cliente. No hay que olvidar que, si la aplicación requiere del pretratamiento con primer de la superficie por cuestiones de protección al poliuretano de la radiación UV, queda descartada la opción de no usar primer.

El equipo de medición empleado en las pruebas presentadas en este trabajo se encontraba bajo un programa de calibración al momento de su uso, en requisito a la acreditación ISO 17025. Las pruebas realizadas en este trabajo se ejecutaron entre los meses de febrero y abril del 2016. Las fechas de vigencia de calibración, equipos y modelos se encuentran reportados en el Anexo 4.

Anexo 1. Ficha Técnica (TDS) del adhesivo “A” empleado,

Teroson

Folha de Dados Técnicos

Terostat 9097 PL HMLC

Cura com a umidade, Monocomponente
Colagem de vidro (DGX) / Selante para reparos
Produto de alto módulo e baixa condutividade
Livre de PVC e solventes

Base: Poliuretano

Descrição do Produto

O Terostat 9097 PL HMLC é um adesivo / selante para vidros (DGX), monocomponente, a base de poliuretano que polimeriza (cura) formando uma borracha elástica quando exposto à umidade atmosférica. O tempo de formação de película e o tempo de cura dependem da umidade do ar e da temperatura; além disso, o tempo de cura depende da espessura do adesivo. Um aumento na temperatura e na umidade do atmosférica pode acelerar a formação de película e a cura, por outro lado, baixa umidade atmosférica e baixas temperaturas retardam a reação.

O vedante DGX é adequado para as seguintes condições:

- Excelente adesão sem primer em vidro, vidro com revestimento cerâmico e superfícies pintadas.
- Alta elasticidade e alto módulo.
- Condutividade elétrica muito baixa.
- Boa adesão ao primer.
- Boa adesão em materiais remanescente e pré-aplicados.
- Alta velocidade de cura.
- Alta resistência ao UV sem primer.
- Alta resistência à tração, mesmo após envelhecimento.

Áreas de Aplicação

Adesão do pára-brisa, vidros laterais e traseiros na estrutura de veículos automotores (carros, caminhões, ônibus, cabines de tratores, empilhadeiras e veículos especiais). Adesão de vidros laterais feitos com painel de vidro único ou vidro isolante utilizados na fabricação de ônibus ou trens.

Além disso, o Terostat 9097 PL HMLC é adequado para todas as aplicações que requerem do adesivo para montagem do pára-brisas alto isolamento elétrico (por exemplo um adesivo compatível com antenas).

Dados Técnicos

Cor:	Preto
Odor:	Fraco
Consistência:	Macio, pasta sem escorrimento
Densidade:	Aprox. 1,3 g/cm ³
Sólidos:	100%
Mecanismo de cura:	Cura com a umidade
Velocidade de cura:	Aprox. 3 – 4 mm / 24h
(DIN 50014 – Condições de cura:	23 °C, umidade relativa 50%)
Dureza - Shore A (DIN 53505):	Aprox. 66
Resistência à tração (DIN 53504):	Aprox. 8,0 MPa
Stress a 100% de alongamento:	Aprox. 3,5 MPa
(DIN 53504):	

Módulo de cisalhamento: (DIN 54451)	Aprox. 2,7 MPa
Alongamento na ruptura: (DIN 53504)	Aprox. 280%
Resistência ao cisalhamento: Espessura 5 mm, conf. DIN EN1465):	Aprox 1,8 Mpa (após 24h – DIN 50014) 5 – 6 MPa (totalmente curado)
Variação de volume (DIN 52451):	<1%
Tempo de aplicação:	Máximo 20 minutos* (clima padrão)
Temperatura de Aplicação:	10°C a 35°C
Temperatura de trabalho:	-40°C a 90°C
Curta exposição (até 1h):	120°C

* Período de tempo entre o início da aplicação do material até montagem no painel.

Considerações Preliminares:

Antes da aplicação é necessário ler a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) para obter informações sobre medidas de precaução e recomendações de segurança. Mesmo para produtos químicos isentos de rótulo de risco, as precauções relevantes devem sempre ser observadas.

1. Tratamento da superfície

As superfícies a serem coladas devem estar secas, isentas de óleo, graxa e outros contaminantes. Vidros com ou sem revestimento cerâmico, bem como superfícies pintadas devem ser limpas com Cleaner FL ou Teroson Cleaning Cloth. Para obter uma adesão ideal é recomendado lixar a área do vidro a ser aderida para se obter uma superfície limpa. Limpe as superfícies a serem aderidas com Cleaner FL ou Teroson Cleaning Cloth após a abrasão. A camada residual do filete não deve ser removida ou limpa. Se a limpeza deste resíduo de filete não puder ser evitada, um **tempo de secagem de no mínimo 30 minutos** deve ser aguardado antes do produto ser aplicado, pois a área deve estar totalmente seca.

2. Processo

A melhor temperatura de aplicação é entre 18°C e 25°C. O Terostat 9097 PL HMLC deve ser aplicado direto do cartucho usando equipamentos padrão como pistolas pneumáticas ou pistolas de bateria. Da linha de equipamentos Teroson, as seguintes pistolas podem ser utilizadas:

Air Pressed Pistol Powerline II	IDH 960304
Battery operated Pistol Electraflow	IDH 1047326

Nas instruções inclusas no kit de reparo de vidros Teroson contém uma descrição detalhada da operação de reparo.

Certificado

O Terostat 9097 PL HMLC é testado pelo TUV alemão. O respectivo certificado do teste do TUV-Rheinland está disponível.

Tempo para dirigir

Após a instalação do vidro (de acordo com a norma americana FMVSS 208)

Com / Sem airbag	1 hora
------------------	--------

Armazenamento

Temperatura recomendada:	15°C a 25°C
Vida útil:	12 meses na embalagem original (cartucho)

Embalagens

Cartucho:
Kit de reparo:

310ml – IDH: 1231001
Kit – IDH: 1231312

Informações de perigo/ Recomendações de segurança/ Regulamentação de transporte

Ver FISPQ (MSDS)

Importante

Os dados acima, principalmente as recomendações para aplicações e uso dos nossos produtos são baseados em nosso conhecimento e experiência. Devido aos diferentes materiais e condições de aplicação que estão além de nosso conhecimento e controle, recomendamos fortemente a realização de testes suficientes a fim de garantir que nossos produtos são adequados para o processo e aplicação pretendidos. Exceto por atos premeditados qualquer responsabilidade baseada nestas recomendações ou qualquer informação oral fica por esta expressamente excluída.

NÃO SERVE PARA ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO
OS DADOS TÉCNICOS CONTIDOS NA PRESENTE DESTINAM-SE A SIMPLES REFERÊNCIA
PEDIMOS CONTACTAR O DEPARTAMENTO DE SUPORTE TÉCNICO DA HENKEL PARA ASSISTÊNCIA E
RECOMENDAÇÕES A RESPEITO DE ESPECIFICAÇÕES DESTES PRODUTOS

Anexo 2. Ficha Técnica (TDS) del adhesivo “B” empleado,

TEROSON

Technical Data Sheet

TEROSON PU 9092 PL

Known as TEROSTAT 9092 PL

April 2014

TEROSON PU 9092 PL is one part high modulus and high viscosity modified polyurethane sealant. It is quick setting and air moisture curing sealant.

ADVANTAGE

- No primer process with most of substrates.
- Highly thixotropic
- Bonds excellently to a variety of substrates

AREA FOR APPLICATION

TEROSON PU 9092 PL is highly recommended for directly glazing of automobile glass replacement (AGR). It provides an excellent adhesion on materials like glass, ceramic, painted or naked metal(Aluminum, steel ,Etc.),and cut PU rubber etc.

TECHNICAL DATA

Colour: Black

Appearance: Thixotropic paste / High viscosity

Density at 20°C: Ca1.2 g/ml

Application temperature: 5 to 35 °C

Curing speed: 4mm/24hours

Shore A Hardness: ≥55 (ISO868 – 3 seconds)

Tensile strength (DIN 53504): 5.0±0.5 Mpa (After 7days)

Shearing resistance(FORD DELTA): 2.5 ±0.5 Mpa (After 7days)

Tearing resistance (DIN53515): >11N/mm

Elongation at break (DIN 53504): >300%

Resistance to solvents and hydrocarbons Moderate

Acid and base resistance: Good

Water and salt spray resistance: Excellent

UV resistance: Good

INSTRUCTIONS

Substrate preparation The substrates to be assembled must be dry, clean, free of oil and other contaminants that could adversely affect the bonding performance, use a cleaner or primer if necessary .

Installation

Apply the TEROSON PU 9092 PL with a hand or pneumatic gun to one substrates(mostly to the body of the car or bus), and then put the windshield on it and press it before it skinned. Do not apply it at temperatures under 5°C. In cold weather, store the sausages at 20°C before use.

Cleaning

Tools should be cleaned with MEK or acetone before curing. After curing, mechanical cleaning is necessary.

STORAGE AND SHELF LIFE

9 months in the original cartridges and sausages, and 6 months in the drum.

Hermetically store the products between 5 and 25°C

PACKAGING

310 ml cartridges and 400ml,600 ml sausages.

SAFETY

Not classified as hazardous.

Read the material safety data sheet before use.

The expiry date of the product is given on the packaging labels.

The information provided herein, especially recommendations for the usage and the application of our products, is based upon our knowledge and experience. Due to different materials used as well as to varying working conditions beyond our control, we strictly recommend to carry out intensive trials to test the suitability of our products with regard to the required processes and applications. We do not accept any liability with regard to the above information or with regard to any verbal recommendation, except for cases we are liable of gross negligence or false intention.

ADDITIONAL INFORMATION

Disclaimer

Note:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as differing application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product. Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

Specific working parameters will be defined case by case by our Technical Customer Service according to different line operating conditions, different materials.

Reference 0.1

Anexo 3. Ficha Técnica (TDS) del primer empleado,

TEROSON

Technical Data Sheet

TEROSON PU 8519P

April 2015

All-in One Primer

PRODUCT DESCRIPTION

Technology	Polyurethane
Product Type	Masking Aid on Glass and Ceramic coated Glass

TEROSON PU 8519P is a thin liquid, solvent containing masking aid based on polyurethane. The product is notable for its excellent covering properties and its good UV-stability. It is free from chlorinated hydrocarbons and aromatic solvents.

APPLICATION AREAS

TEROSON PU 8519P is used e.g. for masking bus bars for heated windshields made of laminated glass. The primer/ activator is also suitable for promoting the adhesion of other PUR adhesives/sealants to glass, glass ceramic, various plastics and metals (trials must be carried out prior to use). TEROSON PU 8519P can also be used as activator for PUR-coated glasses and for remaining beads. TEROSON PU 8519P is also suitable as corrosion protection for small flange damages.

TECHNICAL DATA (Typical Test Results)

Colour	black
Odour	smells of solvent
Consistency	thin liquid
Density	0.98 g/cm ³
Solids	35 %
Drying time (1C adhesive)	approx. 2 min.
Drying time (2C adhesive)	approx. 15 min.
Primer activity on pre-coatings and remaining beads	up to 60 min. after application.
Open time	max.8 hr(s)
In service temperature range short exposure (up to 3 h)	-40 to 90 °C 120 °C

PRELIMINARY STATEMENT

Prior to application it is necessary to read the **Safety Data Sheet** for information about precautionary measures and safety recommendations. Also, for chemical products exempt from compulsory labeling, the relevant precautions should always be observed.

Surface Pretreatment

The surfaces to be coated must be dry, free of oil, dust, grease and other components or residues which would adversely affect adhesion. The surface must be cleaned and pretreated with TEROSON VR 10 / TEROSON VR 20. Technical Data Sheet of recommended cleaner has to be observed.

Preparation

Prior to use, shake the aluminum bottle vigorously by hand for at least 1 minute. A steel ball is provided in the bottle to assist mixing. This should move freely after three to four shakes.

Application

TEROSON PU 8519P may be applied thinly and evenly with felt applicator, sponge, brush or by spray. Ensure the wet film should be 0.025 mm. Let the primed surface evaporate for approx. 2 minutes before the direct glazing sealant is applied. A second application on the same point should be avoided, as partially-dried primer will be softened again which can adversely affect appearance. The optimal application temperature is between 0 to 30 °C. In exceptional cases the application can be done at higher temperatures. A higher reaction speed will be noticed.

Important

Our experience leads us to make the following recommendations:

- primer bottles must be closed tightly immediately after use
- a primer which has obviously thickened is tainted and should no longer be used for processing
- primer bottles, once opened and closed, should be used within two weeks.

STORAGE

Frost sensitive	no
Recommended storage temperature	5 to 25 °C
Shelf life	up to 18 months depending on packaging

Disclaimer

Note:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as offering application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS and Henkel France SA please additionally note the following:

In case Henkel would be nevertheless held liable, on whatever legal ground, Henkel's liability will in no event exceed the amount of the concerned delivery.

In case products are delivered by Henkel Colombiana, S.A.S. the following disclaimer is applicable:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Corporation, Resin Technology Group, Inc., or Henkel Canada Corporation, the following disclaimer is applicable:

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, **Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits.** The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Trademark usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Henkel AG & Co. KGaA

D-40191 Düsseldorf, Germany

Phone: +49-211-797-0

www.henkel.com

Henkel Central Eastern Europe GmbH

A-1030 Wien, Austria

Phone: +43-1711-040

www.henkel.com

Henkel & Cie AG

CH-4133 Pratteln, Switzerland

Phone: +41-61-825-7000

www.henkel.com

Anexo 4. Control de calibración en equipos utilizados durante este proyecto.

ID/TAG	Marca	Descripción	Última fecha de calibración	Próxima fecha de calibración
FUE-011	Instron	Máquina de tensión y compresión	07/10/15	07/10/16
DIM-003	Mitutoyo	Vernier digital	17/07/14	17/07/16
CAMCT-01	Envirotronics	Cámara de ciclos	17/03/16	17/03/17
HTEM-016	Binder	Horno	11/12/15	11/06/16
MAS-002	OHAUS	Balanza analítica semidigital	22/05/16	22/06/16
TEM-006	Dickson	Psicrómetro	09/06/15	09/06/16