

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UNIONES ADHESIVAS CAUCHO-METAL

FABIAN ESTEBAN GÓMEZ GÓMEZ
SANTIAGO ESCOBAR TRUJILLO

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PRODUCCIÓN
MEDELLÍN
2011

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UNIONES ADHESIVAS CAUCHO-METAL

FABIAN ESTEBAN GÓMEZ GÓMEZ
SANTIAGO ESCOBAR TRUJILLO

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero de producción

Asesor del proyecto:
Nataly Andrea Deossa Pineda
Ingeniera de materiales, MSc en ingeniería

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PRODUCCIÓN
MEDELLÍN
2011

Nota de Aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Medellín, Abril 29 de 2011

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar se le agradece a la asesora del proyecto Nataly Andrea Deossa Pineda, Ingeniera de Materiales, MSc en ingeniería, e investigadora del grupo de investigación de materiales de ingeniería de la Universidad EAFIT, quien siempre estuvo dispuesta a brindar acompañamiento en el desarrollo de todas las fases del proyecto. Se agradece también al profesor Luis Alberto García, por su interés en la consecución de los objetivos planteados y su gestión activa dentro del proyecto. Continuando, se reconoce la disposición de ayuda de los empleados de los laboratorios de ingeniería de la Universidad EAFIT.

Gracias también a las familias Gómez Gómez y Escobar Trujillo por su apoyo y ánimo constante durante todo este período. El reconocimiento también se le da a aquellos amigos o personas que contribuyeron de una u otra forma a la realización del proyecto.

Por último pero no menos importante, gracias a la Universidad EAFIT por brindar las instalaciones y los equipos propicios para que este proyecto fuera terminado con éxito.

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo principal la caracterización de uniones adhesivas caucho-metal realizando tratamientos superficiales a los sustratos. Los tratamientos utilizados fueron de tipo mecánico (granallado) y químico (Primer) y tienen como finalidad modificar superficialmente uno de los sustratos para establecer si la resistencia de la unión adhesiva se modifica. Para ello, se fabrican probetas tipo sándwich de caucho y metal y se ensayan a tracción de acuerdo a la norma ISO 1827.

Los resultados obtenidos son graficados y analizados. Posteriormente las superficies falladas fueron observadas mediante microscopía electrónica de barrido y se realizó un análisis de las micrografías.

PALABRAS CLAVES:

Caucho, Metal, Adhesión, Tratamiento superficial, Probetas, Interfase, Ensayos, Vulcanizado.

GLOSARIO

ADHESIÓN: la adhesión es la propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares.

CAMPANA EXTRACTORA: es un aparato electrodoméstico de línea blanca creada por Faber en 1963, que tiene un ventilador (extractor) que cuelga dentro de la campana, donde la antes mencionada está encima de la estufa, y se utiliza para eliminar la grasa en suspensión en el aire, los productos de combustión, el humo, los olores, el calor, y el vapor del aire mediante una combinación de filtrado y la evacuación del aire.

GRANALLADO: el granallado es una técnica de tratamiento de limpieza superficial por impacto con el cual se puede lograr un acabado superficial y simultáneamente una correcta terminación superficial. Consiste en la proyección de partículas abrasivas (granalla) a gran velocidad (65 - 110 m/s) que, al impactar con la pieza tratada, produce la eliminación de los contaminantes de la superficie.

POLIMERIZACIÓN: es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

PRIMER: agente imprimante que debe usarse debajo de adhesivos de capa de recubrimiento para unir diversos compuestos de caucho vulcanizado y sin vulcanizar a metales y otros sustratos rígidos.

VULCANIZADO: es un proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al frío.

XIOL ($C_6H_4(CH_3)_2$): químico que se obtiene a partir del Benceno. Según la posición relativa de los grupos metilo en el anillo bencénico, se diferencia entre orto-, meta-, o para- xileno. Se trata de líquidos incoloros e inflamables con un característico olor parecido al tolueno y son buenos disolventes. Además forman parte de muchas formulaciones de combustibles de gasolina donde destacan por su elevado índice octano.

INDICE

INTRODUCCION	15
1. OBJETIVOS	16
1.1. Objetivo general	16
1.2. Objetivos específicos.....	16
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
3. MARCO TEÓRICO	19
3.1. Aspectos generales	19
3.2. Diseño de uniones	21
3.3. Uniones adhesivas	21
3.4. Normas técnicas	24
4. ETAPA EXPERIMENTAL	25
4.1. Materias primas	25
4.1.1. Materias primas de tipo polimérico.....	25
4.1.2. Materias primas de tipo metálico.....	25
4.1.3. Adhesivos	26
4.2. Herramientas	26
4.3. Equipos	30
4.4. Proceso de fabricación de probetas	33
4.5. Procedimientos de ensayo (ISO 1827)	41
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
5.1. Rugosidad	43
5.2. Adhesión	43
5.2.1. Comparación de resistencia	47

5.3. Relación de rugosidad y Resistencia a la adhesión.....	48
5.4. Análisis de las superficies de falla.....	49
5.4.1. Observación y análisis de superficies de falla.....	51
5.5. Posibles causas de error	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipo de seguridad.	26
Tabla 2. Herramientas de manipulación de materiales.....	28
Tabla 3. Herramientas complementarias.	28
Tabla 4. Equipos usados en la etapa de preparación de materiales.....	30
Tabla 5. Equipos usados en la etapa de fabricación de probetas.....	32
Tabla 6. Máquinas usadas en la etapa de ensayos.	32
Tabla 7. Clasificación de probetas	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de uniones adhesivas	21
Figura 2. Geometría de las probetas de adhesión (ISO 1827).....	33
Figura 3. Diagrama de fabricación de probetas.	34
Figura 4. Placas redondeadas en el esmeril.	35
Figura 5. Equipo y montaje para medición de rugosidad.ad.....	36
Figura 6. Marcación de placas utilizando pirograbador	36
Figura 7. Limpieza de placas con xilol.	37
Figura 8. Aplicación del primer en placas. Segunda etapa experimental.	37
Figura 9. Aplicación de adhesivo a las placas metálicas.....	38
Figura 10. Proceso de corte de caucho.....	39
Figura 11. Molde para fabricación de probetas.....	39
Figura 12. Proceso de vulcanización de las probetas.....	40
Figura 13. Desmoldeo de la probeta.....	40
Figura 14. Diagrama de flujo ensayo de tracción.	41
Figura 15. Montaje de ensayo de tracción.	42
Figura 16. Resultado de medición de rugosidad. Datos agrupados por tipo de probeta. .	43
Figura 17. Resultados ensayo de adhesión. Datos agrupados por tipo de probeta.	44
Figura18. Adhesión comparada entre probetas tipo 1 y 3.....	46
Figura19. Adhesión comparada entre probetas tipo 2 y 4.....	47
Figura 20. Comparación entre la resistencia del caucho y la adhesión.	48
Figura 21. Relación entre rugosidad y resistencia a loa adhesión.....	48
Figura 22. Tipo de falla presentado en las probetas.	50
Figura 23. Probeta tipo 1. a) superficie de caucho. b) superficie metálica	52
Figura 24. EDX en el caucho de la probeta Tipo I	53
Figura 25. EDX en la superficie metálica	54
Figura 26. Probeta tipo 2. a) superficie de caucho. b) superficie metálica	55
Figura 27. EDX Probeta Tipo 2, placa metálica.	56

Figura 28. Probeta tipo 3. a) superficie de caucho. b) superficie metálica 57

Figura 29. EDX partícula encontrada en Probeta Tipo 3..... 57

Figura 30. Probeta tipo 4. a) superficie de caucho. b) superficie metálica 58

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación para hallar resistencia de la unión adhesiva mediante la Fuerza máxima.	42
---	----

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica primer Chemlok ® 205.....	63
Anexo 2. Ficha técnica adhesivo Chemlok ® 250.....	68

INTRODUCCION

La competitividad de una empresa se ve reflejada en la calidad que presentan sus productos o servicios, por eso en algunos casos es de vital importancia que se hagan inversiones significativas en las áreas de investigación y desarrollo (I+D). Como consecuencia, Colombia viene realizando esfuerzos que permitan fortalecer las cadenas productivas por medio de proyectos de investigación que puedan aportar al mejoramiento de procesos y así direccionar a la industria colombiana a un mercado más global y por ende más competitivo. Apoyando la iniciativa creada en el país, se decidió llevar a cabo la presente investigación que en este caso beneficia principalmente al área automotriz, una de las necesidades encontradas en este sector, se encuentra en piezas que requieren suficiente adhesión entre caucho y metal. Teniendo como base lo anterior, se genera una iniciativa de financiación propia por parte del grupo de investigación de ingeniería de materiales de la Universidad EAFIT que promueve el estudio y caracterización de esta unión adhesiva. Con la realización del proyecto se pretende mediante ensayos normalizados, determinar las propiedades físicas y mecánicas de probetas fabricadas con cauchos que han sido caracterizados durante un estudio previo al presente proyecto.

En el documento presente se referencian conocimientos teóricos concernientes al tema de uniones adhesivas los cuales son la base para la planeación y ejecución del estudio realizado. Posteriormente, se ilustra acerca de la manera en que se realiza la investigación, desde el momento en que se fabrican las probetas hasta la realización de ensayos para identificar el comportamiento que presentan este tipo de uniones. Con los resultados obtenidos se plantea un análisis que permite evidenciar las condiciones en las cuales el comportamiento de la unión adhesiva entre caucho y metal presenta mejorías.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Caracterizar mecánicamente uniones adhesivas de caucho y metal, fabricadas utilizando varios tratamientos superficiales.

1.2. Objetivos específicos

- Fabricar probetas de diferentes uniones adhesivas de caucho y metal utilizando la aplicación de tratamientos superficiales mecánicos y químicos.
- Evaluar la resistencia de las uniones adhesivas fabricadas mediante la realización de ensayos normalizados de cizalladura.
- Analizar mediante microscopía electrónica de barrido las superficies falladas y relacionar estas observaciones con los resultados de los ensayos mecánicos.
- Determinar la influencia que tienen los tratamientos químicos y mecánicos sobre la resistencia de las uniones adhesivas fabricadas y sobre el tipo de falla presentado en cada una de ellas

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) tiene como interés aumentar la competitividad del sector agroindustrial colombiano a partir del mejoramiento de los procesos de investigación y desarrollo tecnológico para las cadenas productivas, en este contexto, se busca reconocer la problemática de los sectores a través del proyecto Transición de la agricultura. La cadena de caucho natural y su industria en Colombia requiere entonces, por un lado ofrecer materias primas que cumplan con la calidad necesaria a precios competitivos, en mercados tanto nacionales como internacionales, y por otro, encontrar mecanismos que permitan la articulación de los diferentes actores para lograr no solo homogeneidad en el material ofertado sino también la integración y consolidación de este sector productivo. La producción existente es aun pequeña comparada con el consumo interno que de esta materia prima se reporta, identificando entonces como problemática del sector, la baja disponibilidad de materia prima derivada del caucho natural para satisfacer las demandas de la industria transformadora. Adicionalmente, la calidad variable del material ofertado, debido al grado de tecnificación de los productores, y al uso de prácticas inadecuadas de recolección del caucho natural, han impedido la obtención de materias primas estandarizadas con calidades certificadas; haciéndose necesaria la importación de grandes cantidades de caucho natural. Aproximadamente Colombia importa 8.200 ton/año de caucho natural (1).

Alguna de las aplicaciones del caucho en la industria colombiana se encuentra en elementos industriales, es el caso de sistemas de amortiguación para vehículos, rodillos para la industria textil, arrocera y elementos anti vibratorios para estructuras y máquinas. En este tipo de elementos se requiere, por lo general, la formación de uniones adhesivas entre el caucho y el metal. La unión adhesiva que se forma entre el elastómero vulcanizado y el otro sustrato presenta problemas de

resistencia mecánica debido a factores como rugosidad, contaminantes, vulcanización defectuosa, etc. Teniendo en cuenta que las uniones adhesivas son uno de los sistemas mecánicos más complejos que pueden estudiarse en la ciencia e ingeniería de materiales puesto que está formada por al menos 5 capas diferentes de materiales: adherente–intercara–adhesivo–intercara–adherente, se hace necesario estudiar a fondo las características y la mecánica de la fractura de estas uniones. El objeto de estudio de este trabajo, radica en la caracterización mecánica de uniones adhesivas caucho-metal, mediante la realización de diferentes tratamientos superficiales a partes metálicas y la ejecución de pruebas de cizalladura para determinar la resistencia de las uniones adhesivas fabricadas.

Con la realización de este trabajo se hace un aporte importante a la industria local, puesto que si se determinan parámetros óptimos para la fabricación de uniones adhesivas, es posible aumentar la vida útil de los componentes, lo que se traduce en optimización de materias primas y calidad de los productos fabricados.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Aspectos generales

El uso de los adhesivos data de épocas antiguas, y el pegado fue probablemente el primero de los métodos de unión permanente. Actualmente, los adhesivos tienen un amplio rango de aplicaciones de unión y sellado para integrar materiales similares y diferentes, como metales, plásticos, cerámica, madera, papel y cartón. Aunque bien establecido como una técnica de unión, el pegado se considera un área en crecimiento entre las tecnologías de ensamble, debido a las grandes oportunidades para aplicaciones cada vez mayores.

La unión con adhesivos es un proceso de unión en el cual se usa un material de relleno para mantener juntas dos (o más) partes muy cercanas mediante la fijación de la superficie. El material que actúa como relleno, uniendo las partes es el adhesivo. Es una sustancia no metálica, generalmente un polímero.

Las piezas que se unen se denominan partes adheridas. Los de mayor interés en la ingeniería son los adhesivos estructurales, que son capaces de formar uniones fuertes y permanentes entre partes adheridas fuertes y rígidas. Hay gran cantidad de adhesivos disponibles comercialmente, que se sintetizan mediante diversos mecanismos y son convenientes para la unión de diversos materiales. El curado o sintetizado se refiere al proceso mediante el cual se modifican las propiedades físicas del adhesivo de líquido a sólido, por lo general mediante una reacción química, para obtener la sujeción de las superficies de las partes. La reacción química puede implicar una polimerización, condensación o vulcanización. El vulcanizado se provoca frecuentemente mediante calor o un catalizador, y en ocasiones se aplica presión entre las dos partes para activar el proceso de unión. Si se requiere calor, las temperaturas de vulcanizado son relativamente bajas (cuando mucho de pocos cientos de grados Celsius) por lo que generalmente no se afectan los materiales que se unen, lo cual es una ventaja del pegado. El

vulcanizado o endurecimiento de los adhesivos requiere un tiempo determinado, al que se denomina tiempo de vulcanizado (curado) o tiempo de estabilizado.

La resistencia de la unión en la sujeción adhesiva está determinada por la fortaleza del adhesivo mismo y la fortaleza de la sujeción entre el adhesivo y cada parte adherida. Un criterio que se usa con frecuencia para definir un pegado satisfactorio es que si ocurre una falla debido a las tensiones excesivas, debe producirse en una de las partes que se vayan a adherir y no en una interfase o dentro del adhesivo mismo. La resistencia de la adhesión proviene de varios mecanismos y todos ellos dependen del adhesivo y las partes adheridas particulares.

1. Unión química, en la cual el adhesivo se une a las partes y forma una unión química primaria tras el endurecimiento;
2. Interacciones físicas, en las cuales se producen fuerzas de unión secundarias entre los átomos de las superficies opuestas.
3. Entrelazado mecánico, en el cual la dureza de superficie de las partes adheridas provoca que el adhesivo endurecido se enrede o atrape en sus asperezas de superficie microscópicas.

Para que estos mecanismos de adhesión operen con mejores resultados, deben predominar las siguientes condiciones:

1. Las superficies de las partes adheridas deben estar limpias y libres de películas de suciedad, grasa y óxido que podrían interferir en la obtención del contacto íntimo entre el adhesivo y las partes adheridas, ésta es la causa de que frecuentemente se requiera una preparación especial de las superficies.
2. El adhesivo en su forma líquida inicial debe conseguir una humidificación completa de la superficie de la parte adherida.

3. Por lo general es útil que las superficies no estén perfectamente lisas; una superficie ligeramente áspera aumenta el área de contacto real y promueve el entrelazado mecánico.

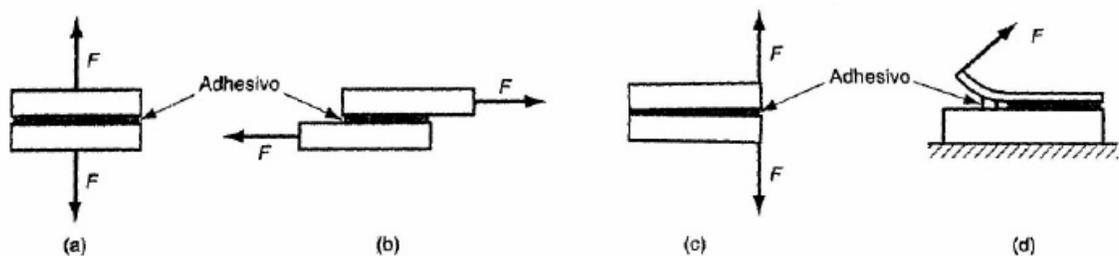
Además, la unión debe diseñarse para explotar las resistencias particulares del pegado y evitar sus limitaciones.

3.2. Diseño de uniones

Por lo general, las uniones con adhesivos no son tan fuertes como las que se hacen con soldadura por fusión, soldadura blanda o soldadura fuerte. Por tal razón, siempre debe considerarse el diseño de estas uniones adhesivas. Los siguientes principios se aplican en el diseño de uniones:

- 1) Debe maximizarse el área de contacto de la unión.
- 2) Los pegados son más fuertes en cizalla y en tensión, como en la Figura 1 (a) y (b), las uniones deben diseñarse para que se apliquen tensiones de estos tipos.
- 3) Los pegados son más débiles en hendiduras o desprendimientos, igual que en la Figura 1 (c) y (d), y deben diseñarse para evitar estos tipos de tensiones.

Figura 1. Tipos de uniones adhesivas



3.3. Uniones adhesivas

Existen diferentes teorías de adhesión que pueden ser utilizadas para explicar y entender los fenómenos superficiales involucrados en este tipo de procesos.

Dentro de las más importantes se encuentran:

a) *Teoría de la interconexión mecánica*: esta teoría fue propuesta por McBain (2) y en ella se considera que la adhesión se realiza mediante la penetración del adhesivo en los poros y cavidades de la superficie del sustrato. La rugosidad del sustrato proporciona una gran superficie que permite una buena conexión mecánica sustrato-adhesivo.

b) *Teoría de difusión*: esta teoría fue desarrollada por Voyustkii (3) (4) y en ella se considera que la adhesión se debe a una interdifusión de las moléculas del adhesivo y el sustrato a través de la interfase (5). Esta teoría es aplicable a polímeros con cadenas moleculares de fácil movilidad.

c) *Teoría electrostática*: esta teoría se basa en la existencia de fuerzas electrostáticas en la interfase adherente/adhesivo. De acuerdo con esta teoría, en la interfase formada al poner en contacto dos materiales de naturaleza diferente se crea una doble capa eléctrica (6).

d) *Teoría de la adsorción*: según esta teoría, las interacciones físicas intermoleculares (tipo Van der Waals, enlace hidrógeno) son suficientemente fuertes para generar una buena adhesión. Schonhorn (7) y Hunstberger (8) afirmaron que cuando el contacto entre adhesivo y el adherente es tan íntimo que las fuerzas intermoleculares son suficientemente fuertes, la existencia de interdifusión carece de importancia. Lo importante es que se produzca un mojado adecuado del adherente por el adhesivo.

e) *Teoría de las capas débiles*: esta teoría fue descrita por Bikerman (9) y se basa en la existencia de zonas débiles en las uniones sustrato/adhesivo, zonas donde se facilita el proceso de ruptura tras someter las uniones a esfuerzos mecánicos. Estos fenómenos adquieren especial importancia cuando existe la tendencia a migrar sustancias y aditivos de bajo peso molecular hacia la superficie del adherente mediante procesos de difusión, una vez que se ha realizado la unión

adhesiva. Son varios los factores que pueden originar la formación de capas débiles de rotura preferencial (5):

- Presencia de impurezas, aditivos y contaminantes, en el adhesivo o adherente, capaces de migrar desde la masa del polímero hacia la interfase.
- Aire atrapado en la interfase, cuando el adhesivo moja insuficientemente el sustrato.
- Productos de reacción entre el aire y los adherentes o entre los adherentes y el adhesivo.

f) *Teoría de la adhesión química*: esta teoría considera la existencia de enlaces iónicos o covalentes en la interfase, que son los que proporcionan a la unión adhesiva su resistencia.

Para obtener uniones adhesivas resistentes se pueden utilizar diferentes tratamientos superficiales (10) que permitan solucionar los problemas de adhesión inherentes a la naturaleza del elastómero y/o bien producir una notable mejora de las uniones adhesivas en condiciones medioambientales diversas. Existen diferentes tipos de tratamientos superficiales:

- i) Aquellos que pueden dejar intacta la estructura molecular del sustrato, llamados tratamientos físicos.
- ii) Aquellos que pueden modificarla mediante la creación de grupos químicos superficiales que favorezcan la adhesión, siendo éstos últimos los llamados tratamientos químicos. Dentro de los tratamientos físicos se incluye el empleo de disolventes y la abrasión mecánica. Por otro lado, los tratamientos químicos comprenden la ciclización (o ciclación), el latonado, la adición de reactivos químicos (isocianatos reactivos, plasma, tensoactivos y peróxidos), el empleo de agentes imprimantes (primers) y la halogenación. En cuanto a la aplicación del adhesivo en una o ambas superficies de las partes, existen diversas formas para hacerlo:

- Aplicaciones con brocha: esta técnica se ejecuta en forma manual usando una brocha de cerdas duras. Los recubrimientos resultantes con frecuencia no son uniformes.
- Rodillos manuales: éstos son similares a los rodillos de pintura para aplicar adhesivo de un contenedor plano.
- Serigrafía: este método implica aplicar el adhesivo para cubrir sólo las áreas seleccionadas de la superficie de la parte a través de áreas abiertas en la pantalla.
- Por flujo: se utilizan pistolas de flujo alimentadas a presión de operación manual para un control más consistente que con brocha.
- Por aspersion o atomización: se usa una pistola de aspersion impulsada por aire (o sin aire) para una aplicación rápida sobre áreas grandes o difíciles de alcanzar.
- Con aplicadores automáticos: éstos incluyen, diversos despachadores y boquillas automáticas, para usarse en aplicaciones de producción a velocidades medias y altas.
- Recubrimiento mediante rodillo: es una técnica mecanizada en la cual se sumerge parcialmente un rodillo rotatorio en una vasija con adhesivo líquido y recoge un recubrimiento del adhesivo, el cual se transfiere después a la superficie de trabajo.

3.4. Normas técnicas

Para la fabricación y ensayo de probetas de adhesión caucho-metal se encontraron dos normas vigentes. La primera es la norma ASTM D945 (11) y la segunda es la norma ISO1827 (12), la cual fue elegida como la norma por la cual se va a regir el presente proyecto, debido a que se ajusta de mejor manera a las máquinas y herramientas con las que se cuentan en la universidad.

4. ETAPA EXPERIMENTAL

4.1. Materias primas

4.1.1. Materias primas de tipo polimérico

Este proyecto de grado hace parte de la segunda fase de un macro proyecto de financiación interna de la Universidad EAFIT denominado Caracterización de Caucho Nacional y Estudio de la Adhesión Caucho – Metal. En la primera fase de este proyecto interno se caracterizaron una serie de cauchos naturales provenientes de varias regiones de Colombia al igual que algunos cauchos importados. Para la segunda fase, en la cual participa este trabajo de grado, el tema de estudio no es la caracterización de cauchos sino la resistencia de uniones adhesivas, por tal razón, las mezclas utilizadas para la fabricación de dichas uniones corresponden a mezclas de caucho natural y se denominaron arbitrariamente:

- Caucho 1: Caucho Santander
- Caucho 2: Caucho Antioquia
- Caucho 3: Guatemala SGRL
- Caucho 4: Caquetá

4.1.2. Materias primas de tipo metálico

Las probetas necesarias para realizar los ensayos de adhesión tienen, además del caucho, unas placas metálicas. El metal con el cual se realizaron dichas placas es un acero AISI 1020, acero estructural bajo carbono. Las placas poseen diferentes acabados superficiales, unas fueron rectificadas y otras fueron sometidas a tratamiento de granallado con el fin de modificar la rugosidad superficial.

Se fabricaron igual cantidad de probetas con los cauchos mencionados para los dos tipos de tratamientos superficiales estipulados.

4.1.3. Adhesivos

En la etapa de vulcanización de los cauchos sobre las superficies metálicas se utilizaron una serie de productos químicos denominados adhesivo y primer (modificador superficial). Estos productos son de tipo comercial y se conocen en el mercado con los nombres de Chemlok® 250 y Chemlok® 205 respectivamente. Las fichas técnicas de estos productos se resumen en el Anexo 1.

4.2. Herramientas

Para la fabricación de probetas fue necesario el uso de diferentes herramientas de apoyo, para hacerlo de forma segura y limpia, buscando que en el desarrollo del proyecto no se presenten accidentes y para reducir factores de riesgo de fallas en la fabricación de las probetas. Las herramientas utilizadas se pueden dividir en dos grupos según su utilización.

El primer grupo se refiere a herramientas de protección personal mostrado en la Tabla 1 las cuales ayudan a reducir el riesgo de accidentes de trabajo, ya que durante el desarrollo del proyecto se trabaja con superficies calientes y con herramientas tales como sierras y esmeriles, donde hay riesgo de que viruta del acero caiga en los ojos.

Tabla 1. Equipo de seguridad.

Guantes térmicos		Utilizados para la manipulación de elementos calientes, durante el montaje y desmontaje del molde con las probetas.
------------------	---	---

Tapabocas		<p>Utilizado durante la aplicación del adhesivo y el primer a las placas metálicas, ya que éstos tienen olores muy fuertes. Igualmente durante el desmontaje de las probetas ya que el olor de la vulcanización resulta fuerte.</p>
Gafas de seguridad		<p>Utilizadas durante la preparación de las placas metálicas para evitar la caída de viruta o chispas a los ojos.</p>
Guantes de caucho		<p>Utilizados para porteger las manos de la acción de un químico tan fuerte como el xilol utilizado en la limpieza inicial de las placas de metal.</p>

El segundo grupo, mostrado en la Tabla 2 se refiere a los elementos que permiten que la manipulación de los materiales se haga de manera limpia y que no se entre en contacto directamente con la piel, la cual contiene grasas que pueden convertirse en un factor que evite que la adhesión se haga de manera exitosa.

Tabla 2. Herramientas de manipulación de materiales.

Guantes de látex		Estos guantes se utilizan para manipular tanto las placas de metal como el caucho de modo que la grasa natural de la piel no afecte las superficies y posteriormente el resultado en la adhesión.
------------------	---	---

Y por último en la Tabla 3 se encuentra el grupo de las herramientas utilizadas para la construcción de las probetas de forma más fácil, o para la conservación de las materias primas y materiales.

Tabla 3. Herramientas complementarias.

Brochas y pinceles		Herramientas de vital importancia para la aplicación del primer, el adhesivo a las placas y desmoldante la silicona.
Thinner		Utilizado para la limpieza del molde entre la fabricación de cada probeta y para la limpieza de brochas y pinceles.

Xilol		<p>Químico utilizado para la limpieza de las placas metálicas, de forma que queden libres de grasa que afecte la adhesión. Es indispensable el uso de campana extractora.</p>
Silicona cosmética		<p>Funciona como desmoldante del inserto en forma de "I" utilizado para dar forma a la probeta al momento de la vulcanización.</p>
Aceite		<p>Sirve como protección para las placas metálicas en contra de la corrosión, durante el tiempo que son guardadas entre la etapa de preparación y la etapa de fabricación de las probetas.</p>
Tijeras y pinzas		<p>Las tijeras son utilizadas para cortar el caucho en el tamaño necesario. Las pinzas son una ayuda para retirar los insertos calientes que hacen parte del molde.</p>
Cinta		<p>Utilizada para una fácil manipulación de las probetas antes de la vulcanización y para la marcación de los materiales.</p>

4.3. Equipos

Para la construcción y ensayo de las probetas es necesario el apoyo de equipos de laboratorio. Desde la etapa de preparación de los materiales, hasta la etapa de ensayo, haciendo posible la consecución de los objetivos del proyecto de una mejor manera.

Los equipos requeridos durante la etapa de preparación de materiales son descritos en la Tabla 4.

Tabla 4. Equipos usados en la etapa de preparación de materiales.

Sierra sinfín		Usada para el ajuste de las placas a la medida necesaria.
Esmeril		Usado para pulir los extremos de las placas que deben llevar las esquinas redondeadas.
Pirograbador		Usado para la marcación de las placas.

Balanza		Usada para pesar los pedazos de caucho y llevarlos al tamaño deseado.
Rugosímetro		Herramienta de laboratorio utilizada para medir la rugosidad de las placas a lo largo del proyecto.
Molino de rodillos		Usado para hacer que la mezcla del caucho sea más homogénea y apta para la vulcanización.
Mufla		Usada para secar las placas posterior a la aplicación del adhesivo.

En la etapa de fabricación de las probetas los equipos utilizados se describen en la Tabla 5.

Tabla 5. Equipos usados en la etapa de fabricación de probetas.

<p>Prensa de banco</p>		<p>Usada para ajustar el montaje de las probetas antes de ser vulcanizadas.</p>
<p>Vulcanizadora hidráulica</p>		<p>Máquina que consta de dos resistencias y un gato hidráulico, con el fin de llevar el caucho a su temperatura de vulcanización y aplicar una presión máxima de 5000 psi.</p>

Por último se encuentran los equipos usados en la etapa de ensayo y son mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Máquinas usadas en la etapa de ensayos.

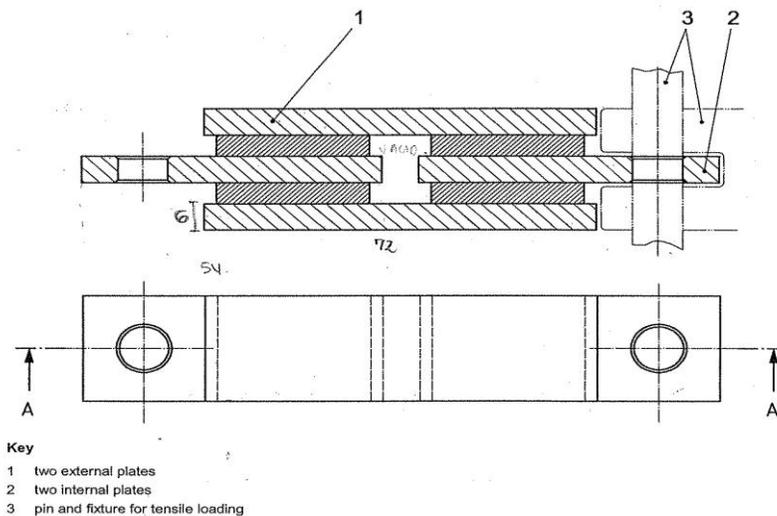
<p>Máquina universal de ensayos “Instron” 3366</p>		<p>Este equipo es usado para realizar las pruebas de tracción, donde fue determinada la resistencia máxima de cada probeta</p>
--	--	--

<p>Microscopio electrónico de barrido</p>		<p>Microscopio electrónico de barrido (JSM-6490LV), ubicado en la Sede de Investigación Universitaria (SIU) de la Universidad de Antioquia</p>
---	--	--

4.4. Proceso de fabricación de probetas

La geometría de las probetas que se utilizaron para los ensayos de adhesión (Figura 2) fue tomada de la Norma ISO 1827 (12).

Figura 2. Geometría de las probetas de adhesión (ISO 1827).



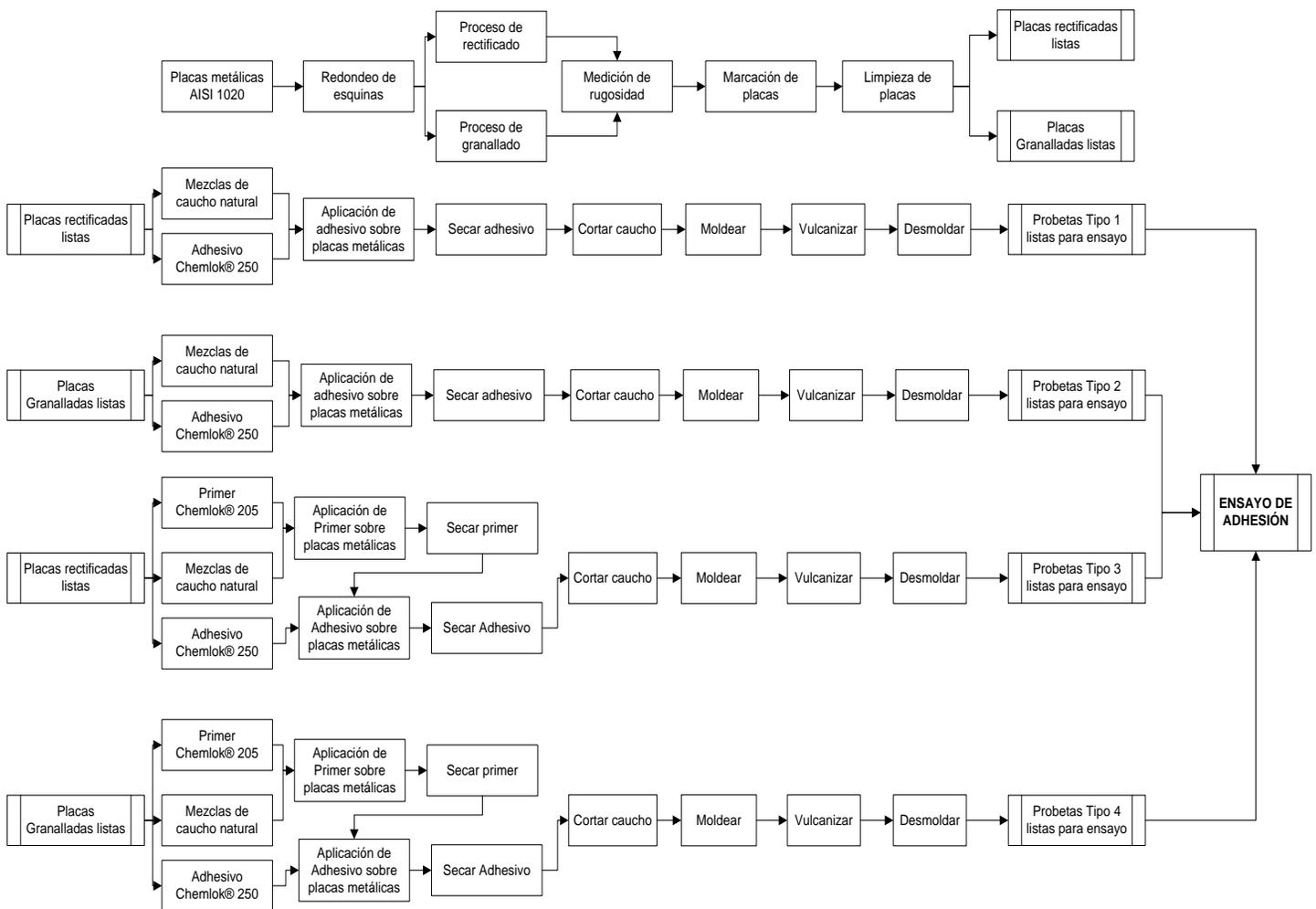
Las probetas se clasificaron de acuerdo a los tratamientos superficiales realizados tal como se muestra en la Tabla 7. Esta nomenclatura será utilizada durante el análisis de los resultados para efectos de practicidad.

Tabla 7. Clasificación de probetas

Tipo de probeta	Materiales	Cantidad
Tipo 1	Placas rectificadas + adhesivo	16
Tipo 2	Placas granalladas + adhesivo	16
Tipo 3	Placas rectificadas + primer + adhesivo	8
Tipo 4	Placas granalladas + primer + adhesivo	8

El procedimiento para la fabricación de las probetas se muestra en la Figura 3 y se describe a continuación.

Figura 3. Diagrama de fabricación de probetas.



El método de fabricación de las probetas fue el resultado de un proceso experimental donde mediante ensayo y error se eligió la forma más adecuada y eficiente para la fabricación, cumpliendo con las especificaciones necesarias.

El primer paso consiste en cortar las placas de acero, teniendo en cuenta que la mitad de estas deben ser redondeadas en un extremo haciendo uso del esmeril como lo muestra la Figura 4. Estas placas redondeadas, son ubicadas en la parte intermedia del sándwich.

Figura 4. Placas redondeadas en el esmeril.



Las placas son divididas en dos grupos, uno de ellos son las placas rectificadas, las cuales fueron maquinadas para obtener este acabado superficial, y el otro grupo corresponde a las placas granalladas, las cuales fueron llevadas a la empresa Furima S.A. para realizar el proceso de modificación superficial mecánico llamado granallado.

A todas las placas se les realiza una medición de la rugosidad en el laboratorio de metrología de la Universidad EAFIT, cuyos resultados son de vital importancia en la etapa de análisis del proyecto (ver Figura 5).

Figura 5. Equipo y montaje para medición de rugosidad.ad.



Al recibir de nuevo las placas, éstas son marcadas con un pirograbador, asignando un número a cada una, y haciendo diferencia entre una cara “A” y otra cara “B”, esto se puede apreciar en la Figura 6. Finalmente se agrupan de a cuatro y se hace un registro de la agrupación de las placas.

Figura 6. Marcación de placas utilizando pirograbador



Las placas deben estar completamente limpias y libres de alguna grasa o impureza que evite que el caucho se adhiera completamente, por esto es necesario limpiarlas cuidadosamente con xilol. Este procedimiento es peligroso por la toxicidad de la sustancia, por tal razón se debe hacer bajo una campana extractora (ver Figura 7).

Figura 7. Limpieza de placas con xilol.



Cuando se tienen las placas rectificadas y granalladas listas para la fabricación de las probetas, se aplica el adhesivo o el primer + adhesivo de acuerdo al tipo de probeta que se desea obtener.

En el caso de las probetas que requieren aplicación de primer, se realiza dicho procedimiento siguiendo las recomendaciones de la ficha técnica (ver Anexo 1), dejando secar por una hora a temperatura ambiente (ver Figura 8).

Figura 8. Aplicación del primer en placas. Segunda etapa experimental.



Ahora, para las probetas que requieren sólo adhesivo (Tipo 1 y 2) o aquellas a las que se les aplica el adhesivo luego del primer (Tipo 3 y 4), se sigue el procedimiento descrito en el Anexo 2 y se deja secar en una mufla a 60°C, como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Aplicación de adhesivo a las placas metálicas.



Paralelamente a la etapa de preparación de las placas, se encuentra la preparación del caucho, donde inicialmente se corta en trozos entre 20 y 25 gramos por el número de probetas que se desean fabricar. Al cortarlo se hace pasar por un sistema de rodillos que ayuda a que la mezcla que conforma el caucho sea mucho más homogénea. Luego, se corta en 4 pedazos que deben quedar exactamente de 4,6 gramos. Esta cantidad fue obtenida mediante ensayo y error, estableciéndose que si se utilizaba menos de esta cantidad el molde no llenaba correctamente, y una cantidad mayor ocasionaba problemas porque se esparcía el caucho dentro del molde (ver Figura 10).

Figura 10. Proceso de corte de caucho.



Cuando se tienen las placas y el caucho listos, se arma el sándwich dentro del molde que se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Molde para fabricación de probetas.



Cuando la probeta está armada se procede a vulcanizar el caucho para que se adhiera a las placas de metal. Este proceso tiene dos variables, la primera es la temperatura, la cual debe ser de 160°C para que el caucho pueda vulcanizarse adecuadamente, y la segunda variable consiste en aplicar presión, que ayude en la vulcanización y en la adhesión. Esta presión debe ser de 5000 Psi. Cuando el molde con la probeta se pone en la máquina se monitorea la temperatura del molde cada 3 minutos, teniendo en cuenta la hora en que se toma cada dato, y

cuando la temperatura llegue al valor deseado (160°C) y se mantenga estable durante 3 tomas, entonces se cuenta media hora a partir del momento en el que el último dato fue obtenido (ver Figura 12).

Figura 12. Proceso de vulcanización de las probetas.



Luego de pasados los 30 minutos, se baja el molde de la máquina y se procede a remover la probeta. Sin dejar que ésta se enfríe se retiran los insertos, en ese momento se verifica que el proceso de fabricación sea satisfactorio, es decir, que haya ocurrido adhesión entre el caucho y las placas de metal en todos los casos posibles, si esto se cumple se deja que la probeta enfríe a temperatura ambiente y luego con ayuda de un martillo de goma se saca la probeta del molde separando cada una de las piezas que lo componen (ver Figura 13).

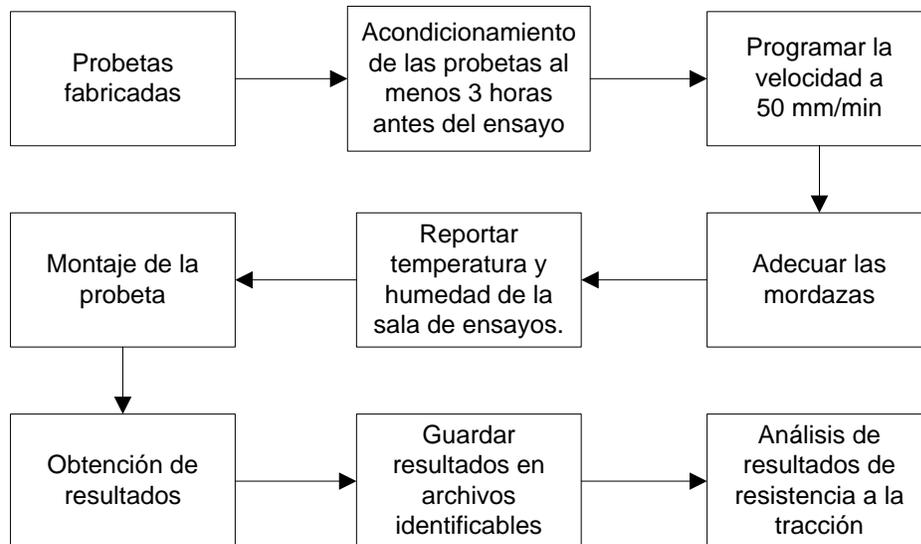
Figura 13. Desmoldeo de la probeta.



4.5. Procedimientos de ensayo (ISO 1827)

La norma ISO 1827 “Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of shear modulus and adhesión to rigid plates–Quadruple – shear methods” establece un procedimiento para la realización del ensayo de tracción y los cálculos que permiten obtener la resistencia de la unión adhesiva. Este procedimiento se resume en la Figura 14 y consiste básicamente en acondicionar la probeta tipo sándwich a las condiciones del ensayo durante por lo menos 3 horas, luego programar la máquina de ensayo a una velocidad de 5 mm/min, accionar la máquina hasta que la probeta falle y registrar el valor de carga máxima para cada ensayo, luego realizar los cálculos respectivos de acuerdo a la Ecuación 1. Lo que se busca es determinar la fuerza máxima que resiste la adhesión, que según la norma, se presenta en mega pascales (MPa), la carga máxima en Newtons (N) y el área de contacto entre el metal y el caucho en milímetros cuadrados (mm²).

Figura 14. Diagrama de flujo ensayo de tracción.



Este análisis se hizo sobre 4 probetas de cada uno de los tipos utilizando cada caucho de los mencionados anteriormente. El montaje del ensayo se puede ver en la Figura 15.

Ecuación 1. Ecuación para hallar resistencia de la unión adhesiva mediante la Fuerza máxima.

$$Resistencia = \frac{F_{m\acute{a}x}}{2 * \acute{A}rea}$$

La segunda prueba que se realiza es la prueba de microscopía, que debe ser aplicada en las caras donde al realizar el ensayo de tracción se ocasionó la falla.

Figura 15. Montaje de ensayo de tracción.

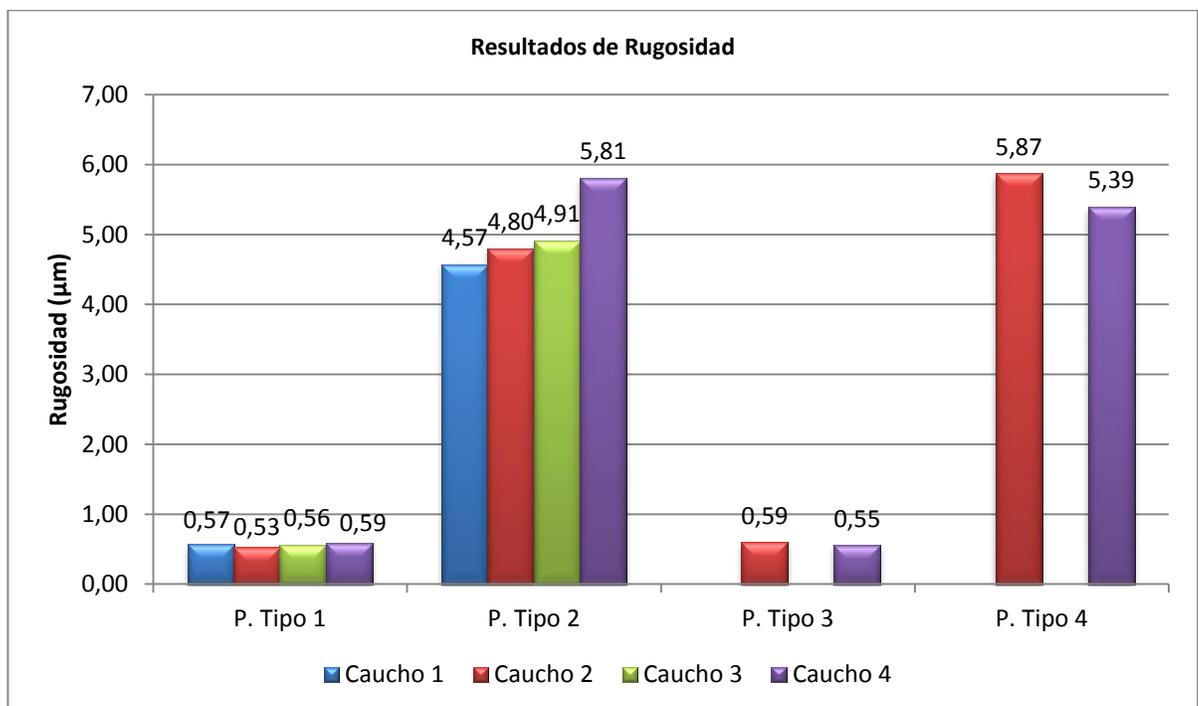


5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Rugosidad

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizan dos tipos de acabado superficial en las placas metálicas con las que se fabrican las probetas a ensayar. Se realiza un análisis de rugosidad en el laboratorio de metrología de la Universidad EAFIT, con el objetivo de realizar posteriormente una relación entre la rugosidad de las placas y la adhesión generada entre el caucho y el metal; dichos datos se agrupan según el tipo de placas, y con registro de cuales son utilizadas en cada probeta. De esta forma, se promedia la rugosidad de las placas utilizadas para cada tipo de probeta. En la Figura 16 se muestra la rugosidad presentada en las probetas fabricadas.

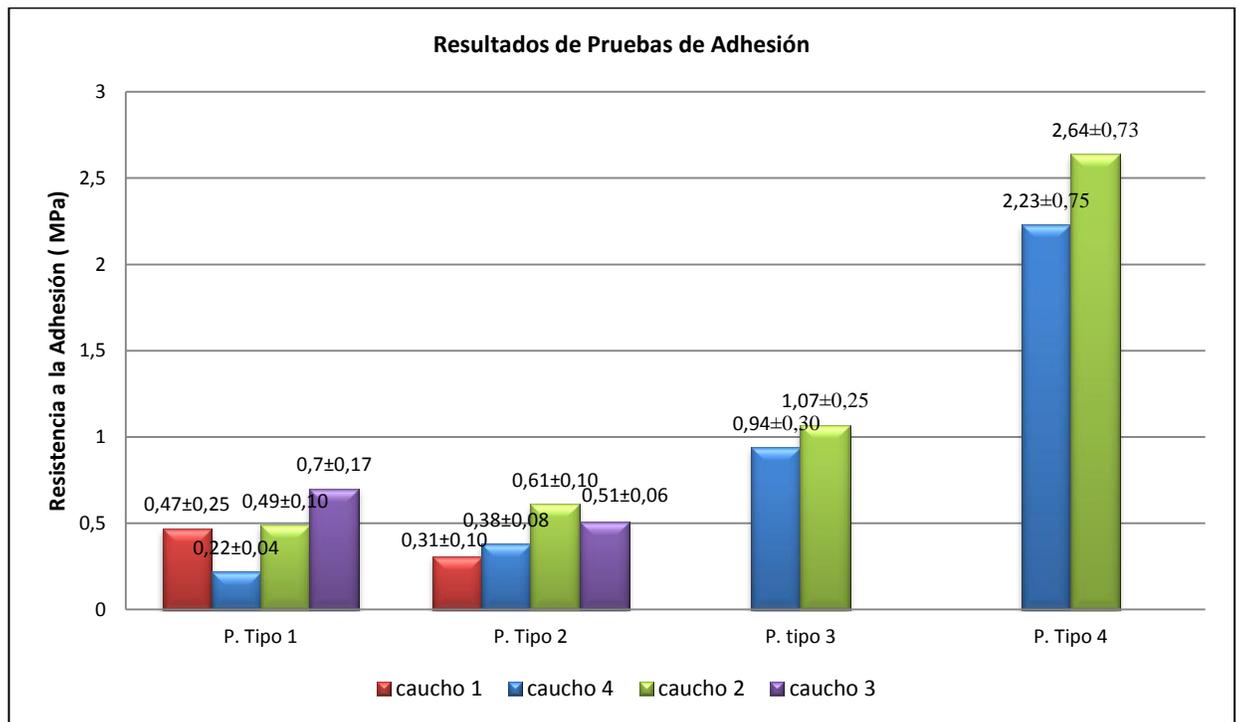
Figura 16. Resultado de medición de rugosidad. Datos agrupados por tipo de probeta.



5.2. Adhesión

Los resultados obtenidos durante las pruebas de tracción en la Instron 3366 son mostrados en la Figura 17, para generar los resultados se realiza un promedio entre los datos obtenidos por cada caucho empleado y se retira el dato más atípico dentro de las 4 probetas. Con estos datos también se halla la desviación estándar de la adhesión de cada caucho.

Figura 17. Resultados ensayo de adhesión. Datos agrupados por tipo de probeta.



En esta gráfica es posible observar los valores de resistencia de la unión adhesiva. Cuando se realiza modificaciones superficiales lo que se busca es optimizar el proceso de adhesión. En algunos cauchos no se generan los cambios esperados, es decir, lo lógico es que a medida que la rugosidad aumenta, como aumenta el área de contacto, la adhesión será más eficiente, pero solo en el caucho 2 y 4 para las probetas Tipo 1 y 2 se presenta dicha coherencia. Una posible causa de error que explique este comportamiento es que el adhesivo

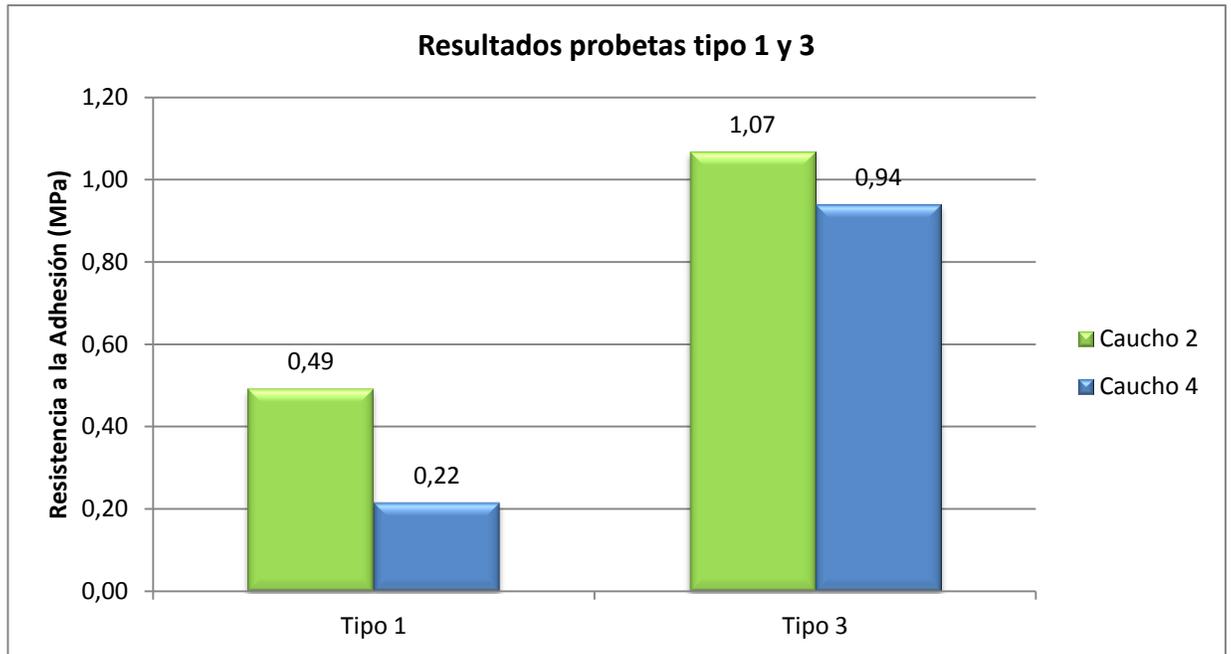
utilizado para fabricar las probetas tuvo algún tipo de alteración propia de las condiciones de almacenamiento y alta volatilidad de los componentes.

Con el tipo de probetas 3 y 4 se pretende mejorar las condiciones de adhesión aplicando Primer sobre la superficie de las láminas metálicas previo a la aplicación del adhesivo. Se toman los dos tipos de caucho que obtuvieron un comportamiento acorde al esperado, es decir, se eligen los cauchos 2 y 4 ya que son los únicos que presentaron un aumento en la adhesión al ensayarse con placas metálicas granalladas.

Los datos registrados en la Figura 17 muestran un aumento contundente en las propiedades adhesivas para las probetas tipo 4, donde se prepararon las placas metálicas granalladas con la aplicación de Primer y posteriormente adhesivo. En este caso se aprecia que el efecto esperado al realizar pruebas con probetas granalladas se cumple, ya que el aumento de la adhesión es de 1,57 MPa para el caucho 2 y de 1,29 MPa para el caucho 4.

Para poder evaluar la mejora encontrada entre las probetas realizadas, solamente con adhesivo, y las de adhesivo mas primer, se comparan las probetas fabricadas con el mismo tipo de placas metálicas; en la Figura 18 se muestra el cambio en la resistencia entre las probetas tipo 1 y 3, solamente para los cauchos 2 y 4 ya que por su comportamiento son los elegidos para fabricar los tipos de probeta 1 y 3.

Figura18. Adhesión comparada entre probetas tipo 1 y 3.



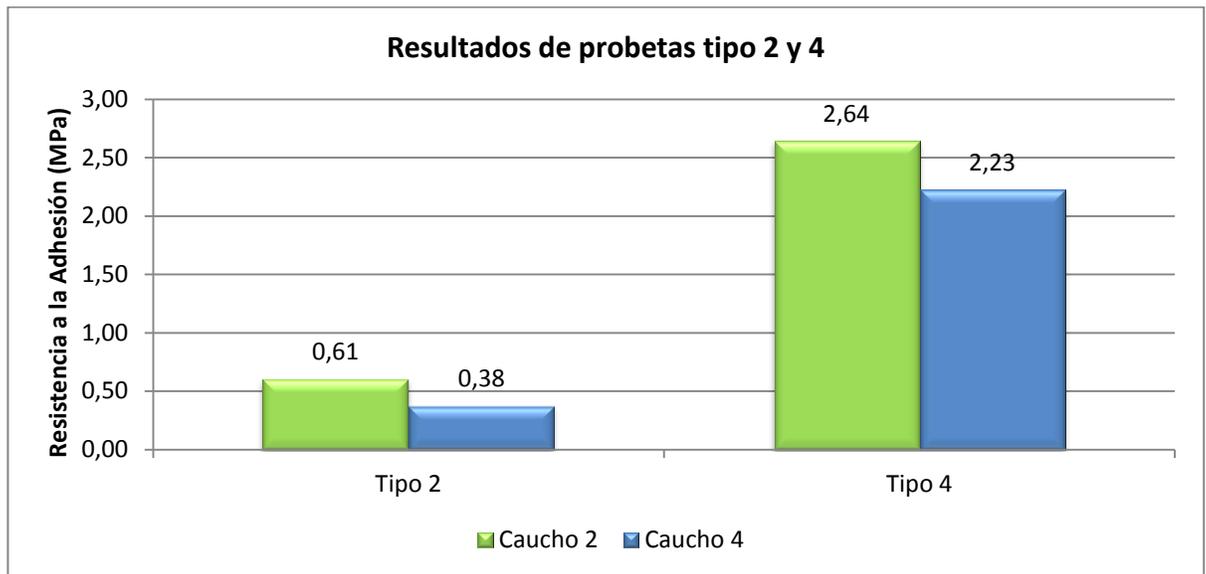
Para el caucho 2 el aumento de la adhesión es de 0,57 MPa entre el tipo de probetas 1 y el 3. En el caso del caucho 4 el aumento es de 0,72 MPa. Se infiere, según la gráfica anterior que la acción de primer en las placas rectificadas gestiona de buena manera la adhesión entre el caucho y el metal.

La comparación entre las probetas tipo 2 y 4 mostrada en la Figura 19 al igual que en el caso anterior muestra el gran aumento en la adhesión obtenido en las placas tipo 4 gracias a la aplicación del primer.

Para la elaboración de las probetas Tipo 2 se hizo la compra del mismo Adhesivo con el que se realizaron las probetas Tipo 1, en esta parte del proceso se evidenció una textura diferente del adhesivo que se aplicó y se generaron dudas en cuanto a la determinación de cuál de las dos aplicaciones hechas sobre las láminas metálicas era la que presentaba inconsistencia. Este problema se puede

ver reflejado en los resultados obtenidos en los ensayos aplicados al segundo tipo de probetas.

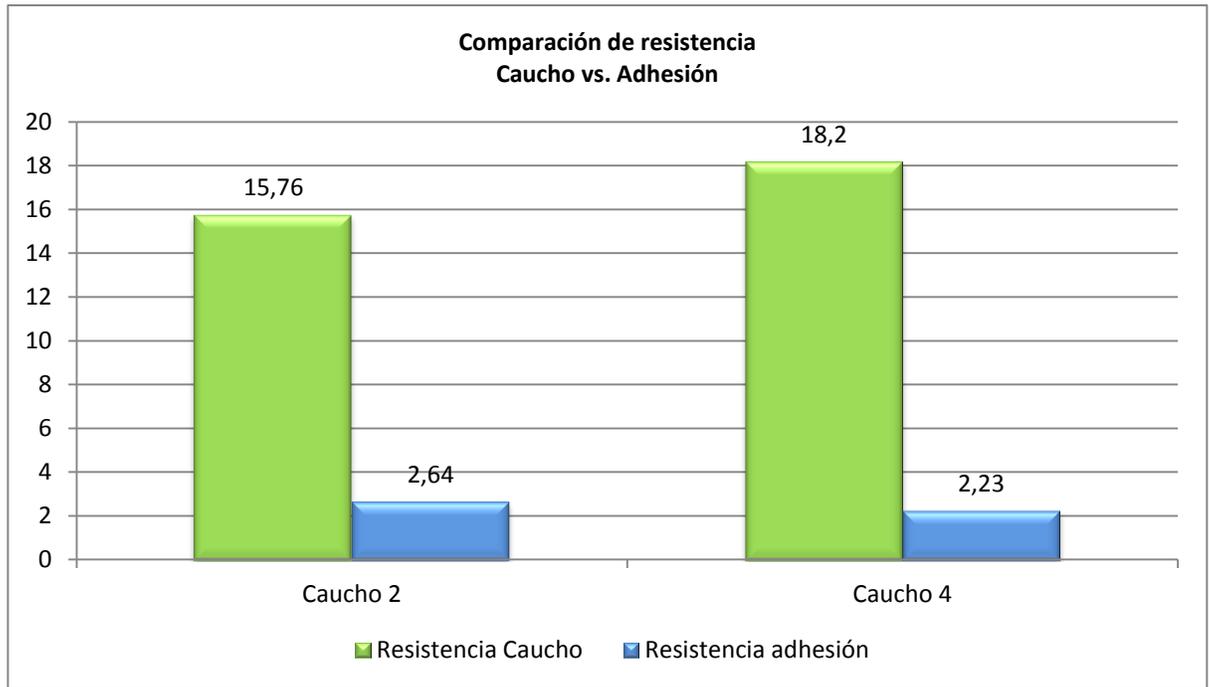
Figura19. Adhesión comparada entre probetas tipo 2 y 4.



5.2.1. Comparación de resistencia

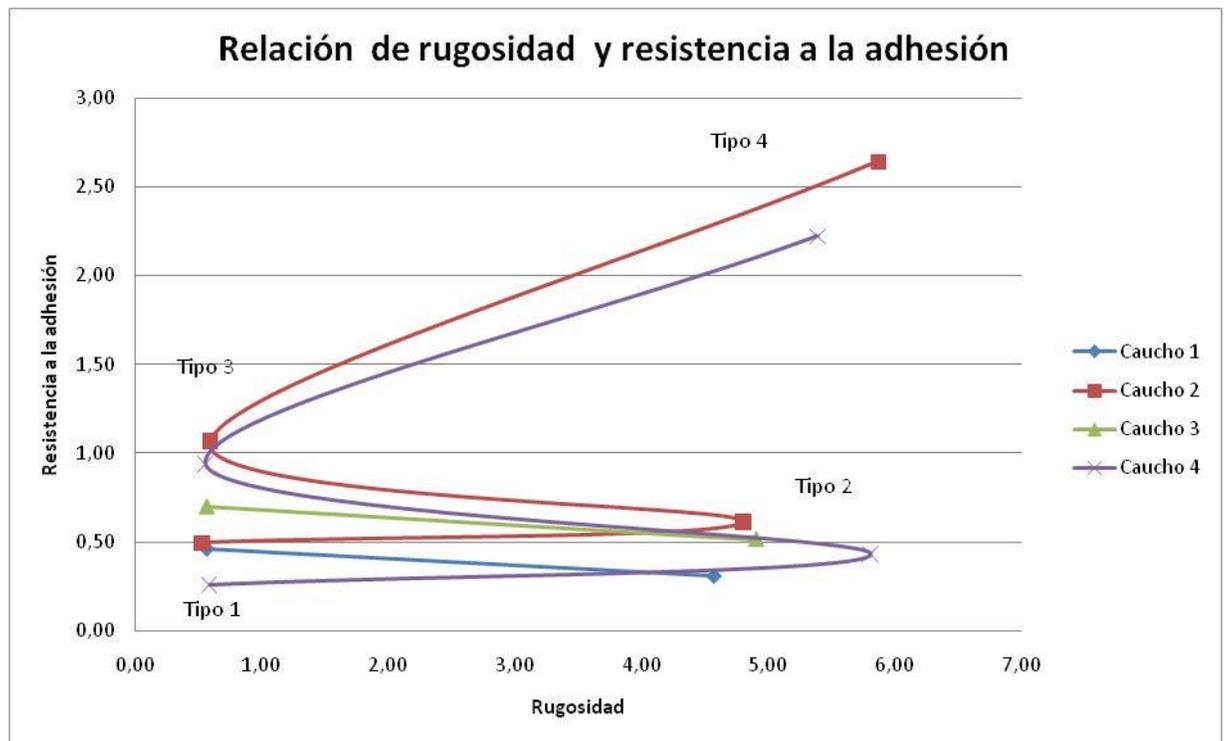
En la Figura 20 se muestra la comparación de la resistencia a la tracción presentada en el caucho de manera independiente (13) y en las pruebas realizadas a las probetas de adhesión. Esta comparación se hace para los cauchos 2 y 4 en las probetas fabricadas con placas granalladas y utilizando primer y adhesivo; en ambos casos se ve que la resistencia del caucho es mayor que la resistencia de la adhesión, lo que da pie a inferir que el caucho tuvo problemas en su resistencia, ya que en este tipo de probetas, las fallas fueron en el caucho.

Figura 20. Comparación entre la resistencia del caucho y la adhesión.



5.3. Relación de rugosidad y Resistencia a la adhesión

Figura 21. Relación entre rugosidad y resistencia a la adhesión



La Figura 21 permite observar como es el comportamiento de los diferentes cauchos en cada uno de los tipos de probetas fabricados. Las probetas tipo 1 que son las probetas con tratamiento superficial rectificado mas adhesivo y son las que tienen menor rugosidad y menor resistencia a la adhesión, pero se observa también que al cambiar el tipo de probeta a las probetas tipo 2 que significa cambiar el tipo de tratamiento superficial a granallado mas adhesivo, es evidente que ambas variables, rugosidad y resistencia a la adhesión tienen un incremento significativo; este incremento solo se ve para las probetas fabricadas con caucho 2 y caucho 4 cuyo comportamiento es el esperado, por tal motivo se continua la fabricación de las probetas tipo 3 y tipo 4 con estos dos cauchos. Se evidencia entonces que la probetas con caucho 2 y caucho 4 tienen una tendencia a aumentar la resistencia a la adhesión, pues aunque para las tipo 3 el tratamiento superficial mecánico es el rectificado, se le otorga propiedades de adhesión al tratamiento químico hecho con Primer a las superficies de estas placas metálicas; el incremento es notorio y por ende es esperado que el resto de las probetas tipo 4 tengan mayor resistencia a la adhesión, dado que contienen los dos tratamientos superficiales tanto el químico como el mecánico que contribuyen a generar valores por encima de los demás tipos de probetas.

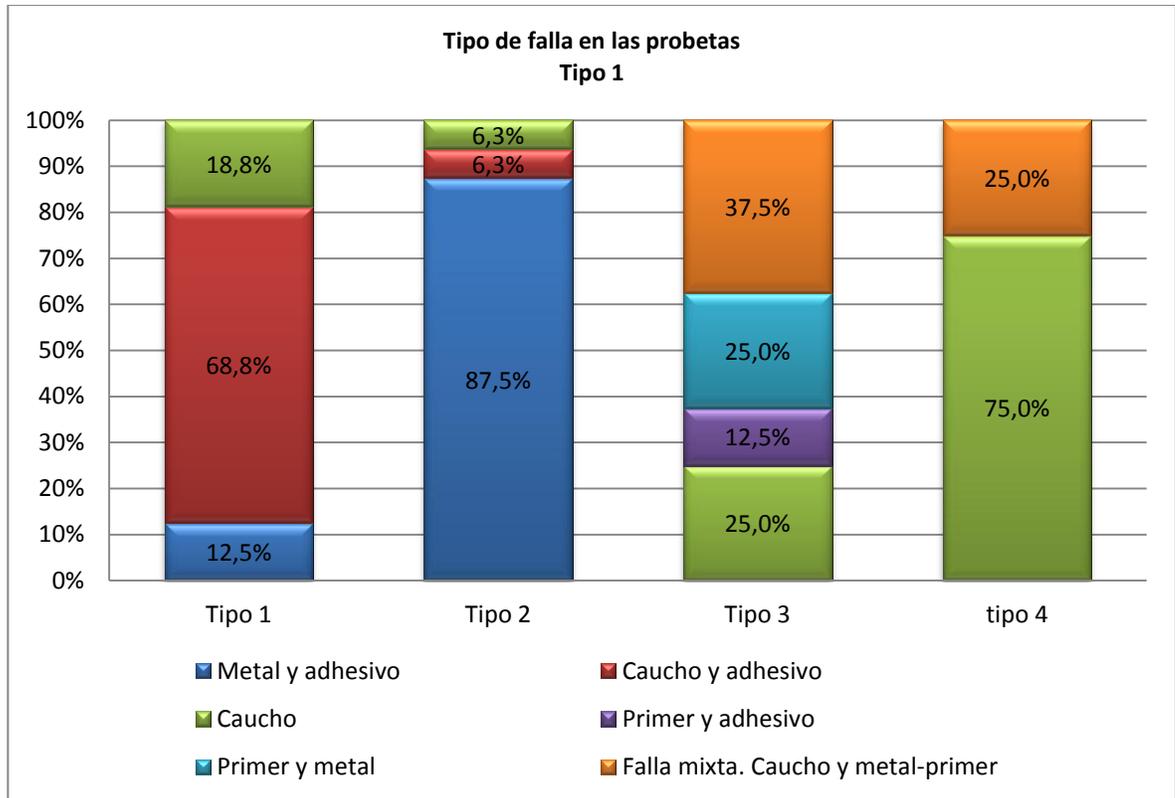
5.4. Análisis de las superficies de falla

La norma ISO 1827 establece que se deben clasificar los tipos de falla de acuerdo al lugar por donde falló la probeta, por tal motivo, al finalizar los ensayos se identificó visualmente el tipo de falla presentado. Los resultados se pueden ver en la Figura 22.

Para las probetas tipo 1 se tiene que fallan un 68,8% de las veces en la interfase entre el caucho y el adhesivo, se determina entonces que hay buena acción del adhesivo sobre las placas de metal; por el contrario, las placas tipo 2 fallaron un 87,5% de las veces, en la interfase entre el metal y el adhesivo como

consecuencia de una mala acción de dicho químico sobre las placas de metal. Esto se atribuye a la consistencia acuosa que presentó el adhesivo en la etapa de construcción del segundo tipo de probetas.

Figura 22. Tipo de falla presentado en las probetas.



El causante de las fallas en las probetas del tipo 2 es la interfase entre el metal y el adhesivo. Con un porcentaje de aparición de un 87,5%, lo que permite observar que la acción realizada por el adhesivo en las placas de metal no estuvo de acuerdo a la expectativas, lo que se atribuye a la consistencia presentada por el adhesivo en la fabricación de las probetas de este tipo.

Para el análisis de estos resultados es importante resaltar que el tipo de caucho no es el objeto del análisis debido a que las fallas de este tipo que se presentaron

no son significativas, de modo que el punto focal de la discusión debe ser los tipos el planteamiento de razones por las cuales se presenta la falla en la interfase tanto entre caucho y adhesivo como entre metal y adhesivo.

En las probetas tipo 3 y 4 se observa que el comportamiento de las fallas en el tercer tipo de probetas, la falla mixta tiene un mayor porcentaje de aparición con un 37,5% lo que no es un porcentaje muy significativo en comparación con los otros tipos de falla. De esto se infiere que el tipo de falla en este caso no tiene una tendencia definida y no tiene causas atribuibles a esto.

El comportamiento de las fallas de las probetas tipo 4 indica una clara tendencia de este tipo de probetas a fallar por el caucho con un 75% de apariciones, lo que indica que en este caso, la adhesión entre caucho y metal para piezas elaboradas con metal granallado, y con primer y adhesivo se tiene una mayor probabilidad de fallar gracias al caucho, y no por problemas presentados en la adhesión entre los dos materiales.

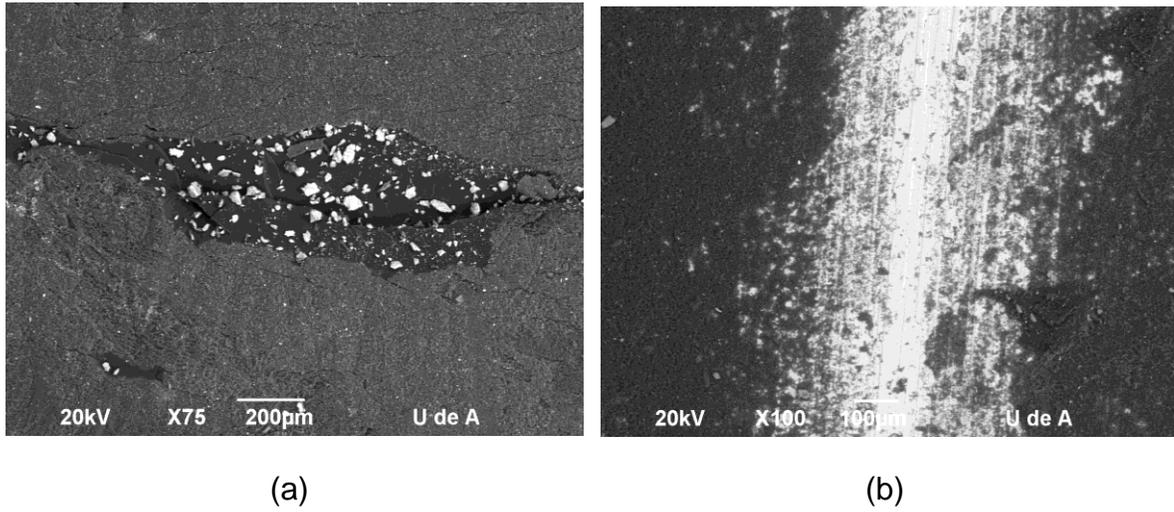
5.4.1. Observación y análisis de superficies de falla

La Norma menciona una clasificación de los tipos de ruptura en las probetas, esta interpretación se hace de forma visual y se determinan las fallas típicas para cada probeta. Se realiza posteriormente una observación en el microscopio electrónico para mirar con mayor detalle las superficies. Tanto las superficies metálicas como las superficies de caucho fueron observadas. Estas observaciones se realizaron sólo para el caucho 4. A continuación se describen los resultados:

- *Falla en probetas Tipo 1*

La falla con mayor frecuencia de aparición en las probetas tipo 1 se presenta en la interfase adhesivo-caucho, la observación en el microscopio electrónico permite identificar con más detalle la superficie, ver Figura 23.

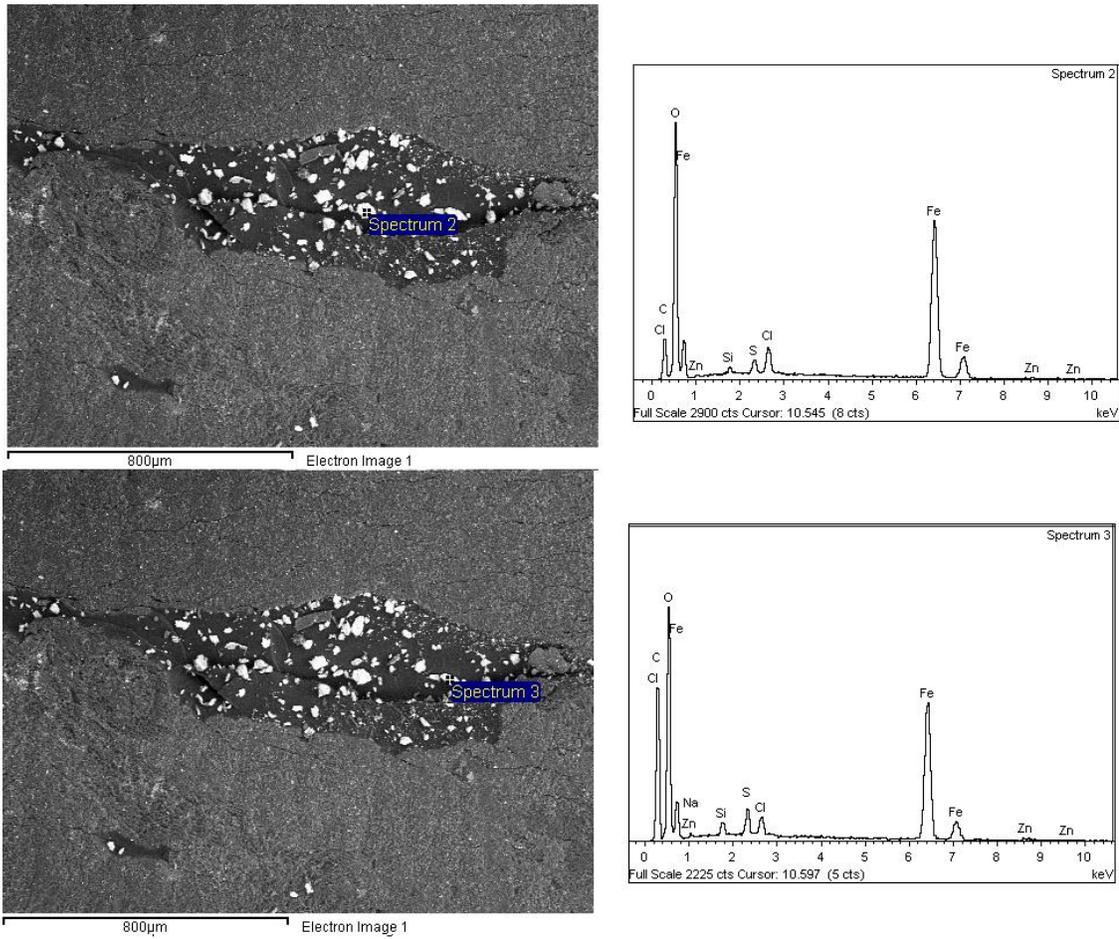
Figura 23. Probeta tipo 1. a) superficie de caucho. b) superficie metálica



En la parte (a) de la figura se está observando la superficie del caucho. A simple vista se había definido que esta probeta había fallado en la interfase adhesivo-caucho y la micrografía lo confirma, mostrando que queda adhesivo en dicha superficie pero que hay partes de caucho al descubierto (fondo oscuro). Es posible observar también que hay una serie de partículas blancas en la superficie del caucho. Se realizó EDX de dichas partículas y se encontró que corresponden a óxidos de hierro (ver Figura 24).

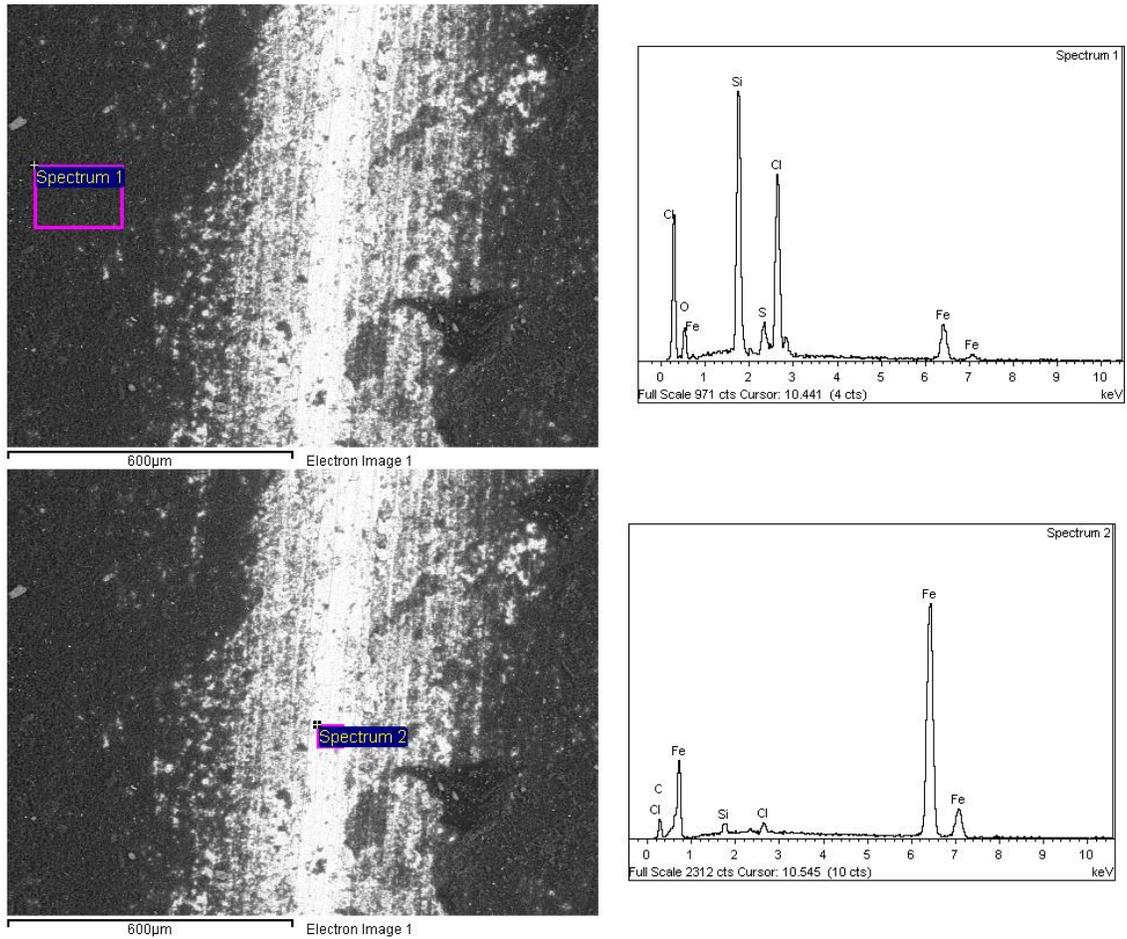
En la figura (b) es posible observar una parte clara que corresponde a la superficie metálica y una parte oscura que corresponde a la película de adhesivo. Dichos resultados fueron obtenidos mediante EDX puesto que la naturaleza del adhesivo y la de la superficie metálica son diferentes y por tanto el análisis químico debe mostrarlo (ver Figura 25)

Figura 24. EDX en el caucho de la probeta Tipo I



El análisis anterior muestra los espectros para composición química de dos partículas blancas ubicadas en sitios diferentes y para ambas partículas los resultados fueron los mismos, lo que confirma la presencia de óxidos de hierro producto de la oxidación de la superficie metálica en la superficie de caucho analizada.

Figura 25. EDX en la superficie metálica

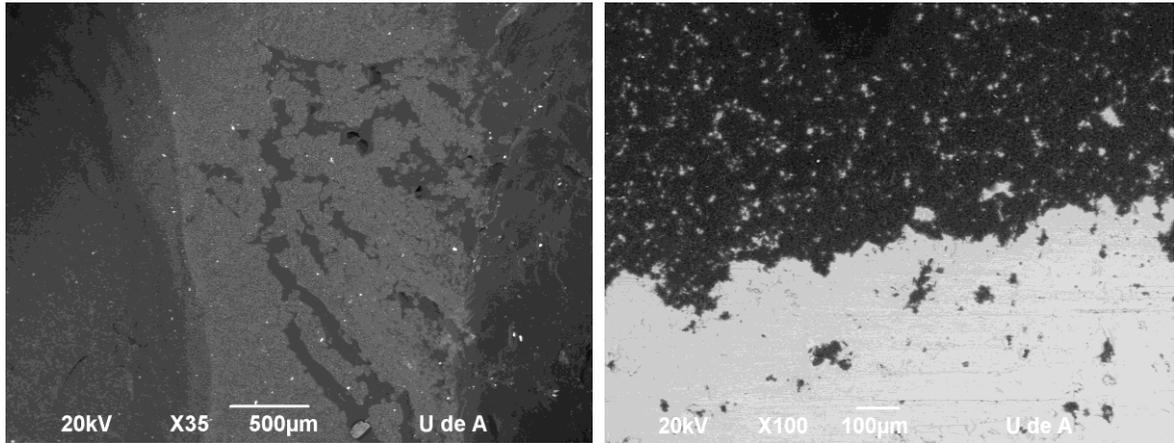


Estos espectros son muy diferentes entre sí y dejan al descubierto que la parte clara de la figura corresponde a la superficie metálica y la parte oscura a la capa de adhesivo que se quedó adherido a dicha superficie.

- *Falla en probetas Tipo 2*

Visualmente se había determinado que en este tipo de probetas primaba la falla metal-adhesivo. En el microscopio fue posible observar que aunque la falla si se presentó en esta intercara, quedan restos de adhesivo tanto en la superficie metálica como en la superficie de caucho (Figura 26).

Figura 26. Probeta tipo 2. a) superficie de caucho. b) superficie metálica



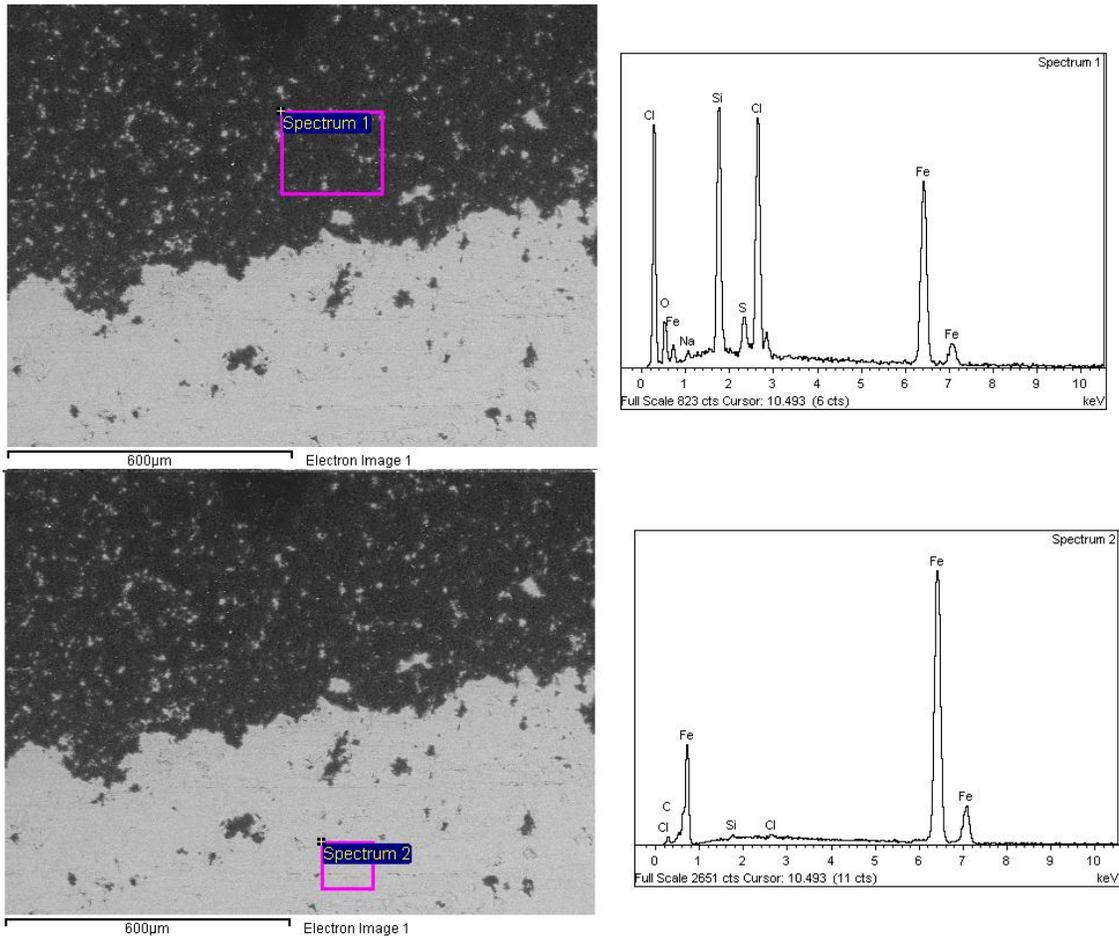
(a)

(b)

Visiblemente el caucho tiene en su superficie una capa de adhesivo como lo muestra la parte (a) de la figura anterior. En la otra parte de la imagen (b), el efecto es contrario, el metal queda libre de adhesivo en la mayoría de la superficie. Al igual que en el caso de falla anterior, la imagen mostrada por el microscopio permite ver que el adhesivo no queda en un 100% en ninguna de las capas, sino que ambas presentan restos de este. En el presente caso la mayoría del adhesivo quedó adherido al caucho, por lo que se define como una falla en la interfase adhesivo metal.

Se realizaron también análisis de composición química para confirmar lo anterior (ver Figura 27). En el espectro 1 hay presencia de hierro pero esto se debe a que la zona de análisis fue muy amplia y cobija pequeños puntos blancos donde hay hierro.

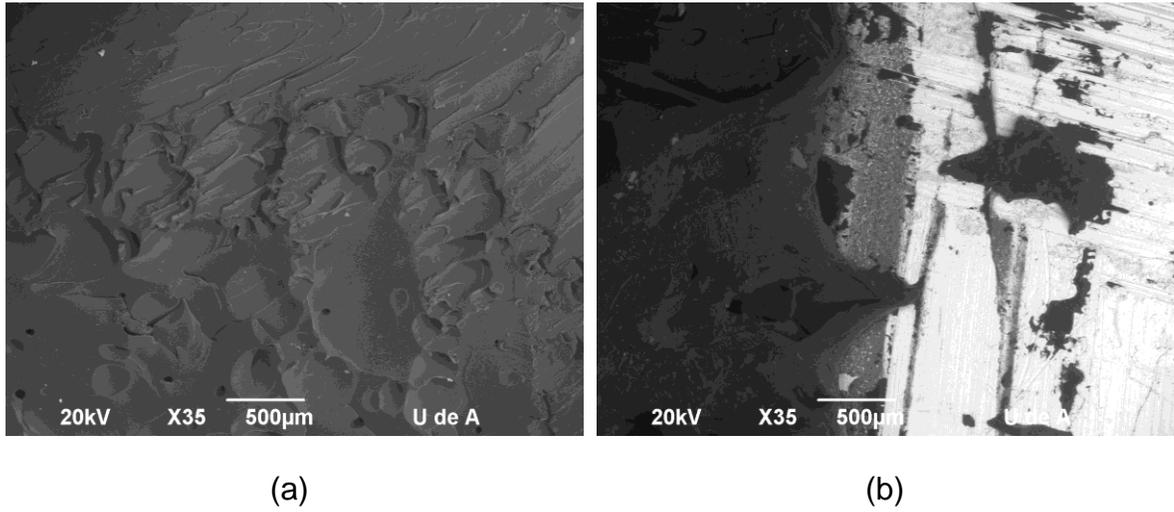
Figura 27. EDX Probeta Tipo 2, placa metálica.



- *Falla en probetas Tipo 3*

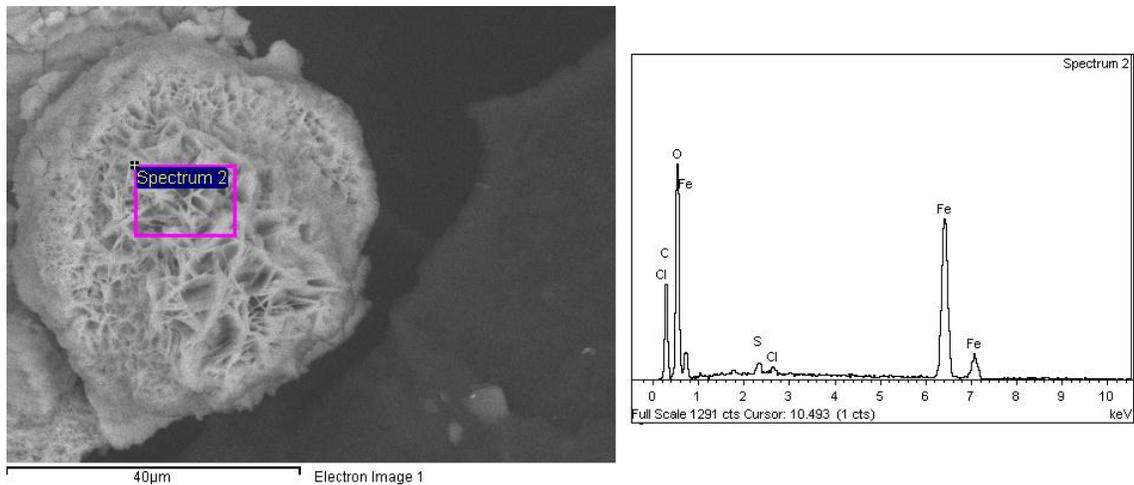
Este tipo de probetas falló de manera mixta, esto quiere decir que en unas zonas hay desgarramiento del caucho y en otras hay desprendimiento total de éste dejando al descubierto parte del metal. En el microscopio fue posible detallar las zonas de desgarre (Ver Figura 28).

Figura 28. Probeta tipo 3. a) superficie de caucho. b) superficie metálica



El lado (a) de la figura, se caracteriza por mostrar zonas de desgarre y poros en el caucho, del mismo modo se evidencia en la parte (b) de la imagen que corresponde a la lámina metálica, que en su superficie hay tanto presencia del caucho como ausencia de este; aquí, el caucho también presenta signos de desgarre. En estas observaciones hay presencia de partículas blancas que se analizaron y se encontró que corresponden también a óxidos de hierro (ver Figura 29).

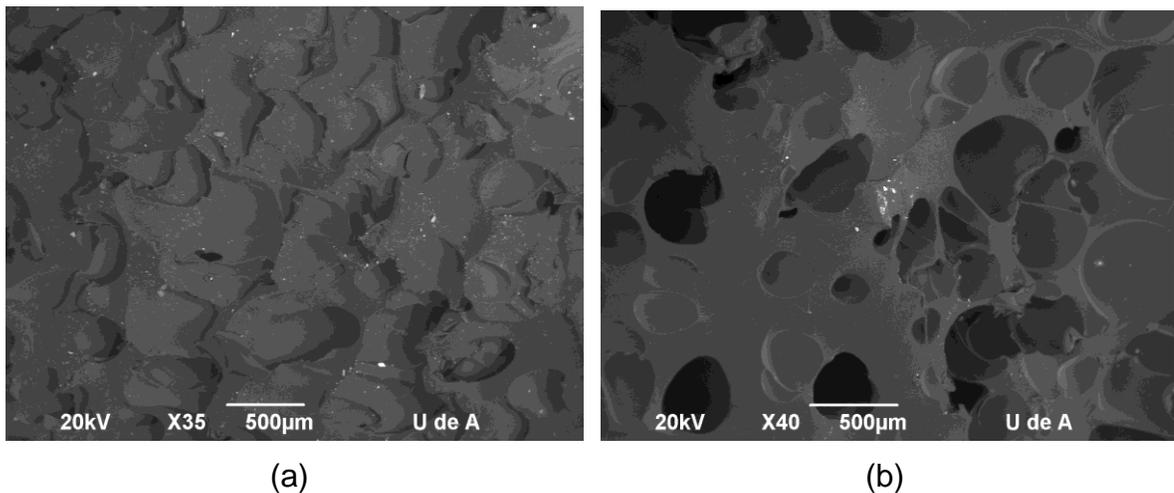
Figura 29. EDX partícula encontrada en Probeta Tipo 3.



- *Falla en probetas Tipo 4*

Visualmente esta probeta falló en el caucho. Las imágenes de SEM confirman lo anterior puesto que se muestra una superficie de caucho totalmente desgarrada (Figura 30). Cabe resaltar la presencia de poros en la superficie tanto del caucho como del metal, lo que podría contribuir a un concentrador de esfuerzos.

Figura 30. Probeta tipo 4. a) superficie de caucho. b) superficie metálica



5.5. Posibles causas de error

A continuación se enunciarán los problemas obtenidos durante la etapa experimental de este proyecto:

Por motivos de diseño del molde fue necesario hacerle modificaciones en la geometría a las placas metálicas, ya que se requería que las esquinas de éstas fueran redondeadas para que se ajustaran al molde. Adicional a esto, las láminas tenían dimensiones no especificadas que fueron corregidas con esmeril. Esta labor para muchas de las láminas metálicas consumió gran parte del tiempo destinado a la elaboración de las probetas.

En la determinación de la temperatura a la cual se debe encontrar la vulcanizadora para que logre transferir 160°C al molde y a la probeta, fue necesario mediante ensayo-error hacer mediciones de temperatura para buscar también estandarizar los tiempos de transferencia de calor. En esta parte se encontró que el tiempo que tarda la placa intermedia del molde en alcanzar la temperatura deseada era mayor, y se reconoció que las placas superiores e inferiores eran de un grosor igual al de la placa intermedia y esto hace que el tiempo de transferencia sea muy largo, por lo cual se decide cambiar las dimensiones de las dos placas a una cuarta parte de su diseño inicial; con este cambio se disminuyó el tiempo de calentamiento de la placa intermedia significativamente.

Las primeras probetas que se construyeron sirvieron como referencia para identificar situaciones y problemas que se podían presentar; inicialmente se comenzó con la determinación de la cantidad de caucho a utilizar en cada probeta, bajo ensayo-error, y ante la aparición de rebabas se determina que sea de 18,4 gramos, lo que equivale a 4 cortes de caucho de 4,6 gramos, determinar la cantidad necesitó de varios ensayos. También se identifica que las láminas de acero tenían grasa en su superficie lo que desmejora las condiciones de adhesión, por tal motivo se hizo limpieza de estas con Xilol, un químico fuerte pero que garantiza la extracción de la grasa. Adicional a esto, el contacto que se tenía con el caucho utilizado era directo, y se generaba la misma problemática en cuanto a la aparición de grasa en las probetas; en consecuencia se utilizaron guantes de goma para aislar el trato con el caucho.

Para armar las probetas fue necesario de 5 insertos que le daban su forma, cuando el molde es sacado de la maquina vulcanizadora y la probeta del molde se procede a retirar insertos de la probeta, pero esta actividad generaba retrasos y dificultades dado que el caucho se adhiere también a estos. Fue entonces necesaria la aplicación de una silicona desmoldante a las caras de los insertos que mantenían contacto cercano con el caucho.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos durante este proyecto de investigación brindan información acerca de los métodos de fabricación y ensayo de probetas para la evaluación de la adhesión entre el caucho y el metal, del comportamiento de dicha adhesión, y de las condiciones en las cuales se realizaron los ensayos, convirtiéndose en una fuente de consulta para personas o empresas que trabajen con este tipo de procesos o que deseen continuar investigaciones en este campo.

Para la etapa de preparación y fabricación de las probetas es importante destacar varias cosas. Para empezar, el manejo de los materiales debe ser de forma apropiada, ya que cualquier impureza presentada en las placas o en el caucho genera problemas en la adhesión. El adhesivo Chemlok® 250 es una sustancia altamente volátil por lo que se debe tener especial cuidado con su almacenamiento para que no se seque o se alteren sus propiedades; adicional a esto se debe verificar que su consistencia no cambie, ya que los resultados se pueden ver alterados gracias a estos cambios. Es importante que mientras la probeta está en la vulcanizadora se haga un monitoreo constante de la temperatura del molde ya que no puede bajar de 160°C, temperatura a la cual el caucho se vulcaniza.

En la etapa de ensayos se recomienda seguir las instrucciones dadas por la norma, y descritas en el numeral 4.5 Procedimientos de ensayo (ISO 1827), donde se habla de las condiciones ideales de ensayo de las probetas, incluyendo velocidad de ensayo, tiempo de acondicionamiento de las probetas previo a las pruebas y presentación de resultados.

Entre las probetas tipo 1 y tipo 2 hubo un aumento significativo en la resistencia adhesiva, sin embargo, hubo probetas que no mostraron este comportamiento

debido posiblemente a problemas con el adhesivo. El aumento en la rugosidad sí aumenta la resistencia adhesiva y eso puede comprobarse con los resultados obtenidos en las probetas tipo 2 y 4, donde el incremento es bastante notorio.

La evaluación realizada en el ensayo de tracción acerca de las interfases que más fallaron en la adhesión arroja como resultado que el mayor número de fallas presentadas en las probetas de la primera fase experimental se encuentran entre el metal y el adhesivo, lo que muestra que la adhesión para este caso no fue óptima.

Los resultados obtenidos, muestran un comportamiento acorde a lo esperado, es decir, un aumento en la resistencia entre las probetas tipo 1 y tipo 3, igualmente entre las tipo 2 y tipo 4; con lo que se concluye que el Primer es un buen complemento para este tipo de aplicaciones donde hay que usar adhesivo para contacto caucho-metal y que su eficacia fue demostrada en estos ensayos. Por otro lado, los resultados entre las probetas tipo 3 y 4 también cumplen las expectativas, por esto se concluye que la adhesión en las probetas con mayor rugosidad, es decir, las granalladas es más resistente y por consiguiente se recomienda la aplicación de dicho acabado superficial en las piezas donde deba haber adhesión entre caucho y metal.

El análisis de microscopía permitió evidenciar con mayor detalle la falla entre las interfaces de las probetas ensayadas, y además da aviso de algunos defectos que pueden presentarse al interior de la mezcla como lo es la porosidad (Figuras 27 y 29)

En el estudio microscópico de las fallas se detectó que los tipos de falla no son homogéneos a lo largo de toda la superficie ya sea del caucho o del metal, pues en varios casos se evidencian rastros menores de otros motivos de falla.

BIBLIOGRAFÍA

1. **F. Castellanos, S. Fonseca.** *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva del caucho natural y su industria en Colombia 2005-2020.* . Bogotá : s.n., 2009.
2. **J.W. McBain, D.G. Hopkins.** *J. Phys. Chem.* 1925.
3. **Voyustkii., J S.S.** *Rubber Chem. Tech.* 1937.
4. **S.S. Voyustkii, Y.I. Markin V. M. Gorchakova.** *V.E. Gul. Adhesives Age.* 1965.
5. **Landrock, A. H.** *Adhesives Technology Handbook.* Nueva Jersey : s.n., 1985.
6. **S.M. Skinner, R.L. Savage, R.E. Rutzler.** *Appl. Phys.* 1953.
7. **Schönhorn, J H.** *Adhesion: Fundamentals and Practice.* Londres : s.n., 1969.
8. **Huntsberger, J. R.** *Treatise on Adhesion and Adhesives.* Nueva York : s.n., 1967.
9. **Bikerman, J.J.** *The Science of Adhesive Joints.* Nueva York : s.n., 1968.
10. **Driver, W.E.** *Química y tecnología de los plásticos.* México : s.n., 1991.
11. **D945, ASTM.** *Rubber Properties in Compression or Shear (Mechanical Oscillograph).* EE.UU : s.n., 2006.
12. **1827, ISO.** *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of shear modulus and adhesión to rigid plates – Quadruple shear methods.* Switzerland : s.n., 2007.
13. **Juan Pablo Carvajal, Mauricio Mora.** *Caracterización de Caucho Natural.* Medellín : Proyecto de Grado, 2010.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica primer Chemlok ® 205.

Imprimador Chemlok® 205

Descripción

El Imprimador Chemlok® 205 de LORD debe usarse debajo de adhesivos de capa de recubrimiento Chemlok para unir diversos compuestos de hule vulcanizado y sin vulcanizar a metales y otros sustratos rígidos. Está formado por una mezcla de polímeros, compuestos orgánicos y rellenos minerales disueltos o dispersos en un sistema de solventes orgánicos.

Características y beneficios

Versátil: Se puede usar como Imprimador debajo de diversos adhesivos de capa de recubrimiento Chemlok como los adhesivos serie Chemlok 220, Chemlok 230, Chemlok 250 o Chemlok 6000.

Fácil de aplicar: Se aplica con facilidad mediante métodos de recubrimiento por rociado, inmersión, rollo o con brocha; es adecuado para líneas de producción existentes.

Duradero: Brinda uniones contra desgarre al hule y una resistencia excelente al medio ambiente cuando se usa junto con los adhesivos de capa de recubrimiento Chemlok.

Práctico: Sólo debe aplicarse una sola capa para unir algunos compuestos de hule de nitrilo a sustratos rígidos durante la vulcanización.

Aplicación

Preparación de la superficie: Limpie meticulosamente las superficies metálicas antes de aplicar el imprimador. Retire los aceites protectores, aceites de corte y grasas mediante un desengrasado con solvente o una limpieza alcalina. Elimine la corrosión, las incrustaciones o el óxido mediante métodos adecuados de limpieza química o mecánica.

- Limpieza química

Los tratamientos químicos se adaptan con facilidad a las líneas automatizadas de tratamiento de metales y aplicación de adhesivo. Los tratamientos químicos también se usan en piezas metálicas que se distorsionarían con limpieza por chorro de arena o donde deben mantenerse tolerancias muy estrictas. Un tratamiento químico usual para el acero es la fosfatación, mientras que para el aluminio normalmente se usan los recubrimientos de conversión.

Propiedades típicas*

Apariencia	Líquido gris
Viscosidad, cp a 25 °C (77 °F) Brookfield LVT Husillo 2, 30 rpm	85-165
Densidad	
kg/m ³	910.7-970.6
(lb/gal)	(7.6-8.1)
Contenido de sólidos por peso, %	22-26
Punto de Inflamación (Seta), °C (°F)	19 (66)
Solventes	Metil isobutilo cetona (MIBK), metilcelcetona (MEK), xileno

*Los datos son típicos y no deben utilizarse como especificaciones.

LORD
AskUsHow™

LORD: INFORMACIÓN TÉCNICA

• Limpieza mecánica

El chorro de arena para pulido es el método más ampliamente utilizado para la limpieza mecánica. Sin embargo, se puede usar maquinado, esmerinado o cepillado con cepillos de alambre. Use pulido de acero para limpiar a chorro el acero, el hierro fundido y otros metales ferrosos. Use óxido de aluminio, arena u otro pulido no ferroso para limpiar a chorro el acero inoxidable, el aluminio, el latón, el zinc y otros metales no ferrosos.

Si desea más detalles sobre la preparación de la superficie de sustratos específicos, consulte la guía de aplicación de Adhesivos Chemlok. Manipule las superficies metálicas limpias con guantes limpios para evitar la contaminación con los aceites de la piel.

Aplique el Imprimador Chemlok 205 al acero inoxidable, aluminio, latón u otros sustratos no ferrosos en un plazo menor a media hora después de la limpieza. Para sustratos ferrosos como acero, se puede tolerar un tiempo de espera más largo si no se forma corrosión.

Mezcla: Revuelva completamente el Imprimador Chemlok 205 antes de usarlo y agite lo suficiente mientras lo use para mantener los sólidos dispersos suspendidos uniformemente.

El Imprimador Chemlok 205 se usa normalmente con toda su concentración en aplicaciones de recubrimiento con brocha, inmersión y rolo. Para aplicarlo por rociado, diluya el Imprimador según una taza de viscosidad Zahn No. 2 de 18 a 20 segundos. El Imprimador Chemlok 205 se puede diluir con solventes de tipo cetona como metilacetona (MEK) y metil isobutilo cetona (MIBK) sin efectos adversos en la manipulación y la aplicación. El diluyente debe agregarse lentamente al Imprimador mientras se revuelve. Debe poner mucha atención a la agitación, pues la dilución acelerará el asentamiento. Si desea más información, consulte la guía de aplicación de Adhesivos Chemlok.

Aplicación: Aplique el Imprimador con brocha, inmersión, capa de rolo, rociado o mediante cualquier método que aplique una capa uniforme y que evite los escurrimientos o desgarros excesivos.

Por lo general, el espesor de la capa seca del Imprimador Chemlok 205 debe ser de 5.1 a 10.2 micras (0.2 a 0.4 mil). Cuando use el Imprimador Chemlok 205 sobre sustratos pulidos a chorro, al usarlo en conjunto con las capas de recubrimiento serie Chemlok 220 o cuando use el Imprimador Chemlok 205 como adhesivo de nitrilo, aplique una película seca con un espesor en el extremo superior del intervalo. Para todas las demás aplicaciones (es decir, estampado o sustratos lisos), aplique el Imprimador Chemlok 205 en el extremo inferior del intervalo de espesores de la película.

Secado/curado: Seque totalmente las piezas recubiertas con el Imprimador Chemlok 205 antes de aplicar el adhesivo de capa de recubrimiento. Esto tardará aproximadamente de 30 a 45 minutos a temperatura ambiente. Lo mejor es usar temperaturas de 65 a 93 °C (150 a 200 °F) y mucho aire de circulación; no obstante, es posible secar con aire forzado a temperaturas hasta de 149 °C (300 °F) por períodos cortos de tiempo. Los mejores resultados se obtendrán con un flujo de aire máximo a temperaturas mínimas. Después de que se hayan secado las piezas, aplique las capas de cobertura Chemlok usando métodos de aplicación similares.

Las películas secas del Imprimador Chemlok 205 no son pegajosas; por lo tanto, las piezas recubiertas se pueden apilar en bandejas para procesarlas posteriormente. Use guantes limpios cuando manipule piezas recubiertas y cubra las bandejas para impedir la contaminación de suciedad, grasa, aceite, etc. Si se protegen adecuadamente las piezas recubiertas, se pueden almacenar por lo menos un mes antes de aplicar la capa de cobertura o la unión.

LORD: INFORMACIÓN TÉCNICA

El Imprimador Chemlok 205 se puede usar para unir hule de nitrilo por compresión, transferencia, inyección u otros procedimientos de moldeo utilizados para fabricar piezas unidas, por adhesión. Como en otros adhesivos Chemlok, la adhesión máxima se obtiene cuando se ha curado totalmente el hule. Las condiciones de unión ideales son cuando el adhesivo y el hule se curan al mismo tiempo. Para lograr esto, cargue el molde con las piezas metálicas recubiertas con el adhesivo y rellene rápidamente la cavidad con el hule.

Las películas secas del Imprimador Chemlok 205 se mantienen firmes a temperaturas de moldeo. Durante operaciones de transferencia o de moldeo por inyección, el adhesivo muestra una tendencia mínima a la frotación o al barrido. Durante la carga de múltiples cavidades, el precocido comienza con las primeras piezas metálicas cargadas. Mantenga los ciclos de carga de moldes a un mínimo, para prevenir el precurado del adhesivo y del hule. No obstante, el Imprimador Chemlok 205 resistirá tiempos moderados de horneado previo sin afectar el desempeño de la unión. Los moldes de transferencia o de inyección necesitan correderas y casquillos de colada con un diseño apropiado, así como presiones adecuadas. Esto evita el precurado del hule antes de que se llenen totalmente las cavidades del molde.

Limpieza: Tan pronto como sea posible, limpie las áreas con un paño y con MEK.

Vida de anaquel/almacenamiento

La vida de anaquel es de un año a partir de la fecha de envío cuando el producto se almacena a 21 a 27 °C (70 a 80 °F) en el envase original y sin abrir.

Información preventiva

Antes de utilizar cualquier producto LORD, consulte la Hoja de datos de seguridad del material (Material Safety Data Sheet, MSDS) y la etiqueta del producto para obtener instrucciones sobre la utilización y el manejo seguros.

Sólo para uso industrial y comercial. Debe ser aplicado únicamente por personal capacitado. No utilizar en aplicaciones caseras. No es apto para uso del consumidor.

LORD: INFORMACIÓN TÉCNICA

Los valores indicados en esta hoja de datos técnicos representan valores típicos, ya que no todas las pruebas se practican en cada lote de material producido. Para obtener especificaciones formales de productos para uso final de productos específicos, comuníquese con el Centro de asistencia al cliente.

La información que se proporciona en este documento está basada en pruebas que se consideran confiables. Debido a que LORD Corporation no tiene control sobre la forma en que otras personas puedan utilizar esta información, no garantiza los resultados que se obtendrán. Además, LORD Corporation no garantiza el rendimiento del producto o los resultados obtenidos por el uso del producto o esta información en aquellos casos en que el producto haya sido reempacado por terceros, que incluyen, entre otros, al usuario final del producto. Asimismo, la empresa no otorga garantía alguna expresa o implícita de comerciabilidad o idoneidad para un fin específico con respecto a los efectos o resultados de dicho uso.

Chemlok y "Ask Us How" son marcas comerciales de LORD Corporation o de una de sus subsidiarias.

LORD aporta su valiosa experiencia en adhesivos y recubrimientos, control de vibración y movimiento y tecnologías de respuesta magnética. Nuestro personal trabaja en colaboración con los clientes para ayudarlos a aumentar el valor de sus productos. Somos innovadores y respondemos ante un mercado en constante cambio, y nos interesa especialmente ofrecer soluciones a nuestros clientes en todo el mundo. Pregúntanos cómo lo hacemos.

**Sede mundial de
LORD Corporation**
111 Lord Drive
Cary, NC 27511-7923
USA

www.lord.com

Para ver el listado de nuestras ubicaciones en todo el mundo, visite LORD.com/locations.

©2009 LORD Corporation. CD 003172M5 (Rev 1 1/09)

LORD
AskUsHow™

Anexo 2.Ficha técnica adhesivoChemlok® 250.

LORD: INFORMACIÓN TÉCNICA

Adhesivo Chemlok® 250

Descripción

El adhesivo Chemlok® 250 de LORD es un revestimiento de una capa que se usa para unir diversos elastómeros a diversos sustratos durante la vulcanización del elastómero. Está formado por una mezcla de polímeros, compuestos orgánicos y rellenos minerales disueltos o dispersos en un sistema de solventes orgánicos.

Una sola capa de adhesivo Chemlok 250 unirá compuestos con base de caucho natural (NR), polisopreno (IR), caucho de estireno-butadieno (SBR), polibutadieno (BR), policloropreno (CR), acrilonitrilo butadieno (NBR), butilo (IIR), polímeros de monómero de etileno-propileno-dieno (EPDM) y poliepicloroedrina (ECO) a diversos metales. Estos metales incluyen: acero al carbono y de aleación, acero inoxidable, aluminio, cobre y aleaciones de cobre, magnesio y cinc, así como diversos plásticos, compuestos y telas.

Características y ventajas

Práctico: Requiere solamente una capa para la mayoría de las aplicaciones, con lo cual se reducen la mano de obra, el uso de solventes, los costes de inventario y de envío.

Versátil: Une una amplia variedad de elastómeros a metales, plásticos y telas, es adecuado para las líneas de producción existentes; tolera una amplia variedad de formulaciones en inventario.

Durable: Proporciona uniones de desgarro de caucho. Proporciona una adhesión superior a metales enchapados y reduce las tasas de desperdicio.

Aplicación

Preparación de la superficie: Limpie totalmente las superficies metálicas antes de aplicar el adhesivo. Elimine aceites protectores, aceites de corte y grasas con un desengrasado con solventes o una limpieza alcalina. Elimine la corrosión, las incrustaciones o los revestimientos de óxido con métodos adecuados de limpieza mecánica o química.

• Limpieza química

Los tratamientos químicos se adaptan con facilidad a las líneas de tratamiento automatizado de metales y de aplicación de adhesivos. Los tratamientos químicos también se usan en piezas metálicas que serían distorsionadas por la limpieza a chorro o donde se deben mantener tolerancias estrictas. Un tratamiento químico usado habitualmente para el acero es la fosfatación, mientras que para el aluminio se usan habitualmente los revestimientos de conversión.

• Limpieza mecánica

El granallado es el método más ampliamente utilizado para realizar limpieza mecánica. No obstante, se puede usar maquinado, esmerilado o cepillado con cepillos de alambre. Use granalla

Propiedades características*

Aspecto	Líquido color negro
Viscosidad, cp a 25 °C (77 °F) Brookfield LVT Husillo 2, 30 rpm	200-550
Densidad kg/m ³ (lb/gal)	1114,4-1162,3 (9,3-9,7)
Contenido de sólidos por peso, %	23,5-27,5
Punto de inflamación (Pensky-Martens), °C (°F)	33 (92)
Solventes	Xileno, tricloroetileno

*Los datos son característicos y no deben utilizarse como especificaciones.

LORD
AskUsHow™

LORD: INFORMACIÓN TÉCNICA

de acero para limpiar la superficie del acero, el hierro forjado y otros metales ferrosos. Use óxido de aluminio, arena u otro pulido no ferroso para limpiar a chorro acero inoxidable, aluminio, latón, cinc y otros metales no ferrosos.

Si desea detalles adicionales sobre cómo preparar la superficie de sustratos específicos, consulte la guía de aplicación de los adhesivos Chemlok. Maneje las superficies metálicas limpias con guantes limpios, para evitar la contaminación con los aceites de la piel.

Aplique el adhesivo Chemlok 250 al acero inoxidable, aluminio, latón y otros sustratos no ferrosos dentro de la media hora siguiente a la limpieza. Para los sustratos ferrosos como el acero, se puede tolerar un tiempo de espera más prolongado si no se forma corrosión.

Mezclado: Mezcle completamente el adhesivo Chemlok 250 antes de usarlo, y agítelo lo suficiente mientras lo usa para mantener los sólidos dispersos suspendidos de manera uniforme. De ser necesario, la dilución adecuada para los diversos métodos de aplicación se obtiene mejor con la experiencia. Ponga mucha atención a la agitación, pues la dilución acelerará la sedimentación.

Aplicación: Aplique el adhesivo Chemlok 250 mediante el método de rociado, inmersión, cepillado, revestimiento con rodillo o con cualquier método que dé como resultado un revestimiento uniforme y evite goteos o desgarros excesivos.

Cuando se usa el adhesivo Chemlok 250 como adhesivo de una capa, el espesor de la película seca debe ser de 17,8-30,5 micrones (0,7-1,2 mil.). Cuando se usa como capa de revestimiento sobre una imprimación, el espesor de la película seca del adhesivo Chemlok 250 debe ser de 15,2-20,3 micrones (0,6-0,8 mil.).

- **Cepillado**
Aplique la concentración total. Las mejores uniones se van a obtener con una cobertura uniforme y completa de la superficie.
- **Inmersión**
Diluya el adhesivo con 10 a 25% de xileno o tolueno por volumen, en una taza de viscosidad Zahn No. 2 de 30-48 segundos. La retirada adecuada ayudará a reducir los desgarros y los goteos en los bordes.

- **Revestimiento por rodillo**

Aplique la concentración total. Para obtener mejores resultados, aplique de manera uniforme a las superficies.

- **Rociado**

Diluya el adhesivo Chemlok 250 con 25 a 50% de xileno o tolueno por volumen, en una taza de viscosidad Zahn No. 2 de 21-24 segundos. El adhesivo debe estar húmedo cuando llegue a la pieza metálica. Si se seca en el aire antes de llegar al metal, el resultado será descolgamiento y mala adhesión.

Para aplicaciones electrostáticas, diluya el adhesivo en una taza de viscosidad Zahn No. 2 de 30 segundos, usando metiletilcetona (MEK) de grado técnico en proporción de 4 partes de adhesivo con 1 parte de solvente.

Secado/curado: Permita que el adhesivo aplicado se seque hasta que el examen visual de la película haya mostrado que todo el solvente se ha evaporado. Esto tardará aproximadamente de 20 a 40 minutos a temperatura ambiente. El tiempo de secado se puede abreviar precalentando las piezas de inserción metálicas o secando en el horno después de la aplicación. Las piezas metálicas se pueden precalentar a una temperatura máxima de 65 °C (150 °F) antes de aplicar el adhesivo. Para las piezas recubiertas, debe usarse una temperatura moderada para el secado, pero se pueden usar temperaturas hasta de 149 °C (300 °F) por periodos de tiempo muy cortos. El flujo de aire máximo a las temperaturas mínimas dará los mejores resultados.

Las películas secas del adhesivo Chemlok 250 no son pegajosas; por lo tanto, las piezas recubiertas se pueden apilar en bandejas para un proceso subsiguiente. Use guantes limpios cuando maneje piezas recubiertas y cubra las bandejas para prevenir la contaminación por suciedad, polvo, grasa, aceite, etc. Si las piezas recubiertas se protegen adecuadamente, habitualmente los tiempos largos de espera entre la aplicación del adhesivo y la unión no tienen efectos nocivos sobre la unión. Si la humedad es elevada, el tiempo de espera se abreviará. Si el adhesivo Chemlok 250 se ha retirado por desbastado o abrasión durante el manejo, estas zonas dañadas se pueden recubrir antes de realizar la unión.

LORD: INFORMACIÓN TÉCNICA

El adhesivo Chemlok 250 se puede usar para unir caucho por compresión, transferencia, inyección u otros procedimientos de moldeo utilizados para crear piezas unidas. La adhesión máxima se obtiene cuando se ha curado totalmente el caucho. Las condiciones ideales de unión existen cuando el adhesivo y el caucho se curan al mismo tiempo. Para lograr esto, cargue las piezas metálicas recubiertas por el adhesivo en el molde y rellene rápidamente la cavidad con caucho.

Las películas secas del adhesivo Chemlok 250 se mantienen firmes a temperaturas de moldeo. Durante las operaciones de moldeo por transferencia o inyección, el adhesivo muestra una tendencia mínima al frotado o barrido.

Aunque es deseable mantener los ciclos de carga de moldes al mínimo para prevenir el precurado del adhesivo y el caucho, el adhesivo Chemlok 250 resistirá tiempos moderados de prehornado sin afectar el rendimiento de la unión. Los moldes de transferencia o inyección necesitan guías de deslizamiento y casquillos con un diseño apropiado, así como presiones adecuadas. Esto previene que el caucho se precure antes de que se rellenen totalmente las cavidades del molde.

Limpieza: Use solventes como el xileno y metilacetona (MEK) para eliminar el adhesivo antes de aplicar el calor. Una vez curado, no es posible eliminar el solvente.

Vida útil/almacenamiento

La vida útil es de un año a partir de la fecha de envío cuando se almacena en una zona bien ventilada a una temperatura comprendida entre 21 y 27 °C (70-80 °F) en el envase original sin abrir. No lo almacene ni lo use cerca del calor, chispas o llamas expuestas.

Evite una exposición excesiva a una humedad elevada. Mantenga el envase cerrado herméticamente cuando no lo use. Una vez abierto, coloque tubos desecantes al tambor de 55 galones de adhesivo. Su representante de servicio técnico de LORD le puede proporcionar información sobre los tubos desecantes.

Advertencia

Antes de utilizar este o cualquier producto LORD, consulte la Hoja de datos de seguridad de materiales (Material Safety Data Sheet, MSDS) y la etiqueta de los productos para obtener instrucciones sobre utilización y manejo seguros.

Sólo para uso industrial y comercial. De aplicación exclusiva por personal cualificado. No se debe utilizar en aplicaciones domésticas. No apto para uso del consumidor.

LORD: INFORMACIÓN TÉCNICA

Los valores indicados en esta hoja de datos técnicos representan valores típicos dado que no todas las pruebas se practican en cada lote de material producido. Para obtener especificaciones formales de uso del producto final concreto, póngase en contacto con el Centro de asistencia al cliente.

La información que se proporciona en este documento está basada en pruebas que se consideran fiables. Debido a que LORD Corporation no tiene control sobre la forma en que otras personas puedan utilizar esta información, no garantiza los resultados que se obtendrán. Además, LORD Corporation no garantiza el rendimiento del producto o los resultados obtenidos por el uso del producto o esta información en casos en que el producto haya sido envasado de nuevo por terceros, que incluyen, entre otros, al usuario final del producto. Asimismo, la empresa no proporciona garantía expresa o implícita de comerciabilidad o idoneidad para un fin específico con respecto a los efectos o resultados de dicho uso.

Chemlok y "Ask Us How" son marcas comerciales de LORD Corporation o una de sus subsidiarias.

LORD aporta su valiosa experiencia en adhesivos y revestimientos, control de vibración y movimiento, y tecnologías de respuesta magnética. Nuestro personal trabaja en colaboración con los clientes para ayudarles a incrementar el valor de sus productos. Somos innovadores y respondemos ante un mercado en constante cambio, y nos concentramos en ofrecer soluciones a nuestros clientes en todo el mundo. Pregúntanos como lo hacemos.

**Sede mundial de
LORD Corporation**
111 Lord Drive
Cary, NC 27511-7929
USA

www.lord.com

Para ver el listado de nuestras ubicaciones en todo el mundo, visite LORD.com/locations.

©2009 LORD Corporation. CD 052102CS (Rev. 1 1/09)

LORD
Ask Us How™