

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO
RECICLADO UTILIZANDO RESINA DE MORTERO DE URETANO**

**TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
QUÍMICA**

AUTORA: DAISY MARISOL FUENTES CARRERA

QUITO

2014

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO
RECICLADO UTILIZANDO RESINA DE MORTERO DE URETANO**

**AUTORA: DAISY MARISOL FUENTES CARRERA
TUTOR: ING. ANA ESTHER MACHADO CAMPOVERDE**

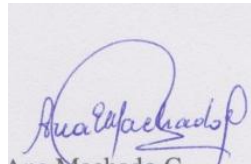
QUITO

2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

Certifico que la Tesis de Grado titulada “OBTENCIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO RECICLADO UTILIZANDO RESINA DE MORTERO DE URETANO”, es original y ha sido desarrollado por la señorita Daisy Marisol Fuentes Carrera, bajo mi dirección y conforme a todas las observaciones realizadas.

En la ciudad de Quito, a los 5 días del mes de febrero de 2014.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ana Machado C.', is centered on the page. The signature is fluid and cursive.

Ana Machado C.

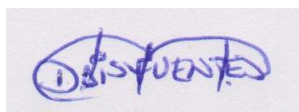
PROFESOR TUTOR

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, DAISY MARISOL FUENTES CARRERA en calidad de autor de la Tesis de Grado realizada sobre “OBTENCIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO RECICLADO UTILIZANDO RESINA DE MORTERO DE URETANO”, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 30 de enero de 2014



Daisy Marisol Fuentes Carrera

C.C. 171442781-0

daisfuen@hotmail.com

DEDICATORIA

Esta Tesis de Grado va dedicada a mis padres Vicente y Rocío quienes me han apoyado en todo momento, sobre todo en los momentos difíciles que es el instante en que más los necesitaba.

A mi esposo que me dio palabras de aliento cuando pensaba que no lo iba a lograr.

A mi hijo que es la razón de mi vida, transmitiéndome en su mirada la esperanza que tiene en mí.

A mis compañeros y amigos que me incentivaron a terminar con mi carrera.

A mi tutora por su paciencia y perseverancia al guiarme en el trabajo de investigación.

Daisy

AGRADECIMIENTOS

Primeramente me gustaría agradecer esta Tesis a Dios por darme paciencia y perseverancia para terminar el trabajo de tesis

A la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR y a la Facultad de Ingeniería Química por abrirme sus puertas y darme la oportunidad para ser una profesional.

A mi directora de Tesis, Ing. Ana Machado por su paciencia y comprensión, en todo momento transmitiéndome sus conocimientos, experiencia para la culminación de mis estudios.

Y por último quiero agradecer a mi familia que siempre me han apoyado en esta carrera.

CONTENIDO

	pág.
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 Caucho.....	3
1.1.1. <i>Definición.</i>	3
1.1.2. <i>Aditivos.</i>	3
1.1.3. <i>Tipos de caucho</i>	4
1.1.3.1. <i>Caucho natural.</i>	4
1.1.3.2. <i>Caucho sintético.</i>	5
1.1.3.3. <i>Neopreno.</i>	5
1.1.3.4. <i>Caucho isobutileno-isopreno.</i>	6
1.1.3.5. <i>Poliisopreno sintético.</i>	7
1.1.3.6. <i>Butadieno – estireno.</i>	7
1.1.3.7. <i>Polibutadieno.</i>	7
1.1.3.8. <i>Caucho etileno- propileno.</i>	8

1.1.3.9. <i>Caucho silicona</i>	8
1.1.3.10. <i>Cauchos termoplásticos</i>	9
1.1.4. <i>Propiedades del caucho natural y sintético</i>	9
1.1.5. <i>Vulcanización</i>	14
1.1.5.1. <i>Vulcanización con azufre</i>	14
1.1.5.2. <i>Vulcanización con peróxidos</i>	16
1.1.5.3. <i>Propiedades del caucho vulcanizado</i>	17
1.1.6. <i>Neumáticos usados</i>	19
1.2. <i>Poliuretanos</i>	22
1.2.1. <i>Estructura química</i>	23
1.2.2. <i>Tipos de poliuretano</i>	25
1.2.2.1. <i>Poliuretanos rígidos</i>	25
1.2.2.2. <i>Espumas de poliuretano flexibles</i>	25
1.2.2.3. <i>Espumas de poliuretano rígidas</i>	25
1.2.3. <i>Síntesis de poliuretanos</i>	27
1.2.4. <i>Propiedades</i>	28
1.2.5. <i>Aplicaciones</i>	28
1.3. <i>Reciclaje</i>	29
1.3.1. <i>Reciclado del caucho</i>	31
1.3.1.1. <i>Tipos de reciclaje</i>	32
1.4. <i>Ensayos normalizados realizados a materiales de caucho</i>	34
1.4.1. <i>Determinación de la dureza</i>	34
1.4.2. <i>Resistencia a la tracción</i>	35
1.4.3. <i>Ensayo de compresión</i>	35
1.4.4. <i>Deformación permanente por compresión</i>	35
1.4.5. <i>Ensayo de flexión</i>	35
1.4.6. <i>Ensayo de abrasión</i>	36
1.4.8. <i>Análisis termogravimétrico</i>	36
1.4.9. <i>Temperatura de transición vítrea (Calorimetría de barrido diferencial)</i>	36
1.4.10. <i>Permeabilidad al agua</i>	36

2. PARTE EXPERIMENTAL.....	37
2.1. Diseño Experimental	37
2.2. Simbología.....	40
2.3. Procedimientos	40
2.3.1. <i>Proceso de fabricación de una lámina.</i>	40
2.4. Equipos y Materiales	40
2.5. Sustancias y Reactivos	41
2.6. Datos de los ensayos.....	42
2.6.1. <i>Datos de los pesos para la selección del poliol</i>	42
2.6.2. <i>Datos de los pesos para la fabricación de láminas impermeables con butil glicol</i>	43
2.6.3. <i>Datos de prueba manuales de flexibilidad</i>	44
2.6.4. <i>Ensayos de tracción y alargamiento porcentual</i>	45
2.6.5. <i>Ensayos de impermeabilidad</i>	45
2.6.6. <i>Ensayos de densidad</i>	45
2.6.7. <i>Ensayos de desgarramiento</i>	46
2.6.8. <i>Ensayos de deformación permanente a la compresión</i>	46
2.6.9. <i>Ensayos de compresión</i>	46
2.6.10. <i>Ensayos de flexión</i>	47
2.6.11. <i>Ensayos de Dureza Shore</i>	47
2.6.12. <i>Ensayo de abrasión</i>	48
3. CÁLCULOS Y RESULTADOS	49
3.1. Cálculos	49
3.1.1. <i>Cálculo para el ensayo de la tracción</i>	49
3.1.1.1. <i>Cálculo de la fuerza de la ruptura</i>	49
3.1.1.2. <i>Cálculo del área transversal de la probeta de ensayo</i>	49
3.1.1.3. <i>Cálculo de la resistencia a la tracción</i>	50
3.1.2. <i>Cálculo del alargamiento porcentual</i>	50
3.1.2.1. <i>Cálculo de la elongación porcentual a la rotura</i>	50
3.1.3. <i>Cálculo de la impermeabilidad</i>	51
3.1.4. <i>Cálculo de la densidad promedio</i>	51

3.1.4.1. Cálculo del volumen promedio.....	51
3.1.4.2. Cálculo de densidad promedio.....	52
3.1.5. Cálculo de desgarramiento.	52
3.1.5.1. Cálculo de la fuerza de desgarre.....	52
3.1.5.2. Calculo de la resistencia a desgarre	52
3.1.6. Cálculo del porcentaje de compresión	53
3.1.7. Cálculo de la resistencia a la compresión.	53
3.1.7.1. Cálculo de la fuerza aplicada a la probeta	53
3.1.7.2. Cálculo del área transversal de la probeta	54
3.1.7.3. Cálculo del esfuerzo aplicado a la probeta.....	54
3.1.8. Cálculo de la media aritmética para el módulo de flexión aparente	54
3.1.9. Cálculo de la media aritmética para el grado de dureza shore A.	55
3.1.10. Cálculo de la pérdida de volumen en la abrasión.....	55
3.2. Resultados.....	56
3.2.1. Ensayo de tracción	56
3.2.2. Ensayo de Impermeabilidad	57
3.2.3. Ensayo de densidad	58
3.2.4. Ensayo de desgarramiento	59
3.2.5. Ensayo de deformación permanente a la compresión.....	60
3.2.6. Ensayo de flexión.....	61
3.2.7. Ensayo de dureza Shore A.....	62
3.2.8. Ensayo de abrasión	63
3.2.9. Análisis termogravimétrico (tga) para determinación de la estabilidad térmica.....	63
3.2.10. Comparación de resultados de los ensayos realizados	65
3.2.11. Análisis Estadístico de Resultados.	65
4. DISCUSIÓN.....	69
5. CONCLUSIONES.....	71
6. RECOMENDACIONES	72

CITAS BIBLIOGRÁFICAS	73
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	77

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Propiedades del caucho natural y sintético	12
Cuadro 2. Aplicaciones del caucho	18
Cuadro 3. Composición de los neumáticos de pasajeros (automóviles).....	21
Cuadro 4. Composición de los neumáticos de camiones y microbuses	21
Cuadro 5. Composición química de los neumáticos	21
Cuadro 6. Composición Química de los neumáticos usados.....	22
Cuadro 7. Propiedades físicas y químicas de algunas espumas rígida	26
Cuadro 8. Caracterización de láminas impermeables.....	41

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Datos de los pesos para la selección del poliol.....	42
Tabla 2. Datos de los pesos para la fabricación de láminas impermeables con butil	43
Tabla 3. Datos de las pruebas manuales de flexibilidad.....	44
Tabla 4. Ensayos de tracción y alargamiento porcentual	45
Tabla 5. Ensayos de impermeabilidad.....	45
Tabla 6. Ensayos de densidad.....	45
Tabla 7. Ensayos de desgarramiento	46
Tabla 8. Ensayos de deformación permanente a la compresión.....	46
Tabla 9. Ensayos de compresión	46
Tabla 10. Ensayos de flexión.....	47
Tabla 11. Ensayos de dureza Shore	47
Tabla 12. Ensayo de abrasión.....	48
Tabla 13. Resultados ensayo de tracción.....	56
Tabla 14. Resultados de ensayos de impermeabilidad	57
Tabla 15. Resultados de ensayos de densidad	58
Tabla 16. Resultados de ensayos de desgarramiento.....	59
Tabla 17. Resultados de deformación permanente a la compresión.....	60
Tabla 18. Resultados de ensayos de flexión	61
Tabla 19. Resultados de ensayos de dureza Shore A	62
Tabla 20. Resultados de abrasión	63
Tabla 21. Comparación de resultados de análisis.....	65
Tabla 22. Datos para el Análisis Estadístico	66
Tabla 23. Análisis de Varianza.....	67
Tabla 24. Resultados de ANOVA	68

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Análisis del ensayo de resistencia a la tracción.....	56
Gráfico 2. Análisis del ensayo de impermeabilidad	57
Gráfico 3. Análisis del ensayo de resistencia a la densidad	58
Gráfico 4. Análisis del ensayo de resistencia al desgarre.....	59
Gráfico 5. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión.....	60
Gráfico 6. Análisis del ensayo de flexión.....	61
Gráfico 7. Análisis del ensayo de dureza Shore A	62
Gráfico 8. Análisis del ensayo de resistencia a la abrasión	63
Gráfico 9. Termograma TGA para la muestra 35.....	64
Gráfico 10. Diagrama de desviación estándar	68

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura del caucho	3
Figura 2. Extracción del caucho natural	4
Figura 3. Síntesis del caucho natural	5
Figura 4. Caucho sintético	5
Figura 5. Síntesis del neopreno	6
Figura 6. Estructura del isobutileno-isopreno.....	7
Figura 7. Síntesis del poliisopreno	7
Figura 8. Estructura del butadieno- estireno.....	7
Figura 9. Síntesis del polibutadieno	8
Figura 10. Síntesis del etileno propileno	8
Figura 11. Estructura del caucho silicona.....	9
Figura 12. Estructura de cauchos termoplásticos	9
Figura 13. Proceso de vulcanización del caucho	14
Figura 14. Vulcanización de poliisopreno con azufre	15
Figura 15. Reacción básica de entrecruzamiento con peróxido	16
Figura 16. Estructura del caucho antes y después de la vulcanización	17
Figura 17. Proceso de fabricación de los neumáticos.....	20
Figura 18. Espuma de poliuretano	23
Figura 19. Enlace uretano	23
Figura 20. Uniones uretano en un polímero	24
Figura 21. Reacción de dialcohol con diisocianato	24
Figura 22. Reacción de diamina con diisocianato	25
Figura 23. Síntesis de poliuretano con TDI.....	27
Figura 24. Síntesis de poliuretano con MDI.....	27
Figura 25. Aplicaciones en la industria.	29

Figura 26. Cohesión del poliuretano y caucho	33
Figura 27. Proceso de adición de partículas de neumáticos usados al asfalto.....	34
Fig. 28. Selección de variables de trabajo y polioliol para la formación del poliuretano a partir de MDI.....	38
Figura 29. Factor que determina ANOVA	67

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Materias primas para elaborar láminas impermeables.....	78
ANEXO B. Proceso de elaboración de las láminas impermeables	79
ANEXO C. Ensayo de tracción	80
ANEXO D. Ensayo de desgarramiento	81
ANEXO E. Ensayo de densidad.....	82
ANEXO F. Ensayo de deformación permanente a la compresión	83
ANEXO G. Ensayo de compresión	84
ANEXO H. Ensayo de dureza	85
ANEXO K. Lámina impermeable a partir de caucho reciclado con isocianato MDI y butil	86

OBTENCIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES A PARTIR DE CAUCHO RECICLADO UTILIZANDO RESINA DE MORTERO DE URETANO

RESUMEN

Fabricación de láminas impermeables a partir de mezclas de caucho reciclado con mortero de uretano (isocianato MDI y polioliol)

Previo al estudio, se estableció el tamaño adecuado de partícula de caucho a ser utilizado ($0,275 \leq 0,360$ mm). El isocianato se mezcló con agua o un polioliol que puede ser propilenglicol o butilglicol.

Se prepararon mezclas de las partículas de caucho con mortero, variando las proporciones de caucho, agua, polioliol e isocianato; así como la velocidad de agitación y temperatura. Se preselecciona la temperatura ambiente y el rango de velocidad de agitación (10-20) rpm y con estos parámetros se procede a variar la proporción de caucho, polioliol e isocianato obteniéndose una mezcla que se coloca en recipientes adecuados mediante compresión manual dejándola secar por un día y obtener las láminas impermeables.

Las láminas fueron sometidas a pruebas de compresión, alargamiento porcentual, tracción, dureza Shore A, abrasión, densidad, flexión, desgarré, impermeabilidad, deformación permanente y análisis termogravimétrico y se definen cuales cumplen con las especificaciones técnicas.

Se concluye que las mejores condiciones de fabricación de la lámina utilizando 56% de caucho, 40% de isocianato y 4% de polioliol con una velocidad de agitación de 10 rpm

PALABRAS CLAVES: / CAUCHO / PARTÍCULAS / RECICLAJE / POLIOLIOL / ISOCIANATO MDI / POLIURETANO / LÁMINAS / IMPERMEABILIZACIÓN / NEUMÁTICOS /

OBTAINING WATERPROOF SHEETS FROM RECYCLED RUBBER USING RESIN URETHANE MORTAR

ABSTRACT

Waterproof sheets manufacture from recycled rubber compound with mortar urethane (isocyanate, MDI and polyol)

Before studio was established the appropriate size rubber particle to be used ($0,275 \leq 0,360$ mm). The isocyanate was mixed with water or a polyol that may be propylene glycol or butylene glycol.

Mixtures of rubber particles with mortar were prepared varying the proportions of rubber, water, polyol and isocyanate; and the stirring speed and temperature. Room temperature and stirring speed range (10 to 20) rpm is preselected and with these parameters proceed to varying the ratio of rubber, polyol and isocyanate whereby a mixture is placed in suitable containers by manual compression letting it dry for a day and get the waterproof sheets.

The sheets were subjected to compression tests, percent elongation, strength, Shore A hardness, abrasion, density, bending, tearing, waterproof, permanent deformation and thermal gravimetric analysis to define which meet the technical specifications.

It is concluded that the best conditions of manufacture of the sheet is 56% rubber, 40% of isocyanate and 4% polyol with agitation speed of 10 rpm

KEYWORDS: / RUBBER / PARTICLES / RECYCLING / POLIOL / ISOCYANATE
MDI / POLYURETHANE / FILMS / WATERPROOFING / TIRES /

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, cada vez son más los automóviles que circulan en nuestro país, lo que genera el aumento de neumáticos usados, actualmente se tiene aproximadamente 3,8 millones de neumáticos^[1] usados los cuales generan un impacto ambiental ya que estos tienen una vida media de 100 años, aunque este residuo no es peligroso contamina el medio ambiente debido a que los neumáticos enteros son flexibles, por su forma y tamaño son de difícil disposición final, además son refugio ideal de insectos y roedores, acumulan gases y lixiviados frecuentes en los basureros.

En Guatemala se realizó un estudio de fabricación de alfombras con hule reciclado utilizando 100 partes de hule reciclado de 4mm con cuatro partes de resina poliuretano y una parte de curativo poliuretano^[2] utilizando como propiedades para analizar la calidad de la alfombra el desarrollo de dureza, densidad, elongación, permeabilidad al agua, determinación de la estabilidad térmica.

En Puerto Rico se están fabricando 1 millón de pies cuadrados de adoquines de goma, el equivalente a 800,000 neumáticos reciclados.

En cambio en nuestro país se está utilizando el caucho reciclado para elaborar adoquines de caucho utilizados en la construcción, estos bloques han sido fabricados por la industria FACERQUIM.

Para esta investigación se partió del tema de Tesis “CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS USADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABLES” realizado por Verónica Vélez, también se aplicaron normas ASTM y NTE INEN para cauchos vulcanizados.

Teniendo el objetivo de fabricar láminas impermeables se debe investigar las proporciones de caucho, isocianato y polioliol bajo ciertas condiciones de trabajo como

velocidades de agitación bajas y temperaturas ambientales en el cual se tenga una apropiada flexibilidad, en las que se determinaron las propiedades mecánicas como dureza, impermeabilidad, dureza, compresión, tensión, abrasión.

Las láminas que tuvieron mejores características fueron: 56% de caucho, 36% de isocianato y 4% de polioliol siendo estas proporciones las que dieron mejores resultados en los análisis de ensayos mecánicos realizados.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Caucho

1.1.1. Definición. El caucho es un hidrocarburo elástico, cis -1,4-poliisopreno, polímero del isopreno o 2 metilbutadieno. C_5H_8 que se extrae de una emulsión lechosa (conocida como látex) que surge en la savia de varias plantas, pero que también puede ser producido sintéticamente. La principal fuente comercial de látex es un árbol llamado *Hevea brasiliensis*. Otras plantas que contienen látex son el ficus *euphorkingdom heartsbias* y el diente de león común. Se obtiene caucho de otras especies como *Urceola* elástica de Asia y la *Funtamia* elástica de África occidental. También se obtiene a partir del látex de *Castilla* elástica, del *Kalule patenium argentatum* y de la *Gutta-percha palaquium gutta*.

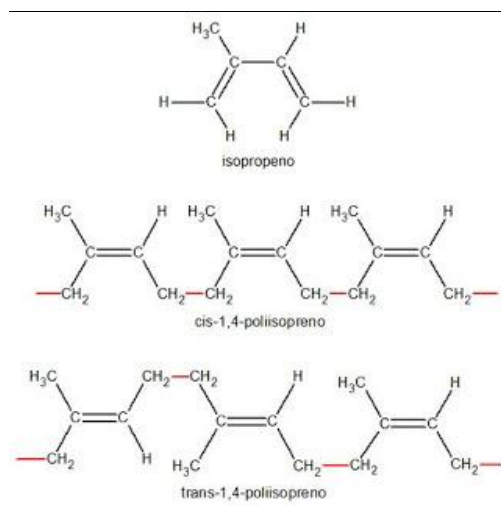


Figura 1. Estructura del caucho

1.1.2. Aditivos. El caucho bruto se mezcla con numerosas sustancias que modifican sus características. Existen sustancias aditivas que estiran el caucho pero no lo endurecen materialmente, como el carbonato de calcio y la baritina o sulfato de bario. Otros

aditivos reforzantes también se añaden para dar dureza al producto final, como el negro de humo, óxido de zinc, carbonato de magnesio y ciertas arcillas. Otras sustancias que se emplean son pigmentos, como el óxido de zinc, el litopón y muchos tintes orgánicos, y ablandadores, que se usan cuando el caucho es demasiado rígido para mezclarse con otras sustancias, como son ciertos derivados del petróleo (aceites y ceras), la brea de pino o los ácidos grasos.

1.1.3. Tipos de caucho

1.1.3.1. Caucho natural. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. En estado natural, el caucho aparece en forma de suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho^[3].



Figura 2. Extracción del caucho natural

Se obtiene del árbol por medio de un tratamiento sistemático de “sangrado”, que consiste en hacer un corte en forma de ángulo a través de la corteza profundizando hasta el cambium (capa de las plantas leñosas, situado entre la corteza y el leño).

Es un polímero dieno, es decir un polímero formado a partir de un monómero con dos enlaces dobles carbono-carbono.

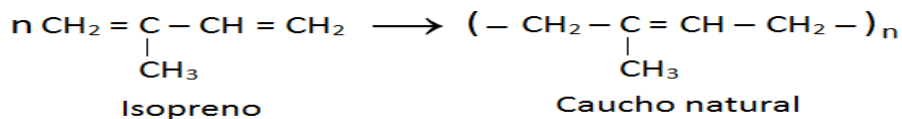


Figura 3. Síntesis del caucho natural

1.1.3.2. Caucho sintético. Es toda sustancia elaborada artificialmente que se parezca al caucho natural. Se obtiene por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Los compuestos básicos del caucho sintético llamados monómeros, tienen una masa molecular relativamente baja. Después de su fabricación, el caucho sintético se vulcaniza.



Figura 4. Caucho sintético

1.1.3.3. Neopreno. Uno de los primeros cauchos sintéticos logrado por la investigación de Carothers fue el neopreno, el polímero del monómero cloropreno, de fórmula química $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{Cl})\text{CH} = \text{CH}_2$. El neopreno es resistente al calor y a productos químicos como aceites y petróleo. Se emplea en tuberías de conducción de petróleo y como aislante para cables y maquinaria.

El cloropreno es un líquido que se parece al isopreno en cuanto a su estructura química, salvo que tiene un átomo de cloro, mientras que el isopreno tiene un grupo metilo^[4].

En el ámbito comercial, la polimerización se lleva a cabo en emulsión utilizando radicales libres.

Típicamente, la polimerización se hace a 40 grados utilizando persulfato de potasio y de amonio como iniciadores.

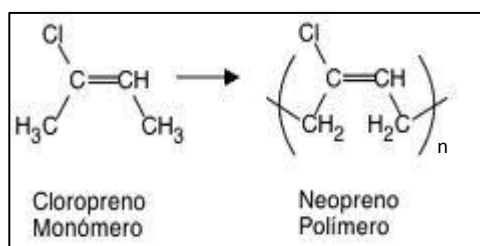


Figura 5. Síntesis del neopreno

1.1.3.4. Caucho isobutileno-isopreno. Es un plástico y puede trabajarse como el caucho natural, pero es difícil de vulcanizar. Aunque no es tan flexible como el caucho natural y otros sintéticos, es muy resistente a la oxidación y a la acción de productos corrosivos. Debido a su baja permeabilidad a los gases, se utiliza en los tubos interiores de las llantas de automóviles.

El caucho butilo es un copolímero en solución de isobutileno con una pequeña proporción (de 1 a 4 %) de isopreno. El poliisobutileno por sí mismo está totalmente saturado, y el isopreno se incluye para proporcionar los dobles enlaces necesarios para permitir su vulcanización con azufre.

Los cauchos butilo se obtienen por el método de polimerización catiónica en presencia de ácido de Lewis, como AlCl₃ y con un poco de agua que actúa como catalizador. La temperatura utilizada en la polimerización varía desde -86 grados hasta -95 grados: entre más baja sea la temperatura mayor será el peso molecular del polímero^[5].

De cada cien unidades monoméricas, aproximadamente una o dos son de isopreno. Éstos tienen enlaces dobles, lo que significa que el polímero se puede entrecruzar por vulcanización exactamente como el caucho natural.

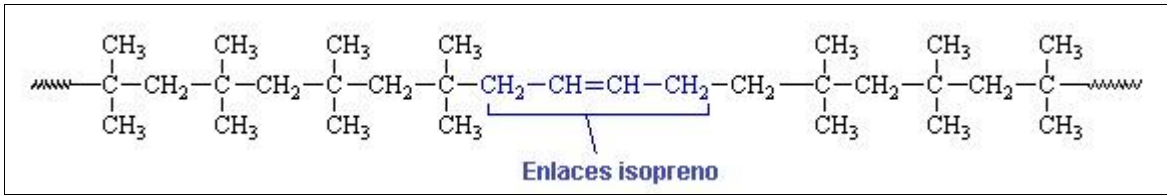


Figura 6. Estructura del isobutileno-isopreno

1.1.3.5. Poliisopreno sintético. Es un polímero dieno, es decir un polímero formado a partir de un monómero con dos enlaces dobles carbono-carbono.

El poliisopreno sintético es obtenido por el proceso de radicales libres mediante un catalizador y un mecanismo de polimerización llamado Ziegler-Natta^[6]



Figura 7. Síntesis del poliisopreno

1.1.3.6. Butadieno – estireno. Es el más importante de los elastómeros sintéticos, es un copolímero del butadieno (75%) y estireno (25%) que se produce por medio de radicales libres; compite con el caucho en el uso mayor de los elastómeros, o sea, la manufactura de neumáticos para automóviles.

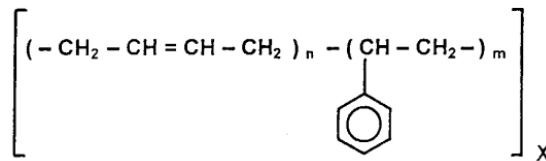


Figura 8. Estructura del butadieno- estireno

1.1.3.7. Polibutadieno. El polibutadieno es un caucho sintético, es un polímero formado a partir del proceso de polimerización del monómero 1,3-butadieno. Tiene una alta resistencia al desgaste y se utiliza especialmente en la fabricación de neumáticos, que consume alrededor del 70% del polibutadieno producido. Otro 25% se utiliza como un aditivo para mejorar la resistencia mecánica de los plásticos como el poliestireno y el acrilonitrilo-butadieno-estireno

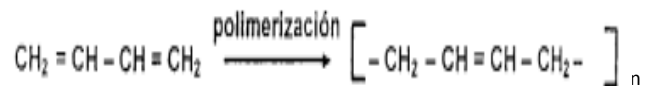


Figura 9. Síntesis del polibutadieno

1.1.3.8. Caucho etileno- propileno. Estos son copolímeros de dos hidrocarburos etileno y propileno, conteniendo al etileno del 50% al 65% en peso. Tanto el EPM como el EPDM tienen una notable resistencia a la luz solar, al ozono y al envejecimiento, junto con la capacidad de aceptar grandes cargas de aceites de extensión, sin pérdida de las propiedades físicas.

Los cauchos EP se obtienen preferentemente por el método de polimerización aniónica en suspensión, utilizando catalizadores Ziegler Natta. El peso molecular del caucho aumenta con el tiempo de reacción y también aumenta cuando disminuye la temperatura de reacción, la concentración de catalizador, la concentración de monómero así como al aumentar la relación de Etileno/Propileno.

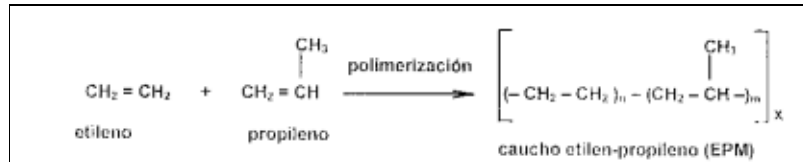


Figura 10. Síntesis del etileno propileno

1.1.3.9. Caucho silicona. Los cauchos de silicona forman un importante grupo de la familia de los polímeros con base en silicio. Estos se distinguen por tener una cadena formada por átomos alternados de silicio y oxígeno. A pesar de su alto precio, dichos polímeros tienen mucha aceptación por su buena estabilidad térmica, su constancia de propiedades de aislamiento eléctrico, su repelencia al agua y sus características anti adhesivas.

Los hules silicona pueden ser formulados ya sea en mezcladores o en molinos de rodillos: sin embargo, se pueden tener algunos problemas de operación en el molino de rodillos debido a la baja viscosidad de estos cauchos.

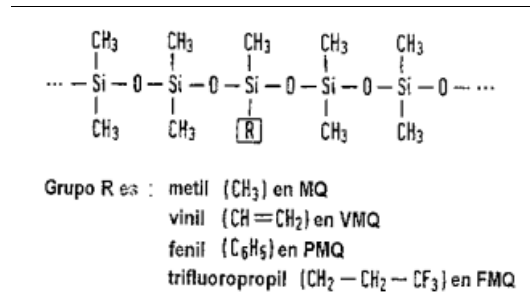


Figura 11. Estructura del caucho silicona

1.1.3.10. Cauchos termoplásticos. La idea básica de un caucho termoplástico es que debe fundirse al ser calentado y solidificarse al ser enfriado, sin que se dañen sus propiedades elásticas. Tal combinación de propiedades elastómeras y plásticas, puede obtenerse en la práctica con un tipo especial de copolímero, en el cual las unidades de monómero son enlazadas en el centro de la molécula, mientras que las unidades del otro están formando bloques en los dos extremos de la molécula. Si los monómeros son escogidos de forma que la sección en el centro de la molécula tenga propiedades similares a las del caucho, mientras que los bloques terminales en los extremos son termoplásticos el resultado será un caucho termoplástico.

Un elastómero termoplástico muy común es un copolímero en bloque el caucho SBS. SBS es la abreviatura en inglés de estireno-butadieno-estireno, puesto que dicho copolímero está constituido por una corta cadena de poliestireno, seguida por otra larga cadena de polibutadieno y finalmente por otra corta cadena de poliestireno. Si pudiéramos extender una cadena de SBS, se vería como en la figura de abajo.

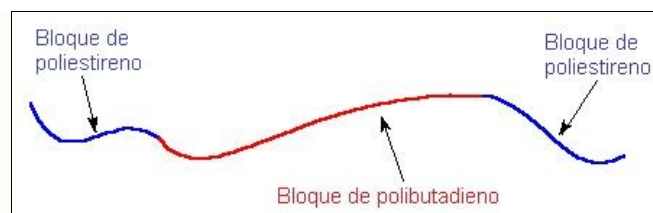


Figura 12. Estructura de cauchos termoplásticos

1.1.4. Propiedades del caucho natural y sintético. Las propiedades físicas del caucho bruto varían con la temperatura. A bajas temperaturas, se vuelve rígido, y cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa. Calentando a más de 100 °C., se ablanda y sufre alteraciones permanentes.

El caucho bruto adquiere gran deformación permanente debido a su naturaleza plástica. La plasticidad del caucho varía de un árbol a otro y también depende de la cantidad de trabajo dado al caucho desde el estado látex, de las bacterias que lo acompañan e influyen en su oxidación y de otros factores. La plasticidad puede modificarse dentro de ciertos límites por la acción de productos químicos^[7].

Las propiedades mecánicas son asociadas con la reacción a las diversas fuerzas aplicadas las cuales son:

- **Dureza Shore** que se basa en la reacción elástica del caucho cuando dejamos caer sobre él un material más duro produciendo rebote^[8].
- **Resistencia al impacto** es la medida de la dureza de un material, según la energía necesaria para romper una muestra de un solo golpe.
- **Índice de resistencia a la abrasión** es la medida de la resistencia de una pieza de caucho vulcanizado con relación a la de un estándar en las mismas condiciones^[9].
- **Adhesión** es el estado en el que dos superficies se mantienen unidas por fuerzas interfaciales^[10].
- **Alargamiento de rotura** es la extensión producida por tensión de tracción
- **Deformación permanente** es la cantidad por la cual un material elástico no retorne a su forma original después de la deformación.
- **Deformación por compresión** es la deformación residual del material después de la eliminación de la tensión de compresión.
- **Envejecimiento térmico** Consiste en hacer envejecer aceleradamente en aire u en oxígeno a temperaturas elevadas durante períodos de tiempo específicos. El deterioro se observa en general como un cambio de las propiedades originalmente medidas.
- **Resistencia al envejecimiento** es la resistencia al deterioro por el oxígeno, el calor, la luz, y el ozono o combinaciones de los mismos durante el almacenamiento o uso.
- **Elasticidad** es la propiedad de la materia en la cual se tiende a volver a su tamaño y forma original después de la eliminación de la tensión que causó la deformación.

- **Flexibilidad** es la capacidad de un producto a ser flexionado, doblado sin pérdida de su utilidad.
- **Resistencia a la tensión** es el esfuerzo de tensión máxima aplicada durante el estiramiento hasta la ruptura.
- **Resiliencia** es la energía de deformación (por unidad de volumen) que puede ser recuperada de un cuerpo deformado cuando cesa el esfuerzo que causa la deformación.
- **Resistencia eléctrica** es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado.
- **Resistencia al desgarramiento** del caucho es la fuerza necesaria para desgarrar una pieza de caucho bajo condiciones específicas.
- **Rigidez** es la temperatura a la cual un elemento puede soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

Cuadro 1. Propiedades del caucho natural y sintético

		Caucho Natural	Butadieno	Nitrilo	Cloropreno	
		Poliisopreno	Estireno	Butadieno	Neoprene	
Propiedades Generales	Adhesión a Metales	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	
	Adhesión a Tejidos	Excelente	Buena	Buena	Excelente	
	Rango de Temperatura de Trabajo (°C)	-20 a 80 °C	-10 a 80 °C	-35 a 130 °C	-10 a 100 °C	
Propiedades Físicas	Generales	Rango de Dureza (Sh)	40 a 85 ShA	40 a 90 ShA	40 a 90 ShA	40 a 90 ShA
		Resistencia a la Tracción Máx. (kg./cm ²)	300	220	250	250
		Alargamiento de Rotura Máx. (%)	650	600	650	600
		Deformación Permanente por Compresión	Excelente	Buena	Buena	Buena
		Resiliencia	Excelente	Buena	Buena	Excelente

Continuación cuadro 1

	Mecánicas	Resistencia a la Abrasión	Buena	Buena-Excelen	Buena	Buena-Excelen
		Resistencia a la Flexión	Buena-Excelen	Buena	Buena	Buena-Excelen
		Resistencia al Desgarre	Excelente	Pobre	Buena-Excelen	Buena
		Resistencia al Impacto	Excelente	Excelente	Pobre	Buena
		Envejecimiento a 100° C	Pobre-Buena	Buena	Buena	Buena-Excelen
		Elasticidad a 100° C	Buena	Buena	Buena	Buena
		Resistencia a la Llama	No Usar	Casos Especiales	Casos Especiales	Excelente
Resistencia		Oxígeno	Buena	Pobre	Buena	Excelente
		Ozono	No Usar	No Usar	Pobre	Buena
		Agua y Luz Solar	Casos Especiales	Casos Especiales	Casos Especiales	Buena-Excelente
		Agua / Vapor	Excelen/ Buena	Buena/Pobre	Buena/Pobre	Buena
	Químicas	Álcalis Diluidos / Concentrados	Excelen/ Pobre	Pobre/Buena	Buena/Buena	Excelente
		Ácidos Diluidos / Concentrados	Excelen/ Pobre	Pobre/Pobre	Buena	Excelente
		Hidrocarburos Alifáticos	No Usar	No Usar	Excelente	Pobre
	Hidrocarburos Aromáticos	No Usar	No Usar	Buena-Excelente	Buena	

1.1.5. Vulcanización. Los agentes vulcanizantes son sustancias que llevan a cabo el proceso de vulcanización (también llamado proceso de curado, entrecruzamiento, o gesticulación). Los más importantes agentes son azufre, donadores de azufre, peróxidos y algunos óxidos metálicos^[11].

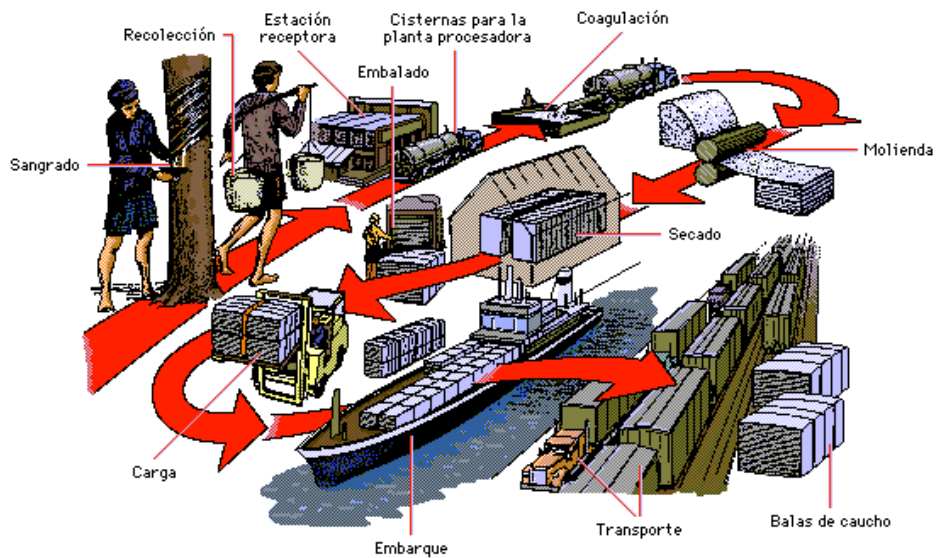


Figura 13. Proceso de vulcanización del caucho

Los aceleradores de la vulcanización juegan un papel importante debido a que por ejemplo el caucho natural solo con azufre requiere de tiempos largos y temperaturas altas para su vulcanización además que las propiedades de los compuestos vulcanizados no son las mejores que se pudieran obtener. Los aceleradores de vulcanización se clasifican de acuerdo al grupo químico al que pertenecen en:

- Ditiocarbamatos
- Xantatos
- Tiuramios
- Tiazoles
- Amino aldehidos
- Aceleradores básicos

1.1.5.1. Vulcanización con azufre. Los métodos más comunes de vulcanización dependen del azufre.

El azufre, por sí mismo, es un agente de vulcanización lento y no vulcaniza poliolefinas sintéticas. Incluso con caucho natural, grandes cantidades de azufre, así como altas temperaturas y largos períodos de calentamiento son necesarios y se obtiene una eficiencia de entrecruzamiento insatisfactorio con propiedades de resistencia y de envejecimiento insuficiente. Sólo con acelerantes de vulcanización se puede lograr la calidad adecuada. La multiplicidad de los efectos de vulcanización demandados, no se puede lograr con un compuesto universal. Son necesarios un gran número de aditivos diversos, que comprenden el “paquete de cura” o sistema de vulcanización.

- Azufre solo
- Azufre convencional y aceleradores
- Baja cantidad de azufre y aceleradores
- Sistema donador de azufre

El paquete de cura, en un compuesto de goma típico, consiste en azufre junto con una variedad de compuestos que modifican la cinética de reticulación y estabilizan el producto final. Estos aditivos incluyen aceleradores, activadores, como el óxido de zinc y el ácido esteárico (para solubilizar el óxido metálico) y antidegradantes.

Los aceleradores y activadores son catalizadores. Un nivel adicional de control se consigue retrasando la vulcanización, con agentes inhibidores, hasta un tiempo óptimo y con la temperatura. Los antidegradantes se utilizan para impedir la degradación del producto vulcanizado por el calor, oxígeno y ozono.

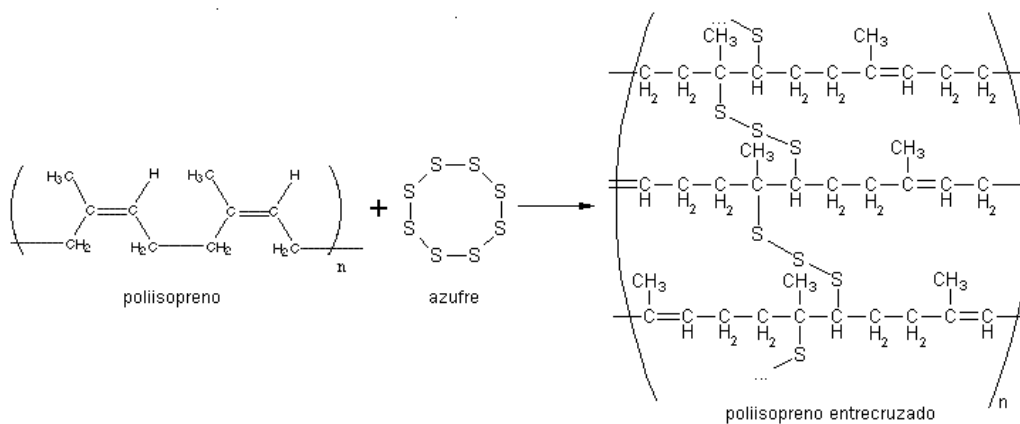


Figura 14. Vulcanización de poliisopreno con azufre.

1.1.5.2. Vulcanización con peróxidos. Los peróxidos orgánicos son utilizados en la vulcanización de varios polímeros. Presenta la ventaja de poder producir también entrecruzamientos en polímeros que no presentan dobles enlaces carbono-carbono por lo que son ampliamente utilizados en los cauchos de etileno-polipropileno (EPM). Para poder realizar un curado con azufre a los cauchos etileno-polipropileno se les adiciona un tercer monómero con insaturación (EPDM).

Los polímeros se entrecruzan con peróxidos en aplicaciones donde se demanda el mejor comportamiento frente al envejecimiento a altas temperaturas con una baja deformación remanente por compresión.

Los enlaces carbono-carbono que se forman son térmicamente más estables que los entrecruzamientos que contienen átomos de azufre, generados por vulcanización convencional en sistemas de vulcanización basados en azufre y donadores de azufre. Sin embargo, el entrecruzamiento con peróxido requiere que se preste especial atención a la selección de los ingredientes de la mezcla. Materiales como los plastificantes, los aceites, y materiales ácidos como las sílices y las arcillas floculadas restan valor a la eficacia del entrecruzamiento al competir con el polímero por los radicales libres producidos por los peróxidos. Los antioxidantes, como tales, son finalizadores del radical libre e impiden que el peróxido se entrecruce.

Entre los peróxidos utilizados se encuentran el peróxido di(2,4-diclorobenzoilo), peróxido de benzoilo, t-butil perbenzoato, peróxido de dicumilo, etc.

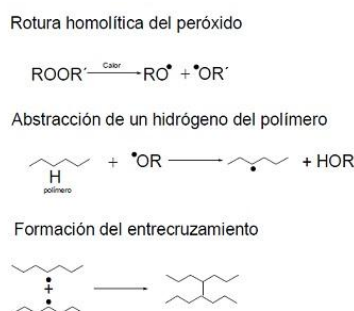


Figura 15. Reacción básica de entrecruzamiento con peróxido

1.1.5.3. Propiedades del caucho vulcanizado. La vulcanización modifica de manera más o menos considerable las propiedades de un hule. El modulo, la dureza, las propiedades elásticas y la resistencia al hinchamiento con solventes se modifican considerablemente con el grado de vulcanización.

La vulcanización forja los enlaces químicos cruzados de una cadena a otra, de forma que lo que era un enredo de cadenas separadas, se convierte en una red tridimensional unificada. La vulcanización es posible en primer lugar, porque la estructura del caucho tiene lo que se llama dobles enlaces situados a intervalos a lo largo de la cadena, en lugar de enlaces simples normales, entre átomos de carbono. La mitad de un enlace doble se puede romper para aportar un punto de enlace para el azufre, quedando la otra mitad todavía para preservar la continuidad de la cadena.



Figura 16. Estructura del caucho antes y después de la vulcanización

Tiene las siguientes propiedades:

- Alto esfuerzo de tensión sobre un amplio rango de durezas.
- Muy alta resiliencia y baja generación de calor.
- Buenas propiedades de aislamiento eléctrico.
- Buena resistencia a la abrasión, al desgarre y fatiga.
- Trabajo continuo hasta 90°C por periodos de 100 horas.
- Permanecen flexibles hasta -55°C sin adición de plastificantes.
- Son susceptibles al ataque por ozono.
- No son resistentes a los hidrocarburos.
- Pueden ser usados en un amplio rango de productos químicos (glicoles, alcoholes, agua, etc.).

Cuadro 2. Aplicaciones del caucho

TIPO	NATURALEZA	APLICACIONES
Natural	Latex	Industrias como la fotográfica, la neumática, la textil o la fabricadora de refrigeradores y anticongelantes.
SBR	Copolímeros del butadieno y del estireno	Neumáticos, pavimentos, mecánica, usos generales
Nitrilo	Copolímeros del butadieno y del acrilonitrilo	Productos resistentes al calor o a los agentes químicos.
Butilo	Copolímeros del isobutileno y del isopreno	Cámaras de aire, usos que exigen impermeabilidad de los gases
Neopreno	Polímeros del cloropreno	Productos resistentes al envejecimiento, a los hidrocarburos y a los ataques químicos.
Vinilo	Cloruro de polivinilo y alcohol	Usos generales.
Poliuretano	Poliésteres o poliéteres unidos por diisocianatos	Espuma, calzado, juntas, almohadillas, colchones.
Siliconas	Clorosilanos (obtenidos por reacción de la sílice con un cloruro de arilo o alquilo)	Juntas para altas presiones y altas temperaturas, equipos mecánicos.
Acrílicos	Derivados de la clorhidrina etilénica o del acetileno	Productos resistentes al envejecimiento o a los hidrocarburos a alta temperatura

Continuación de cuadro 2

Diversos	Poliisopreno, polibutadieno	Neumáticos, aisladores y otras aplicaciones que exigen condiciones estrictas
Polisulfuros	Productos resultantes de la reacción de dicloruros orgánicos y polisulfuros alcalinos.	Rodillos de imprenta.

1.1.6. Neumáticos usados. Aproximadamente 150 millones de neumáticos son desechados en Europa cada año^[12]. En España se generan cada año 300.000 toneladas de neumáticos usados^[13]. En Brasil se generan 320 mil toneladas de neumáticos en el 2008. Ecuador desecha anualmente alrededor de 2,4 millones de neumáticos, lo que equivale a 55.000 toneladas, del cual el 27% pertenece a la ciudad de Quito.

Los neumáticos se componen esencialmente de caucho sintético o natural, negro de carbono, óxido de zinc, acero, material textil y otros aditivos.

Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son: cauchos naturales y estireno – butadieno (SBR) o polibutadienos (BR) y polisoprenos sintéticos.

Además de caucho, los neumáticos están compuestos por:

- Rellenos reforzantes: el negro de humo, formado de partículas muy pequeñas de carbono, que aumenta la tenacidad y la resistencia a la tracción, a la torsión y al desgaste.
- Fibras reforzantes: textiles y de acero, usualmente en forma de hilos, que aportan resistencia a los neumáticos: algodón, nylon y poliéster.

La cantidad de acero y fibras sintéticas reforzantes en los neumáticos varía según el fabricante.

- Plastificantes: se adicionan para facilitar la preparación y elaboración de las mezclas, utilizándose para el control de la viscosidad. Reducen la fricción interna durante el trocesado y mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas del producto: aceites minerales (aromáticos, nafténicos y parafínicos) y de de tipo éster.
- Agentes vulcanizantes: el azufre se usa para entrecruzar las cadenas de polímero en el caucho
- Acelerantes: compuestos órgano - sulfurados, benzotiazol y derivados, óxido de zinc y ácido esteárico.
- Retardantes: N-nitroso difenil amina.
- Otros componentes (antioxidantes o antiozonizantes, adhesivos)

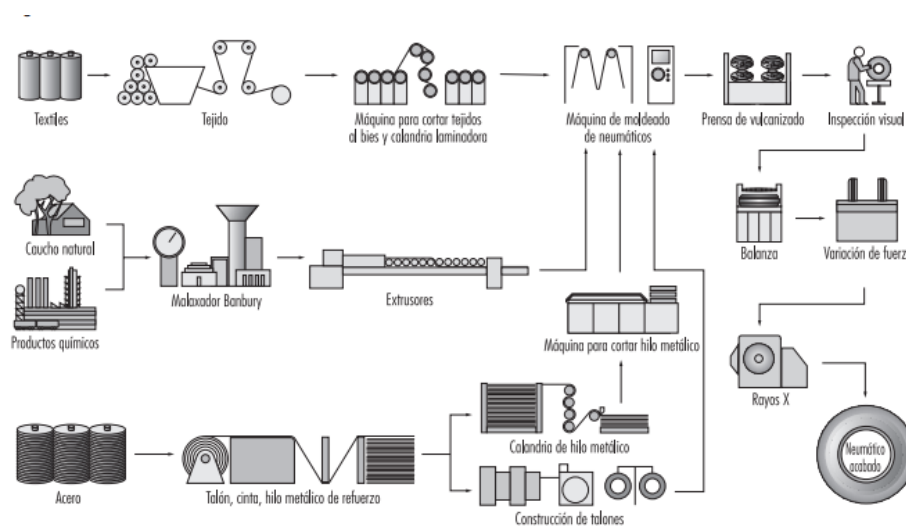


Figura 17. Proceso de fabricación de los neumáticos.

Cuadro 3. Composición de los neumáticos de pasajeros (automóviles)

Caucho natural	14 %
Caucho sintético	27%
Negro de humo	28%
Acero	14 - 15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio	8,6 kg
Volumen	0.06 m ³

Cuadro 4. Composición de los neumáticos de camiones y microbuses

Caucho natural	27 %
Caucho sintético	14%
Negro de humo	28%
Acero	14 - 15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio	45,4 kg.
Volumen	0.36 m ³

Cuadro 5. Composición química de los neumáticos

Elementos	%
Carbono	70-83
Hidrogeno	5-7,5
Azufre	1,2-1,9
Color	0,1-0,8
Nitrógeno	1,5
Oxígeno	5
Zinc	1,2-2,7
Hierro	5-18
Otros	5

Cuadro 6. Composición Química de los neumáticos usados.

Elemento/Compuesto	Contenido	Unidad
C	70	%
Fe	16	%
H	7	%
O	4	%
Oxido de Zn	1	%
S	1	%
N ₂	0,5	%
Ácido esteárico	0,3	%
Halógenos	0,1	%
Ligandos cupríferos	200	mg/kg
Cd	10	mg/kg
Cr	90	mg/kg
Ni	80	mg/kg
Pb	50	mg/kg

Según el estado del neumático después de su utilización, estos se pueden clasificar en:

- Neumáticos reutilizables
- Reencauchados (pueden ser reencauchados y las especificaciones técnicas determinantes son fijadas por las empresas especializadas.
- Neumáticos no reutilizables^[14].

1.2. Poliuretanos

Se forma a partir de la reacción química de isocianatos y alcoholes polihídricos. El poliuretano básico es formado mezclando dos líquidos, un alcohol polihídrico y un diisocianato. El entrecruzamiento es llevado a cabo con resinas epoxis con la adición de un tercer compuesto reactivo^[15].



Figura 18. Espuma de poliuretano

1.2.1. Estructura química. Los poliuretanos componen la familia más versátil de polímeros que existe. Pueden ser elastómeros y pueden ser pinturas. Pueden ser fibras y pueden ser adhesivos. Aparecen en todas partes. El nombre asignado de poliuretanos viene de que su cadena principal contiene enlaces uretano.

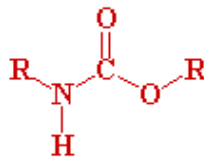


Figura 19. Enlace uretano.

Los poliuretanos forman parte de los llamados polímeros termoestables, estos se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una red tridimensional que no funde. Esto los diferencia de los polímeros termoplásticos. Además los poliuretanos polimerizan irreversiblemente con calor o presión formando una masa rígida y dura^[16].

Los poliuretanos son los polímeros mejor conocidos para hacer espumas.

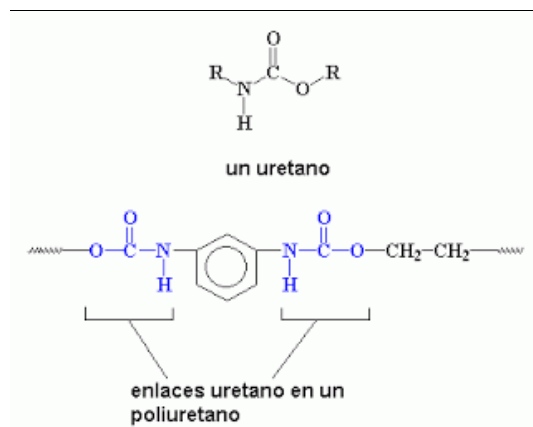


Figura 20. Uniones uretano en un polímero

Un poliuretano puede ser cualquier polímero que contenga un enlace uretano en su cadena principal.

Cuando se hace reaccionar monómeros con una funcionalidad mayor que dos, se forma un polímero termoestable. Un ejemplo de esto es la reacción de los diisocianatos con un glicerol, o con ésteres poliglicólicos.

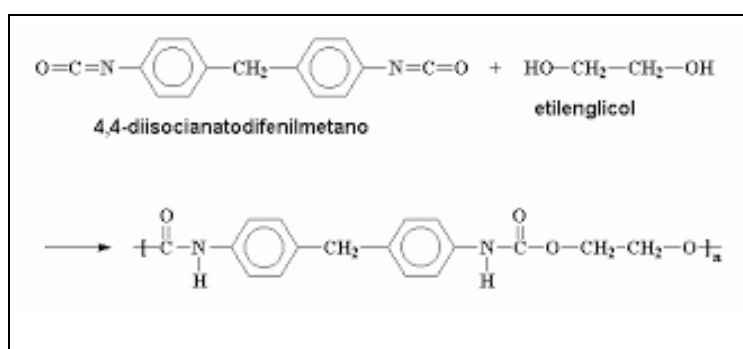


Figura 21. Reacción de dialcohol con diisocianato

A veces, el dialcohol se sustituye por una diamina y el polímero obteniendo una poliurea, porque contiene más bien un enlace urea, en lugar de un enlace uretano. Pero generalmente se los llama poliuretanos.

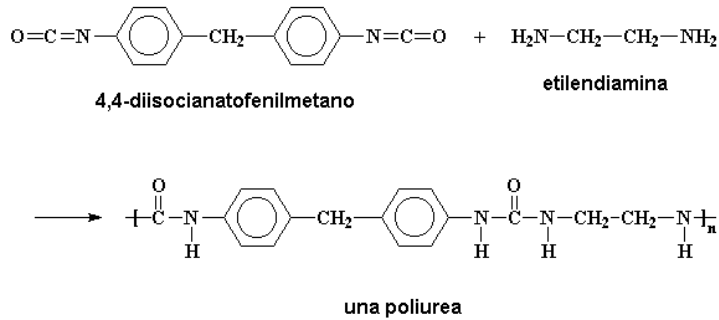


Figura 22. Reacción de diamina con diisocianato

Los poliuretanos son capaces de unirse perfectamente por enlace de puentes de hidrógeno y así pueden ser muy cristalinos. Por esta razón se utilizan a menudo para hacer copolímeros en bloque con polímeros de estructura similar al caucho. Estos copolímeros en bloque tienen características de elastómeros termoplásticos^[17].

1.2.2. Tipos de poliuretano

1.2.2.1. Poliuretanos rígidos. Los rígidos se obtienen cuando el diisocianato se hace reaccionar con poliglicoles. Son fuertes y resistentes, con buena estabilidad dimensional, altas propiedades aislantes ante electricidad y humedad.

Puede ser termoplástico o termoestable según componentes o procesos y se aplican en procesos de compresión, inyección y extrusión, se produce manijas, tiradores, películas, etc.

1.2.2.2. Espumas de poliuretano flexibles. Los poliuretanos flexibles se consiguen utilizando trioles obtenidos a partir del glicerol y del óxido de propileno. También se puede usar el óxido de etileno, aunque se prefiere el propileno porque le da mayor resistencia a la humedad. Son resilientes y aceptan su compresión y se utilizan como relleno en tapizados, colchones, etc.

1.2.2.3. Espumas de poliuretano rígidas. Son también llamados isocianatos se utilizan en estructuras que deben ser resistentes y ligeras al mismo tiempo. Las mezclas líquidas de las materias primas, conteniendo el agente hinchante, se introduce casi sin presión en moldes cerrados y acondicionados térmicamente. La mezcla en expansión forma en

las paredes del molde una zona cerrada y compacta, adquiriendo una estructura micro porosa. Teniendo propiedades de ausencia a las corrosiones, excelente estabilidad a la intemperie, aislante al calor y sonido y gran resistencia mecánica, bajo peso.

Los más utilizados en la industria son:

- Diisocianato tolueno (TDI)
- Diisocianato de di fenil metano (MDI)
- Diisocianato de hexametileno (HDI)
- Diisocianato Naftaleno (NDI)
- Diisocianato Isoforona (IPDI)

Cuadro 7. Propiedades físicas y químicas de algunas espumas rígida

Propiedades	TDI	MDI	HDI	NDI	IPDI
Fórmula	$C_9H_6N_2O_2$	$C_{15}H_{10}N_2O_2$	$C_8H_{12}N_2O_2$	$C_{12}H_6N_2O_2$	$C_{12}H_{18}N_2O_2$
CAS	584-84-9	101-68-4	822-06-0	3173-72-6	4098-71-9
Peso molecular	174.16	250.3	168.0	210.19	222.29
Punto de ebullición	251°C	314°C	212.8°C	263°C	158°C
Densidad	1.22	1.23	1.04	1.42	1.062
Presión Vapor (mm Hg)	0.05 (25°C)	0.00014 (25°C)	0.05 (24°C)	0.004 (24°C)	0.0003 (20°C)
Punto de Ignición	135°C	195°C	140°C	155°C	155°C
Solubilidad	Hidrocarburos aromáticos, nitrobenzono, acetona, éter, ésteres	Hidrocarburos, nitrobenzono, acetona, éter, ésteres	Solventes orgánicos		Hidrocarburos alifáticos y aromáticos, cetonas, éteres y ésteres

1.2.3. Síntesis de poliuretanos. Los poliuretanos se van a formar a partir de una polimerización por condensación de los dos componentes principales (dialcohol y un diisocianato).

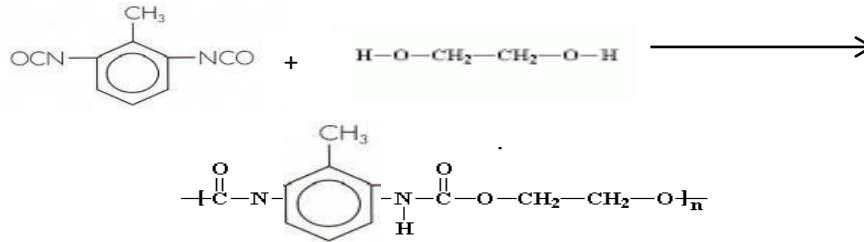


Figura 23. Síntesis de poliuretano con TDI

Se tiene un dímero de uretano que tiene un grupo alcohol en un extremo y un grupo isocianato en el otro, de modo que puede reaccionar ya sea con un dialcohol o con un diisocianato para formar un trímero. O puede reaccionar con otro dímero, o un trímero, o aún oligómeros más grandes. De esta forma, monómeros y oligómeros se combinan hasta obtener un poliuretano de alto peso molecular

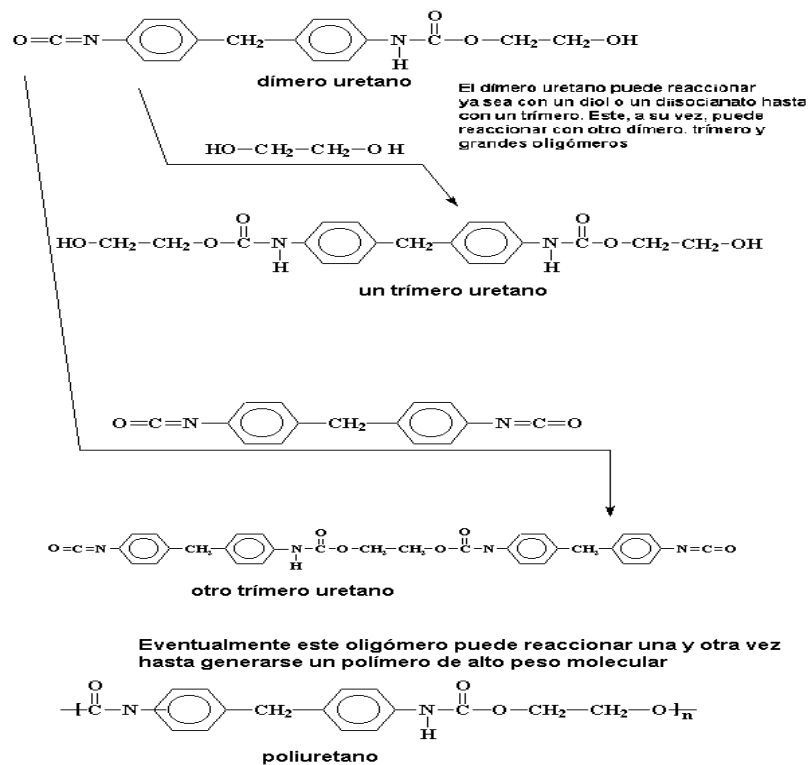


Figura 24. Síntesis de poliuretano con MDI

El dímero formado puede volver a reaccionar para formar el poliuretano. Llegados a este punto, hay que decir que no sólo reaccionan los monómeros, sino también los dímeros, trímeros y así sucesivamente. Teniendo una polimerización por crecimiento en etapas.

1.2.4. *Propiedades.* Los poliuretanos tienen las propiedades que se nombran a continuación:

- Termoestables aunque existen algunos poliuretanos termoplásticos para algunas aplicaciones especiales.
- Posee un coeficiente de transmisión de calor muy bajo, mejor que el de los aislantes tradicionales
- Su duración, debidamente protegida, es indefinida.
- Tiene una excelente adherencia a los materiales normalmente usados en la
- Tiene una alta resistencia a la absorción de agua.
- Muy buena estabilidad dimensional entre rangos de temperatura desde -200 °C a 100 °C.
- Refuerza y protege a la superficie aislada.
- Dificulta el crecimiento de hongos y bacterias.
- Tiene muy buena resistencia al ataque de ácidos, álcalis, agua dulce y salada, hidrocarburos, etc.

1.2.5. *Aplicaciones*

- La espuma rígida de poliuretano proporcionan el aislamiento más eficiente a disposición de la industria de la construcción y refrigeración. El poliuretano se combina fácilmente con los materiales de acabado superficial disponibles, ofreciendo la posibilidad de producir diferentes compuestos. Desde cámaras frigoríficas hasta generadores de energía. En la técnica de la calefacción y refrigeración los poliuretanos se usan para aislar tuberías.



Figura 25. Aplicaciones en la industria.

- La espuma flexible de poliuretano se aplica en las industrias fabricantes de asientos para coche, sillas y colchones, también se aplican para embalar equipos delicados, en artículos para hospitales, etc.
- La aplicación de espuma de poliuretano mediante spray brinda una excelente aislación térmica y anticondensante, e impermeabilización.
- Este sistema tiene especial importancia para el saneamiento y la renovación de la protección termohidrófuga de techados deteriorados, así también para edificaciones nuevas de hormigón o chapa.
- Las lacas y pinturas de poliuretano se han convertido en una garantía de durabilidad.
- Las ventajas en resistencia a la abrasión y al rayado le permiten ser usado en pisos muy transitados sin que se deteriore por tráfico continuo.
- Los aviones, equipos, maquinaria y estructuras son recubiertos con esta película para protegerlos de los cambios bruscos de temperatura, aprovechando que su proceso de catálisis es por reacción química y no por contacto con el aire
- Los poliuretanos termoplásticos son un material sumamente polifacético que ofrece una amplia gama de opciones de diseño. Su facilidad de fabricación, su durabilidad, su resistencia a la tensión y a la flexión y demás propiedades de alto rendimiento explican que sean ideales para las duras exigencias del deporte y de los productos de recreación.

1.3. Reciclaje

El reciclaje es la reutilización de aquellos elementos, que una vez utilizados, los consideramos como desechos y por tanto, su destino más inmediato sería la basura.

Sin embargo, estos desechos pueden ser reciclados y pasar a formar parte de una cadena de producción nueva (un nuevo ciclo de vida), como materia prima. Con esto, se consigue ahorrar costos (macroeconómicos) y sobre todo, al reciclar contribuimos a conservar el medio ambiente.

El reciclado es una variable más del estudio de la economía de la energía, pues está directamente relacionado con el ahorro de costos productivos, incluida la reducción de energía utilizada para la elaboración del producto final. Además el reciclaje, puede ser definido por la siguiente regla:

Las 3 “R” en el reciclaje:

- **Reducir** el volumen de potenciales residuos, buscándoles una utilidad alternativa.
- **Reutilizar** de nuevo el producto para evitar que pase a ser un residuo, ya sea para el mismo uso u otro uso diferente.
- **Reciclar** entendido como todas las actividades referidas a la recogida y tratamiento de residuos para volver a introducirlos en una actividad productiva.

El reciclaje tiene los siguientes beneficios:

- El Reciclaje protege y amplía empleos de fabricación y el aumento de la competitividad.
- Reduce la necesidad de vertederos y del proceso de incineración.
- Evita la contaminación causada por la fabricación de productos de materiales vírgenes.
- Ahorra energía.
- Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático y global.
- Ahorra en recursos naturales como son el uso de la madera, el agua y los minerales.
- Ayuda a mantener y proteger el medio ambiente para las generaciones futuras.

1.3.1. Reciclado del caucho. Uno de los problemas actuales en todas las ciudades del mundo es la contaminación generada por el abandono de neumáticos usados que no reciben un tratamiento especial. Estos están en rellenos sanitarios o en sectores de la ciudad generando contaminación y proliferación de enfermedades.

Su proceso de descomposición es muy lento y por su elevada elasticidad impide su compactación.

El caucho es un agente muy contaminante porque:

- Es un productos altamente inflamable que puede provocar incendios
- La quema de neumáticos producen gases perjudiciales para la salud generando dioxinas, mercurio, hidrocarburos poliaromáticos y metales pesados.
- La acumulación de este material en vertederos provocan focos de infección y enfermedades.

Este tipo de residuos suelen ser tratados como residuos especiales, ya que requieren de un tratamiento particular. El mayor porcentaje de neumáticos descartados corresponde a los provenientes de autos y camionetas livianas.

En España el 45% de neumáticos se deposita en vertederos controlados sin tratar, el 15% se deposita después de ser triturado y, el 40% no está controlado. Unas 100.000 toneladas son enviadas a plantas de tratamiento que los convierten en combustible y materia prima para la industria cementera.

En Brasil la forma más habitual para los neumáticos fuera de uso es como combustible alternativo en hornos de cemento (84% del reciclaje total). El restante 16% se distribuye entre suela de zapatos, ductos de pluviales, canchas de deportes, pisos industriales, piezas para la industria automovilística como alfombras de autos.

En Ecuador un porcentaje de los neumáticos son reutilizados para el reencauchado, principalmente en camiones, pero la gran mayoría es incinerada o depositada en basureros al aire libre, suponiendo una amenaza contra el medio ambiente.

1.3.1.1. Tipos de reciclaje. Existen varias formas de reciclar el caucho a continuación se nombran las más conocidas.

- **Fraccionamiento de neumáticos:** aquí se reutilizan directamente los recortes de caucho. A través de la obtención de tiras de caucho y su fundición a altas presiones se producen nuevos productos como felpudos, cintas transportadoras, etc.
- **Gasificación:** este proceso implica la inyección de cantidades controladas de oxígeno de modo de evitar la combustión. Mediante este proceso se obtiene un combustible gaseoso sintético llamado Syngas (Synthesis gas). Existe una planta en Suiza que utiliza este proceso.
- **Reencauchaje:** este es probablemente el mejor uso que se le pueda dar a los neumáticos. Este proceso consiste en ampliar la vida útil de los neumáticos realizando un dibujo nuevo sobre la cubierta gastada del neumático. Primero se inspecciona el estado de las cubiertas y del neumático en si, reparándolo en caso de ser necesario, se pule el dibujo viejo para luego aplicar el nuevo dibujo. Es común el reencauchaje en neumáticos utilizados por camiones, pero en autos livianos no presenta demasiadas ventajas ya que no hay gran diferencia en el precio de los neumáticos nuevos^[18].
- **Combustión:** tanto enteros como triturados, los neumáticos puede utilizarse para combustión por su alto poder calorífico. Un uso bastante usual es en las cementeras o industrias papeleras. Puede procesarse unicamente neumáticos o junto con otros combustibles o residuos sólidos. Por el contenido de azufre, zinc, acero y oligoelementos, las instalaciones requieren de una tecnología adecuada para controlar las emisiones atmosféricas y tener la capacidad de procesar los residuos resultantes luego de la combustión.
- **Pirólisis:** Mediante la aplicación de calor, se rompen los enlaces químicos. Es una combustión en ausencia de oxígeno. A través de este procedimiento se obtienen productos secundarios como: coque inferior, aceite y acero. El coque inferior puede utilizarse como combustible sólido o como carbón activado, el gas de aceite contiene un alto poder calorífico como para brindar los requerimientos necesarios de energía para el propio proceso de pirólisis y el acero recuperado tiene un pequeño mercado debido al grado de contaminación^[19].

- **Obtención de energía térmica:** estos materiales son empleados como combustible en centrales térmicas donde se aprovecha el calor de la combustión, ya sea como potencia calorífica o bien en obtención de energía eléctrica.
- **Reutilización.** Se reutiliza en las siguientes aplicaciones:
 - La goma, una vez triturada, cumple perfectamente para la creación de superficies como pavimento continuo para campos de juego y atletismo.
 - Como césped artificial para campos de fútbol, golf, tenis, etc.
 - El neumático, después de su correcto tratamiento en cohesión con poliuretano es usado como losetas de seguridad en parques de juegos, geriátricos, piscinas, etc.

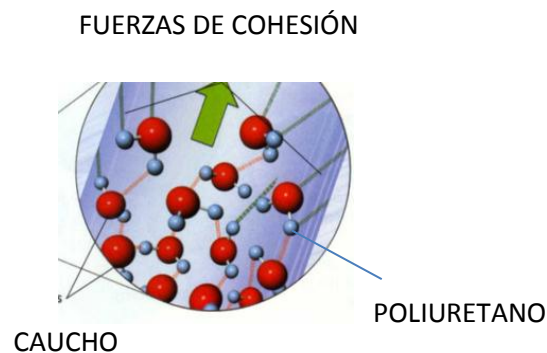


Figura 26. Cohesión del poliuretano y caucho

- El caucho regenerado, utilizado en un porcentaje, permite la creación de gomas de cualquier tipo de formulación
- El sector de la construcción es otro de los pilares en los que se apoya el reciclaje de los neumáticos, con la creación de compuestos que amortiguan los sonidos.
- Con polvo de caucho de 0,7 mm, se fabrican forros de freno de camión
- El asfalto con base de goma de neumático es uno de los hitos del reciclaje, minúsculas partículas de goma se mezclan con él para dar mejores propiedades, entre las que destaca, la adherencia y la disminución de sonoridad.
- El acero extraído de las carcasas es de gran calidad para la industria siderúrgica



Figura 27. Proceso de adición de partículas de neumáticos usados al asfalto

1.4. Ensayos normalizados realizados a materiales de caucho

1.4.1. Determinación de la dureza. En los elastómeros es una característica fundamental y está relacionada con la elasticidad del material. Usualmente y para un mismo caucho, a menor dureza más elasticidad y viceversa.

Se realiza este ensayo con un penetrador que se presiona contra el material en unas condiciones específicas. Se determina la dureza por la profundidad de la penetración o el diámetro de la huella de acuerdo con la norma a seguir.

La dureza de un material está asociada a la resistencia al rayado y la resistencia a la abrasión. Este ensayo presenta gran interés en el seguimiento de curado de una resina termofija. Existen varios procedimientos para hacer el ensayo: método de dureza por presión de bola, método Shore.

1.4.2. Resistencia a la tracción. Resulta un índice de calidad de los elastómeros, pese a que usualmente no se diseñan para este trabajo. Este ensayo permite conocer la resistencia a la tracción del material cuando se le somete a una fuerza uniaxial de estiramiento a lo largo de la probeta. Esfuerzo o tensión es el término técnico de la presión que se ejerce sobre un material. El esfuerzo de tracción origina un alargamiento y un estrechamiento del material. El aumento de longitud experimentado se denomina deformación y se mide en % de la longitud inicial. El ensayo se mide en MPa. Se realiza este ensayo según norma ASTM D412

1.4.3. Ensayo de compresión. Este ensayo determina la resistencia de un material al ser sometido a un esfuerzo monoaxial de compresión.

Consiste en comprimir una probeta a lo largo de su eje principal, a una velocidad constante hasta que rompa o hasta que la carga o la disminución de la longitud alcance un valor determinado previamente. La rotura expresada en N/mm^2 o MPa. Este ensayo se lo realiza según norma ASTM D395.

1.4.4. Deformación permanente por compresión. El caucho vulcanizado es prácticamente incompresible y su disminución en espesor es debida a su expansión lateral, expansión lateral que está condicionada por la posibilidad de deslizamiento entre las placas que ejercen la compresión; siendo distinto su comportamiento en los casos en que dichas placas están pegadas al elastómero.

Manteniendo constante un cierto espesor por compresión, el esfuerzo necesario irá disminuyendo debido a una relajación del caucho y al suprimir la fuerza de compresión la pieza de caucho recuperará de inmediato su espesor, pero siempre quedará una deformación residual o remanente. Se realiza este ensayo según norma ASTM D395

1.4.5. Ensayo de flexión. La resistencia a la flexión indica la carga que puede soportar un material sin que se rompa, cuando un esfuerzo actúa sobre el punto central del material sujetado por los extremos. Participan tanto fuerzas de tracción como de compresión. Se realiza este ensayo según norma ASTM D747.

1.4.6. Ensayo de abrasión. La abrasión es un proceso por el que la superficie de un material se desgasta por rozamiento. Este ensayo está relacionado con la dureza del material y consiste en frotar el material con un abrasivo en una lijadora de Taber y registrar la pérdida de masa originada. La muestra se monta en un disco giratorio, se aplican cargas en forma de pesas que empujan las ruedas abrasivas contra la muestra, y tras un número de ciclos determinado se detiene el ensayo.

El resultado del ensayo se cuantifica como la pérdida de masa en mg /1000 ciclos. Se realiza este ensayo según norma INEN 1924.

1.4.7. Ensayo de desgarramiento. Este método se utiliza para investigar la resistencia a la rotura de los materiales celulares poliméricos flexibles que tienen un espesor especificado. Esta prueba es para la determinación del pico de fuerza y las características de resistencia de desgarro del producto para una tasa dada de desplazamiento. Se realiza este ensayo según norma ASTM D624.

1.4.8. Analisis termogravimétrico. Se registra constantemente la masa de una muestra, colocada en una atmósfera controlada, en función de temperatura o tiempo al ir aumentando la temperatura de muestra de manera lineal con el tiempo.

1.4.9. Temperatura de transición vítrea (Calorimetría de barrido deferencial). La Calorimetría de barrido es una técnica termoanalítica en la que la diferencia de calor entre una muestra y una referencia es medida como una función de la temperatura. La muestra y la referencia son mantenidas aproximadamente a la misma temperatura a través de un experimento.

1.4.10. Permeabilidad al agua. Esta prueba pretende determinar si sufre daño al estar expuesto a lluvias o agua que se derrama sobre la muestra, se hace estar la muestra sumergida en agua durante 30 días y luego se pesa la muestra para evaluar si absorbió agua.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Diseño Experimental

Para realizar este trabajo se cuenta con el caucho reciclado comercial 1 ($0,275 \leq d \leq 0,360$ mm) y comercial 2 ($0,360 \leq d \leq 0,7225$ mm) los cuales se trataron con mortero de uretano que es un sistema poliuretánico formado por MDI (diisocianato de difenilmetano) porque este resulta ser más volátil y menos tóxico que el TDI (diisocianato tolueno) junto con un polioliol.

Se consideró en el proceso las siguientes variables: cantidad de caucho, cantidad de isocianato y de polioliol así como la temperatura de trabajo y la velocidad de agitación. Se realizaron pruebas previas para elegir el tamaño adecuado de partícula de caucho, el polioliol, la temperatura de trabajo y la velocidad de agitación.

Se realizaron mezclas con tres cantidades de caucho, para cada uno de éstas se ensayaron diferentes cantidades de polioliol y en cada caso tres diferentes velocidades de agitación a temperatura ambiente.

Se seleccionaron las láminas según la flexibilidad presentada y se las somete al análisis de: resistencia a la compresión, alargamiento porcentual, resistencia a la tracción, dureza Shore A, abrasión, densidad, flexión, desgarre, deformación permanente, permeabilidad al agua, análisis termogravimétrico y análisis de calorimetría diferencial de barrido. Estos análisis nos indicaran cuales son las condiciones apropiadas para obtener una lámina que pueda ser comercializada.

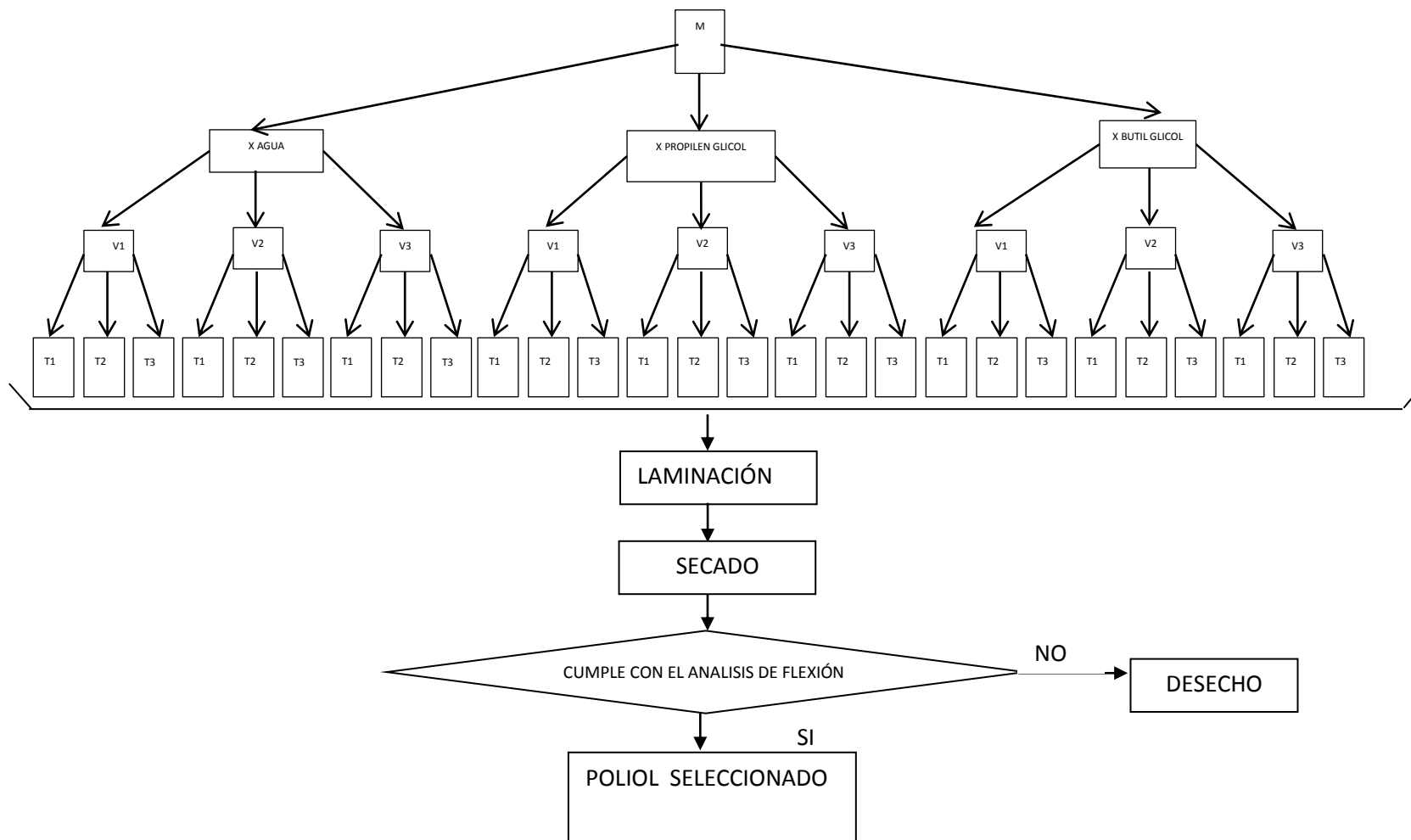


Fig. 28 Selección de variables de trabajo y polioli para la formación del poliuretano a partir de MDI

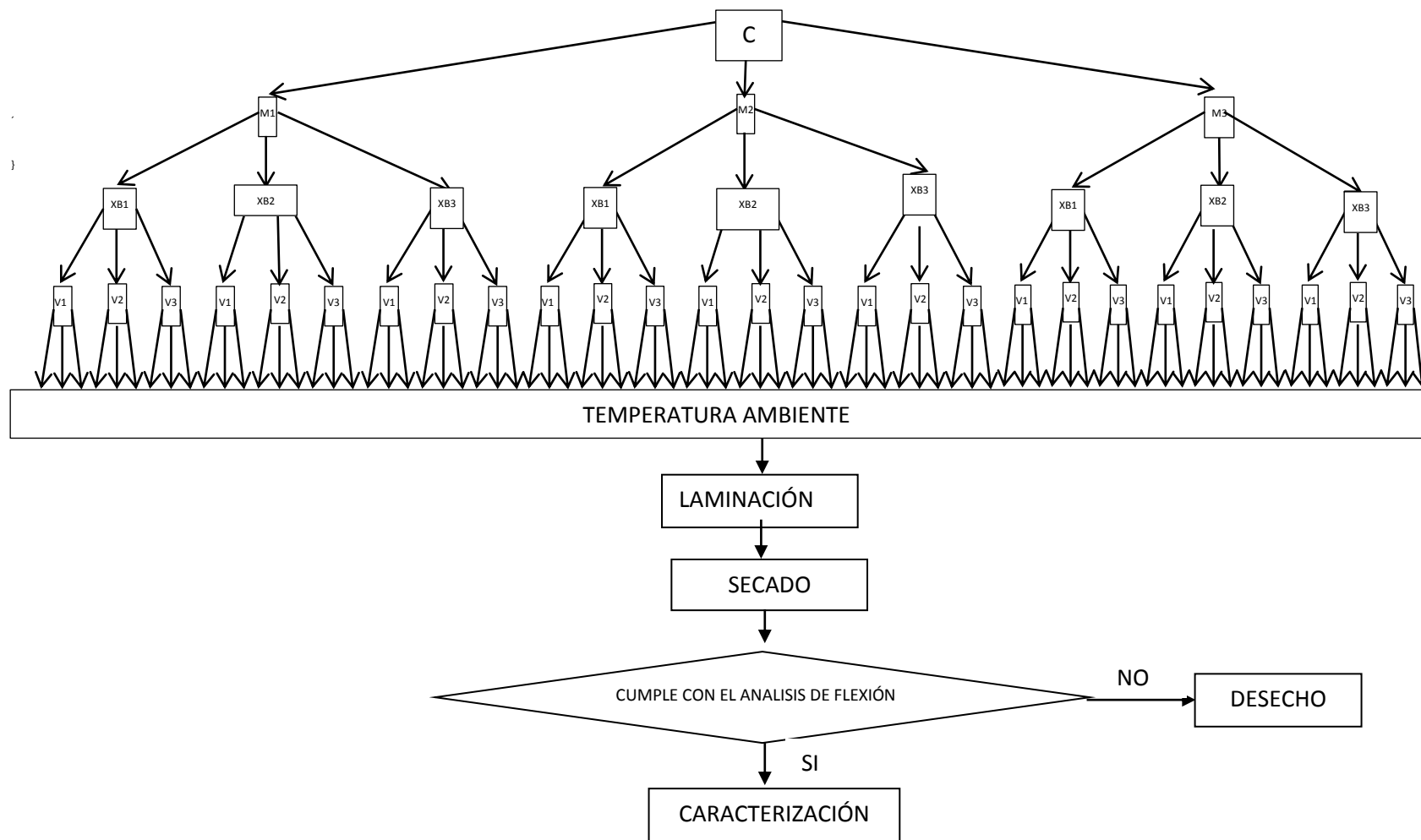


Fig. 29 Fabricación de láminas impermeables a partir de caucho reciclado

2.2. Simbología

- M = Cantidad de isocianato
- X = Cantidad de polioliol
- X_B = Cantidad de butil glicol
- C = Cantidad de caucho
- V = velocidad de agitación
- T = Temperatura

2.3. Procedimiento

2.3.1. *Proceso de fabricación de una lámina.*

- Se pesa 56 g de caucho usando una balanza analítica.
- Se coloca el caucho reciclado en un vaso de precipitación
- Se coloca 40 g de isocianato y 4g de polioliol a la muestra de caucho hasta que se homogenice, por 5 minutos aproximadamente
- Se pone la mezcla en un molde previamente forrado con láminas de teflón, se prensa hasta obtener la lámina.
- Se deja secar en el molde por 24 horas y se desmolda.
- Se realiza pruebas manuales de flexión y se descartan las láminas para proceder a realizar los análisis estandarizados.

2.4. Equipos y Materiales

- Balanza Analítica (R: 0-5000 g) ($A_p \pm 0,001$ g)
- Vaso de Precipitación (V:250 ml) ($A_p \pm 50$ ml)
- Vaso de Precipitación (V:100 ml) ($A_p \pm 10$ ml)
- Moldes de teflón (16 x 16 x 0,5 cm)
- Espátula
- Agitador (R: 0 – 50 rpm)

2.5. Sustancias y Reactivos

- Butil Glicol $C_6H_{14}O_2$
- 4,4 Diisocianato de fenil metano $C_{15}H_{10}N_2O_2$
- Muestras de partículas de Caucho comercial 1
- Agua $H_2O(l)$

Cuadro 8. Caracterización de láminas impermeables

NORMA	ENSAYO
ASTM D412	Tracción
ASTM D624	Desgarramiento
ASTM D395	Deformación permanente
ASTM D575	Compresión
ASTM D747	Flexión
ASTM D2240	Dureza shore A
ASTM D792	Densidad
INEN 1924	Abrasión
	Permeabilidad al agua
	Análisis termogravimétrico
	Calorimetría diferencial de barrido

2.6. Datos de los ensayos

2.6.1. Datos de los pesos para la selección del polioliol

Tabla 1. Datos de los pesos para la selección del polioliol

	Muestra	g caucho	g isocianato	g polioliol	P/P caucho	Velocidad de agitación rpm	Temp ° C
Sin polioliol	1	60	40		60	20	Ambiente
	2	66,6	33,3		66,6	20	Ambiente
	3	75	25		75	20	Ambiente
	4	60	40		60	40	Ambiente
	5	66,6	33,3		66,6	40	Ambiente
	6	75	25		75	40	Ambiente
	7	60	40		60	20	40
	8	66,6	33,3		66,6	20	40
	9	75	25		75	20	40
	10	60	40		60	20	15
	11	66,6	33,3		66,6	20	15
	12	75	25		75	20	15
Con agua	13	57	40	3	57	20	Ambiente
	14	63,6	33,3	3	63,6	20	Ambiente
	15	72	25	3	72	20	Ambiente
	16	57	40	3	57	40	Ambiente
	17	63,6	33,3	3	63,6	40	Ambiente
	18	72	25	3	72	40	Ambiente

Continuación de la tabla 1.

Con propilen glicol	19	57	40	3	57	20	Ambiente
	20	63,6	33,3	3	63,6	20	Ambiente
	21	72	25	3	72	20	Ambiente
	22	57	40	3	57	40	Ambiente
	23	63,6	33,3	3	63,6	40	Ambiente
	24	72	25	3	72	40	Ambiente
Con butil glicol	25	57	40	3	57	20	Ambiente
	26	63,6	33,3	3	63,6	20	Ambiente
	27	72	25	3	72	20	Ambiente
	28	57	40	3	57	40	Ambiente
	29	63,6	33,3	3	63,6	40	Ambiente
	30	72	25	3	72	40	Ambiente

2.6.1.1. Datos de pesos para fabricación de láminas impermeables con butil glicol

Tabla 2. Datos de pesos para la fabricación de láminas impermeables con butil

Muestra	g caucho	g isocianato	g butilglicol	P/P caucho	Velocidad de agitación rpm	Tem ° C
31	52	44	4	52	20	Ambiente
32	56	40	4	56	20	Ambiente
33	68	28	4	68	20	Ambiente
34	60	36	4	60	20	Ambiente
35*	56	40	4	56	10	Ambiente

Continuación de tabla 2.

36*	56	40	4	56	15	Ambiente
37*	56	40	4	56	20	Ambiente
38	56	40	4	56	25	Ambiente
39	56	40	4	56	30	Ambiente
40	56	40	4	56	35	Ambiente
41	56	40	4	56	40	Ambiente

*Muestras con mejores resultados

2.6.2. Datos de prueba manuales de flexibilidad

Tabla 3. Datos de las pruebas manuales de flexibilidad

Nº Muestra	Flexibilidad	Nº Muestra	Flexibilidad	Nº Muestra	Flexibilidad
1	Regular	15	Mala	29	Muy Buena
2	Regular	16	Mala	30	Muy Buena
3	Regular	17	Mala	31	Muy Buena
4	Muy mala	18	Mala	32	Excelente
5	Muy mala	19	Buena	33	Muy Buena
6	Muy mala	20	Buena	34	Muy Buena
7	Muy mala	21	Buena	35	Excelente
8	Muy mala	22	Buena	36	Excelente
9	Muy mala	23	Buena	37	Excelente
10	Regular	24	Buena	38	Muy Buena
11	Regular	25	Muy Buena	39	Muy Buena
12	Regular	26	Muy Buena	40	Muy Buena
13	Mala	27	Muy Buena	41	Muy Buena
14	Mala	28	Muy Buena		

Las muestras 35, 36 y 37 resultan ser las más resistentes luego de las pruebas manuales de flexibilidad, que consistieron en doblar a las láminas y observar si existía una ruptura siendo elegidas para posteriores análisis.

2.6.3. Ensayos de tracción y alargamiento porcentual

Tabla 4. Ensayos de tracción y alargamiento porcentual

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Ancho mm	Espesor mm	Carga ejercida kg	Longitud inicial mm	Longitud final mm
35	10	12,72	6,10	3,45	50	57,54
36	15	12,83	5,45	3,23		58,31
37	20	12,41	5,93	2,89		56,12

2.6.4. Ensayos de impermeabilidad

Tabla 5. Ensayos de impermeabilidad

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Masa inicial g	Masa final g	Medio
35	10	50,915	60,600	Agua
36	15	44,312	52,890	
37	20	46,576	56,765	

2.6.5. Ensayos de densidad

Tabla 6. Ensayos de densidad

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Ancho mm	Largo mm	Espesor mm	Masa g
35	10	31,57	68,05	7,06	14,2279
36	15	30,86	67,86	6,90	14,0993
37	20	31,13	68,25	6,82	14,1961

2.6.6. Ensayos de desgarramiento

Tabla 7. Ensayos de desgarramiento

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Espesor promedio mm	Carga ejercida kg
35	10	7,21	2,81
36	15	7,41	2,81
37	20	6,51	2,04

2.6.7. Ensayos de deformación permanente a la compresión

Tabla 8. Ensayos de deformación permanente a la compresión

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Espesor inicial mm	Espesor final mm
35	10	23,26	15,65
36	15	22,89	15,94
37	20	23,82	15,27

2.6.8. Ensayos de compresión

Tabla 9. Ensayos de compresión

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Espesor mm	Diámetro mm	Carga ejercida kg
35	10	7,80	24,86	31,97
36	15	6,75	27,56	29,79
37	20	8,47	26,90	32,57

2.6.9. Ensayos de flexión

Tabla 10. Ensayos de flexión

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Deflexión mm	Ángulo de giro grados	Carga N	Módulo de flexión aparente N/mm ²
35	10	2	1,91	0,8	16,16
35	10	4	3,82	0,8	14,58
36	15	2	9,55	1,7	12,39
36	15	4	11,46	1,7	10,33
37	20	2	5,73	0,8	9,72
37	20	4	7,64	0,8	7,29

2.6.10. Ensayos de Dureza Shore

Tabla 11. Ensayos de dureza Shore

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Dureza Shore A							
35	10	60	55	60	62	63	59	60	
36	15	62	60	62	57	57	62	57	
37	20	55	60	58	59	58	65	58	

2.6.11. *Ensayo de abrasión*

Tabla 12. Ensayo de abrasión

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Volumen inicial mm ³	Volumen final mm ³
35	10	2155,7	1696,6
36	15	2064,5	1437,5
37	20	2048,0	1387,8

3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1. Cálculos

3.1.1. *Cálculo para el ensayo de la tracción*

3.1.1.1. *Cálculo de la fuerza de la ruptura*

$$F = C \times g \quad (1)$$

Donde:

F = Fuerza de la ruptura (N)

C = carga ejercida en la probeta (kg)

g = gravedad = CTE $\approx 9,8 \text{ m/s}^2$

Cálculo modelo para la muestra 37

$$F = (2.89 \text{ kg}) \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 28.32 \text{ N}$$

3.1.1.2. *Cálculo del área transversal de la probeta de ensayo*

$$A_T = a \times e \quad (2)$$

Donde:

A_T = Área transversal (mm^2)

a = ancho de la probeta (mm)

e = espesor de la probeta (mm)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$A_T = (12.41 \text{ mm})(5.93 \text{ mm})$$

$$A_T = 73.59 \text{ mm}^2$$

3.1.1.3. Cálculo de la resistencia a la tracción

$$R_m = \frac{F}{A_T} \quad (3)$$

Donde:

R_m = Resistencia a la tracción (MPa)

A_T = Área transversal (mm^2)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$R_m = \frac{28.32 \text{ N}}{73.59 \text{ mm}^2}$$

$$R_m = 0.38 \text{ MPa}$$

3.1.2. Cálculo del alargamiento porcentual

3.1.2.1. Cálculo de la elongación porcentual a la rotura

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

%e = Elongación porcentual

L_0 = Longitud inicial entre marcas (mm)

L = Longitud entre marcas de la ruptura (mm)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$e = \frac{56.12 \text{ mm} - 50 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \times 100$$

$$e = 12.24 \%$$

3.1.3. Cálculo de la impermeabilidad

$$\%p = \frac{m_f - m_i}{m_i} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

%p = % permeabilidad

m_i = peso inicial de la lámina antes de sumergir en agua (g)

m_f = peso final de la lámina después de 30 días sumergida en agua (g)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$\%p = \frac{56,765 - 46,576}{46,576} \times 100$$

$$\%p = 21,88$$

$$\%imp = 100 - \%p$$

$$\%imp = 100 - 21,88$$

$$\%imp = 78,12$$

3.1.4. Cálculo de la densidad promedio

3.1.4.1. Cálculo del volumen promedio

$$V = L \cdot a \cdot e \quad (6)$$

Donde:

V volumen promedio (mm^3)

L largo promedio

a ancho promedio

e espesor promedio

Cálculo modelo para la muestra 37

$$V = (68.25 \text{ mm})(31.13 \text{ mm})(6.82 \text{ mm})$$

$$V = 14489.93 \text{ mm}^3$$

3.1.4.2. Cálculo de densidad promedio

$$\bar{d} = \frac{m}{V} \quad (7)$$

Donde:

\bar{d} densidad promedio (g/mm³)

V volumen (cm³)

m masa (g)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$\bar{d} = \frac{14.1961 \text{ g}}{14.49 \text{ cm}^3}$$
$$\bar{d} = 0.979 \text{ g/cm}^3$$

3.1.5. Cálculo de desgarramiento.

3.1.5.1. Cálculo de la fuerza de desgarre. Utilizando la ecuación 1 se tiene.

Cálculo modelo para la muestra 37

$$F = (2.04 \text{ kg}) \times 9.8 \text{ m/s}^2$$
$$F = 19.19 \text{ N}$$

3.1.5.2. Cálculo de la resistencia a desgarre

$$R_d = \frac{F}{e} \quad (8)$$

Donde:

R_d = Resistencia al desgarre (N/mm)

e = espesor (mm)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$R_d = \frac{19.99 \text{ N}}{6.51 \text{ mm}}$$
$$R_d = 3.07 \text{ N/mm}$$

3.1.6. Cálculo del porcentaje de compresión

$$\%C = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 \quad (9)$$

Donde:

Rc = porcentaje de compresión (%)

Li = espesor inicial de la probeta (mm)

Lf = espesor final de la probeta (mm)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$\%C = \frac{(23.82 - 15.57) \text{ mm}}{23.82 \text{ mm}} \times 100$$
$$\%C = 34,63\%$$

3.1.7. Cálculo de la resistencia a la compresión.

3.1.7.1. Cálculo de la fuerza aplicada a la probeta. Utilizando la ecuación 1 se tiene.

Cálculo modelo para la muestra 37

$$F = (32.57 \text{ kg}) \times 9.8 \text{ m/s}^2$$
$$F = 319.19 \text{ N}$$

3.1.7.2. Cálculo del área transversal de la probeta

$$A_T = \frac{\pi d^2}{4} \quad (10)$$

Donde:

A_T = Área transversal de la probeta (mm^2)

d = diámetro de la probeta (mm)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$A_T = \frac{\pi(26.9 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_T = 568.32 \text{ mm}^2$$

3.1.7.3. Cálculo del esfuerzo aplicado a la probeta

$$E = \frac{F}{A_T} \quad (11)$$

Donde:

E = esfuerzo aplicado a la probeta (MPa)

F = fuerza aplicada a la probeta (N)

A_T = Área transversal de la probeta (mm^2)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$E = \frac{319.19 \text{ N}}{568.32 \text{ mm}^2}$$

$$E = 0.56 \text{ MPa}$$

3.1.8. Cálculo de la media aritmética para el módulo de flexión aparente

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (12)$$

Donde:

\bar{X} media aritmética

X_i valor de las muestras

n número de muestras

Cálculo modelo para la muestra 37

$$\bar{X} = \frac{29,16 + 14,58}{2}$$

$$\bar{X} = 21,87$$

3.1.9. Cálculo de la media aritmética para el grado de dureza shore A. Utilizando la ecuación 12 se tiene.

Cálculo modelo para la muestra 37

$$\bar{X} = \frac{53 + 60 + 58 + 59 + 58 + 65 + 58}{6}$$

$$\bar{X} = 59$$

3.1.10. Cálculo de la pérdida de volumen en la abrasión

$$\Delta V = V_i - V_f \quad (13)$$

Donde:

ΔV Pérdida de volumen

V_i Volumen inicial (mm^3)

V_f Volumen final (mm^3)

Cálculo modelo para la muestra 37

$$\Delta V = (2048 - 1387.8)\text{mm}^3$$

$$\Delta V = 660.2\text{mm}^3$$

3.2. Resultados

3.2.1. Ensayo de tracción

Tabla 13. Resultados ensayo de tracción

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Fuerza de ruptura N	Área promedio Mm	Resistencia a la tracción MPa	% elongación
35	10	33,81	77,59	33,81	15,08
36	15	31,65	69,92	31,65	16,62
37	20	28,32	73,59	28,32	12,24

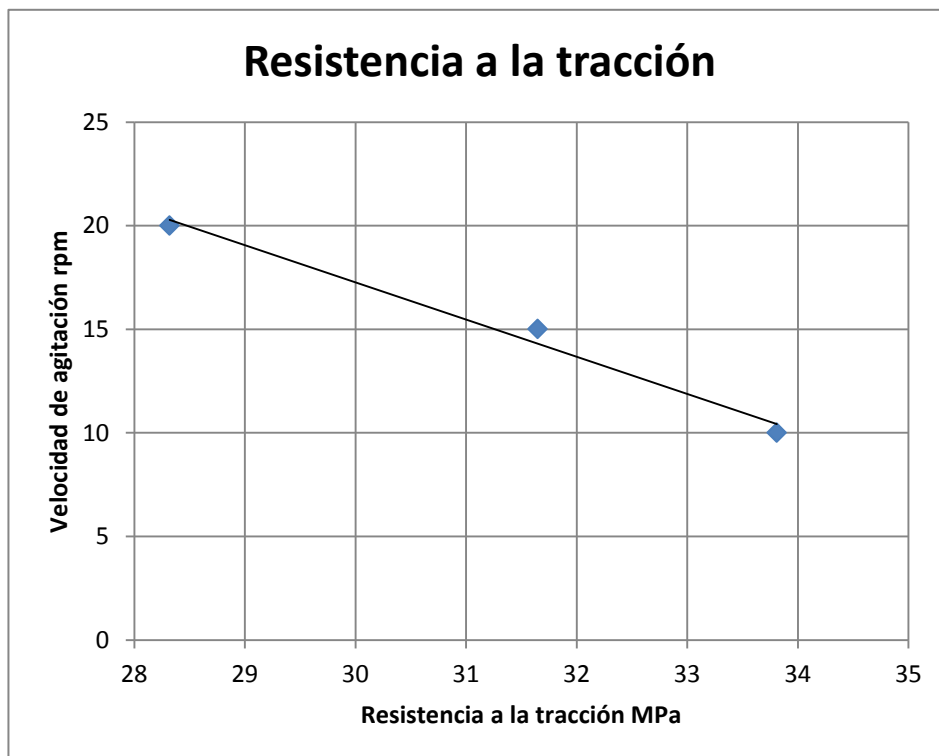


Gráfico 1. Análisis del ensayo de resistencia a la tracción

3.2.2. Ensayo de Impermeabilidad

Tabla 14. Resultados de ensayos de impermeabilidad

Muestra	Velocidad de agitación rpm	% impermeabilidad
35	10	80,98
36	15	80,64
37	20	78,12

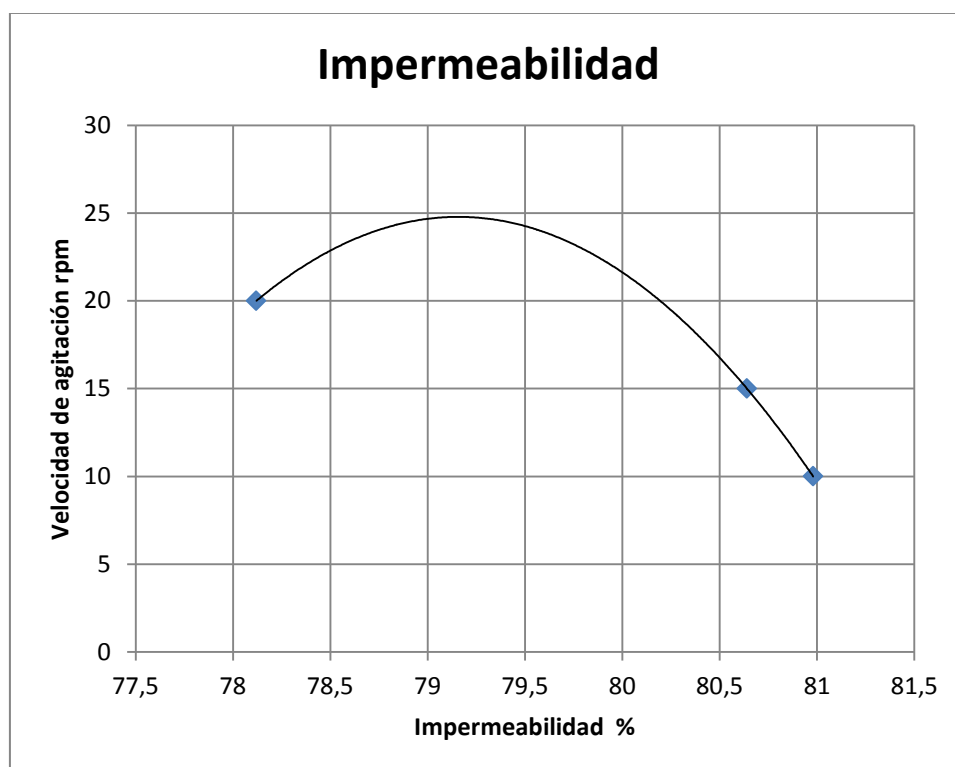


Gráfico 2. Análisis del ensayo de impermeabilidad

3.2.3. Ensayo de densidad

Tabla 15. Resultados de ensayos de densidad

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Volumen promedio mm ³	Densidad promedio g/cm ³
35	10	15167,27	0,938
36	15	14449,70	0,976
37	20	14489,93	0,980

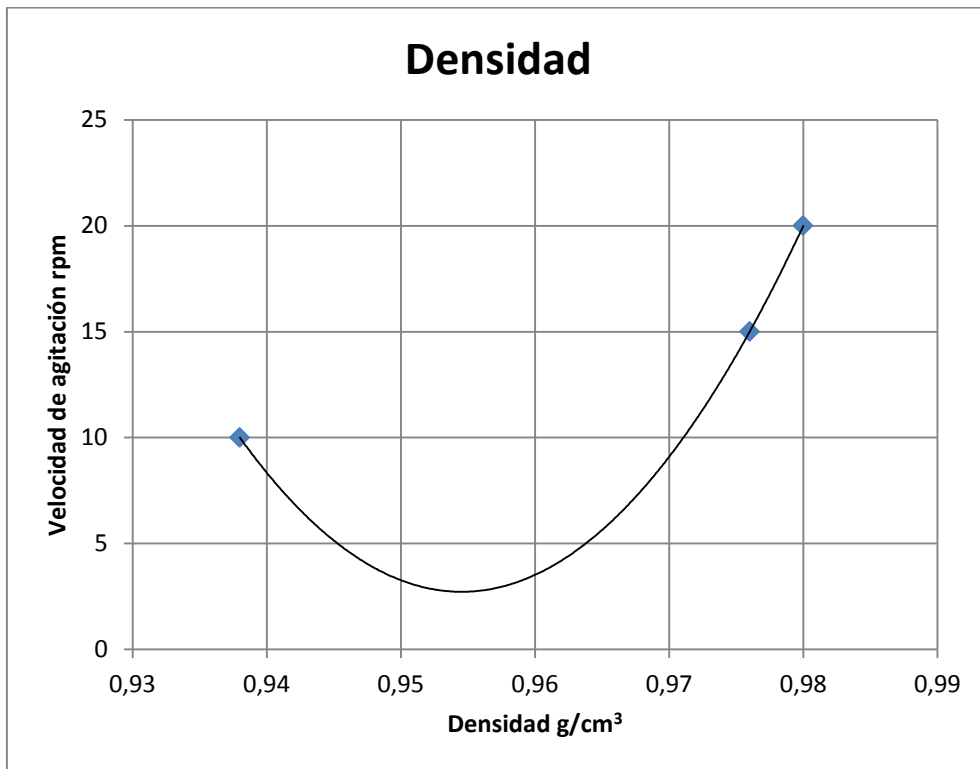


Gráfico 3. Análisis del ensayo de resistencia a la densidad

3.2.4. Ensayo de desgarramiento

Tabla 16. Resultados de ensayos de desgarramiento

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Fuerza N	Resistencia al desgarre MPa
35	10	27,54	3,82
36	15	27,54	3,72
37	20	19,99	3,07

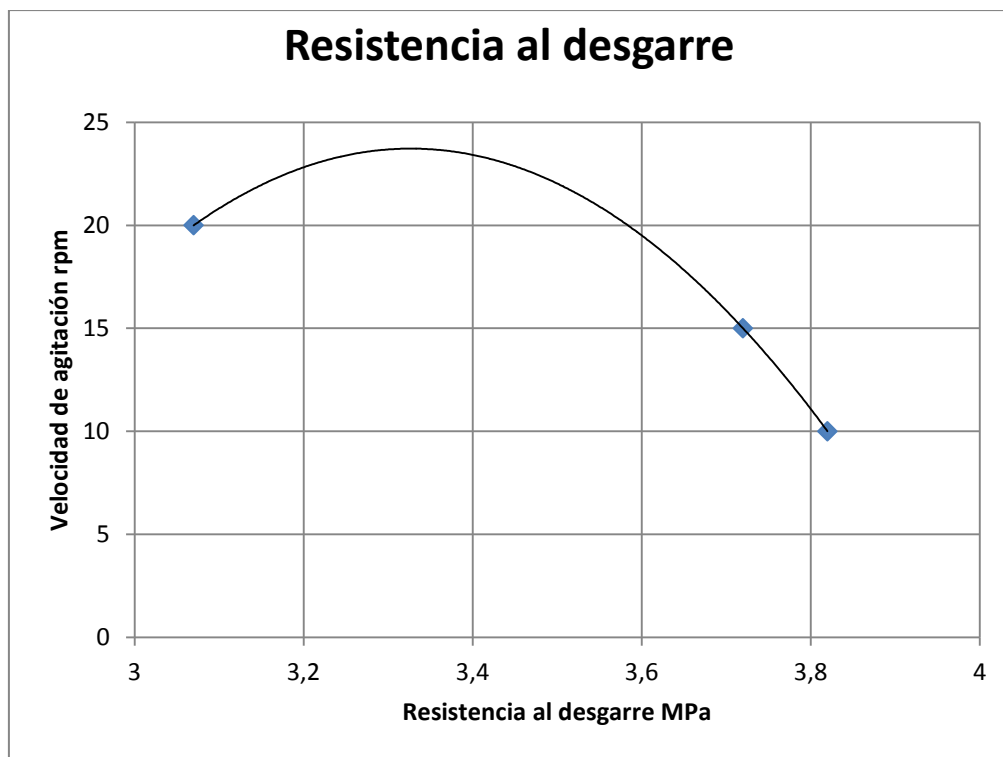


Gráfico 4. Análisis del ensayo de resistencia al desgarre

3.2.5. Ensayo de deformación permanente a la compresión

Tabla 17. Resultados de deformación permanente a la compresión

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Fuerza de ruptura N	Área promedio mm	Resistencia a la compresión MPa	%compresión
35	10	313,306	485,15	0,65	32,72
36	15	319,186	568,03	0,56	35,89
37	20	291,942	596,25	0,49	30,36

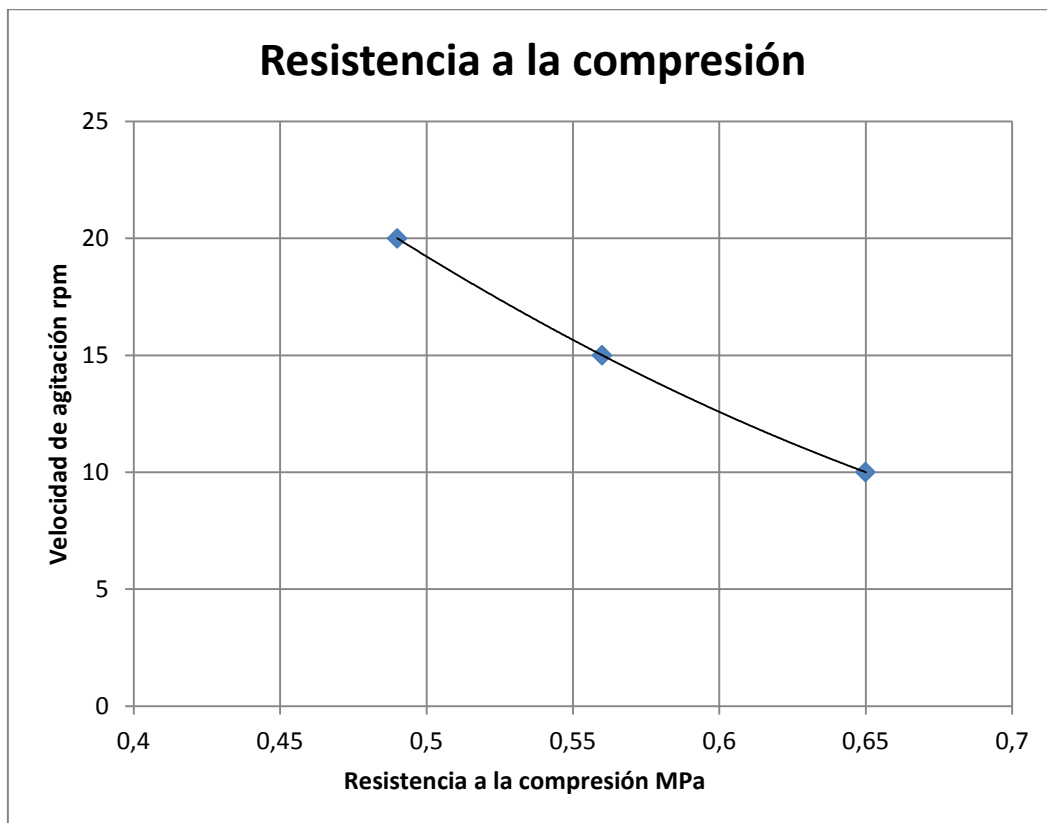


Gráfico 5. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión

3.2.6. Ensayo de flexión

Tabla 18. Resultados de ensayos de flexión

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Flexión promedio N/mm ²
35	10	15,37
36	15	11,36
37	20	8,505

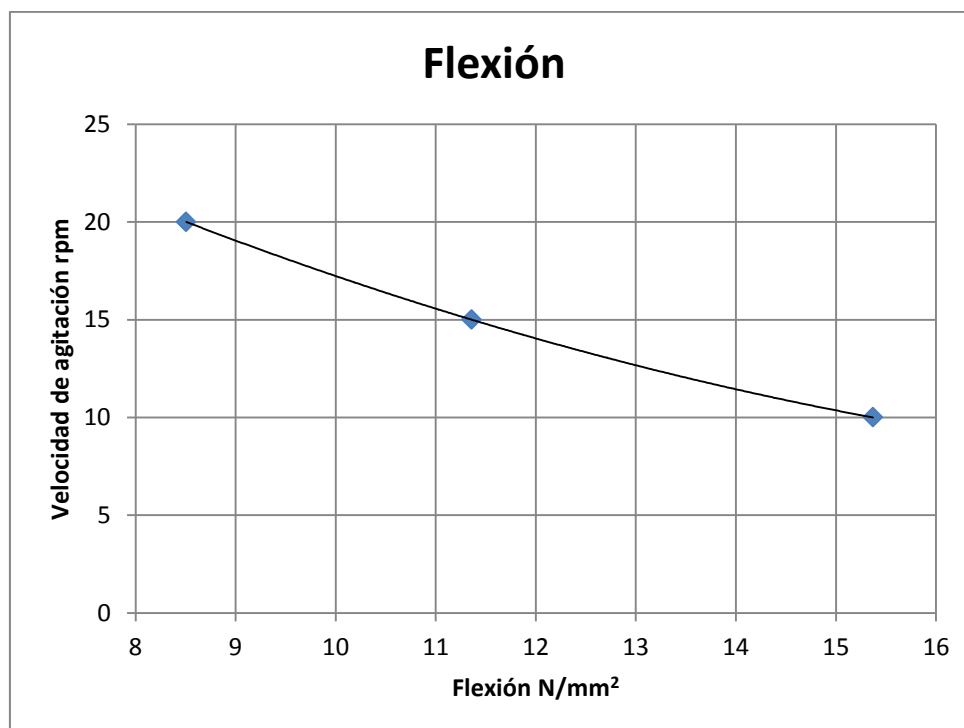


Gráfico 6. Análisis del ensayo de flexión

3.2.7. Ensayo de dureza Shore A

Tabla 19. Resultados de ensayos de dureza Shore A

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Dureza Shore A promedio
35	10	59,86
36	15	59,57
37	20	59,00

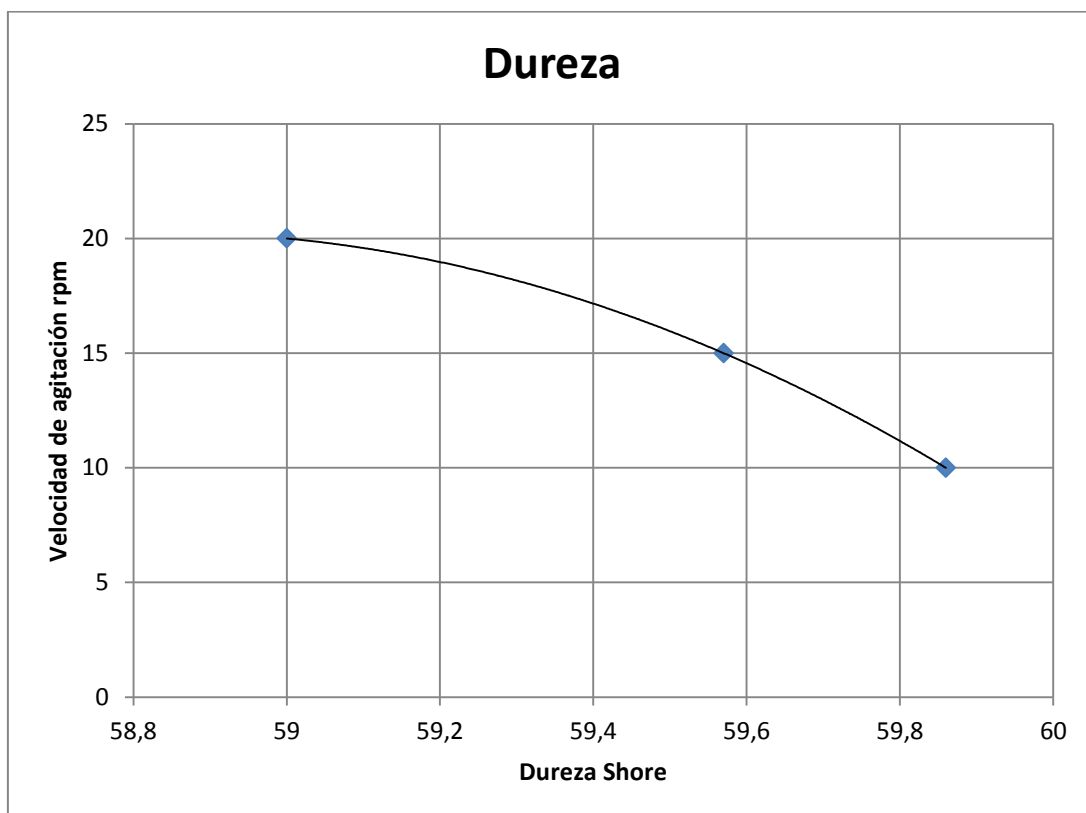


Gráfico 7. Análisis del ensayo de dureza Shore A

3.2.8. Ensayo de abrasión

Tabla 20. Resultados de abrasión

Muestra	Velocidad de agitación rpm	Pérdida de volumen mm ³
35	10	459,1
36	15	627,0
37	20	660,2

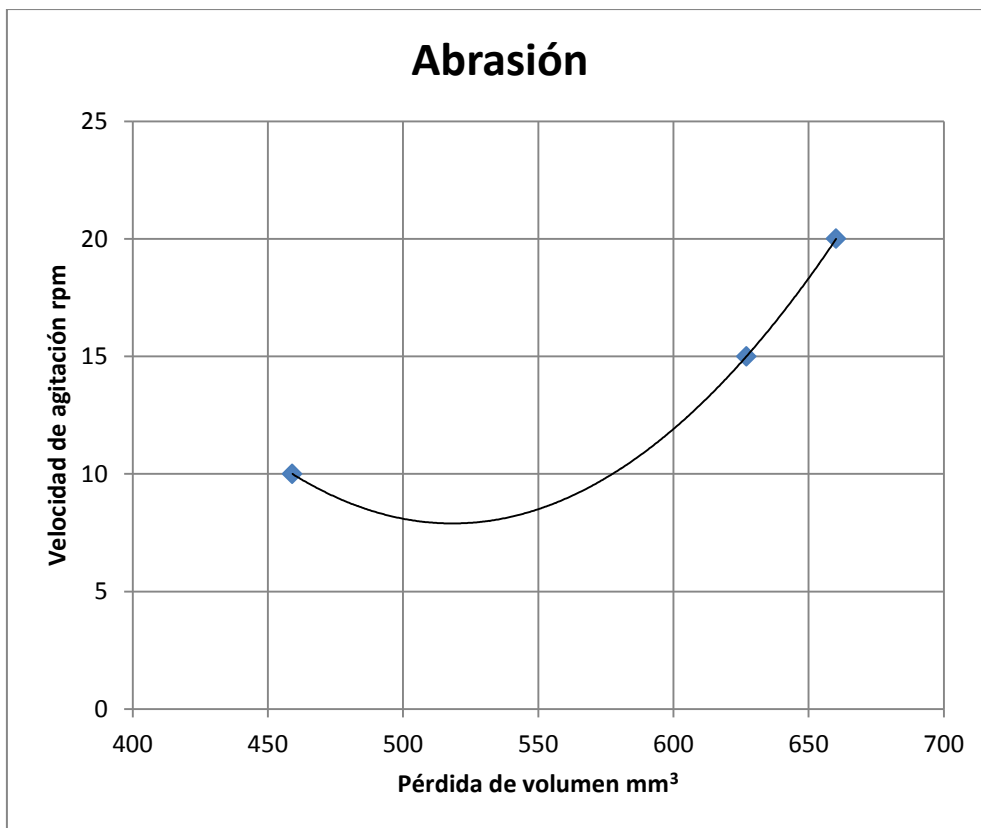


Gráfico 8. Análisis del ensayo de resistencia a la abrasión

3.2.9. Análisis termogravimétrico (tga) para determinación de la estabilidad térmica.

Para determinar la estabilidad térmica de la muestra de caucho se realizó un análisis termogravimétrico (TGA) a la muestra 37 desde temperatura ambiente hasta 1000°C. En las siguientes figuras se muestran los termogramas obtenidos. Cabe señalar que la curva de color azul representa la derivada de la pérdida de masa con respecto a la temperatura e indica la velocidad a la cual el material pierde masa.

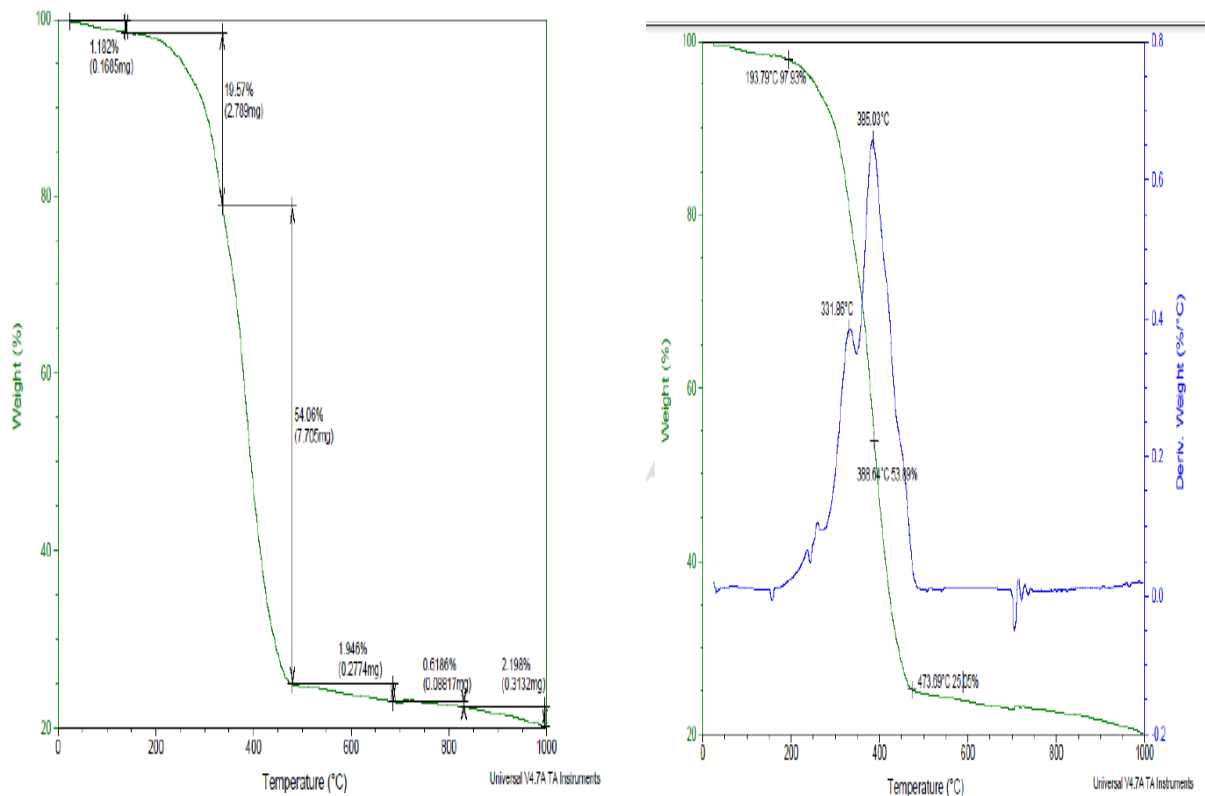


Gráfico 9. Termograma TGA para la muestra 35

De acuerdo al análisis realizado la velocidad de pérdida de masa del material es relativamente baja en el rango de temperatura entre 20 y 193,79°C. La cantidad de masa perdida a 193,79°C fue del 2,07%. A partir de esta temperatura la velocidad de pérdida de masa se incrementó con el aumento de la temperatura, y alcanzó un valor máximo a 385,03°C. Por otra parte, cuando el material ha perdido el 74,95% de su masa a una T= 473,69°C, la velocidad de pérdida disminuye considerablemente. Con respecto a la degradación del material se pudo observar que una temperatura de 1000°C no es suficiente para alcanzar la degradación completa del mismo. Esto puede deberse a la composición que presenta la muestra de caucho.

3.2.10. Comparación de resultados de los ensayos realizados

Tabla 21. Comparación de resultados de análisis

Análisis	Muestras		
	35	36	37
Tracción, MPa	33,81	31,65	28,32
Elongación, %	15,08	16,62	12,24
Impermeabilidad, %	80,98	80,64	78,12
Densidad, g/cm ³	0,938	0,976	0,98
Desgarramiento, MPa	3,82	3,72	3,07
Compresión, MPa	0,65	0,56	0,49
Compresión, %	30,36	32,72	35,89
Flexión, N/mm ²	21,87	11,36	8,51
Dureza, Shore	59,86	59,57	59
Abrasión, mm ³	459,1	627	660,2

3.2.11. Análisis estadístico de resultados. Las variables en estudio corresponden a velocidad de agitación en la que se elabora la lámina y el módulo de flexibilidad obtenido después de la laminación.

Se realizó tres experimentaciones (35, 36, 37) en la que se varió la velocidad de agitación, cada experimentación se replicó en dos ocasiones.

Tabla 22. Datos para el análisis estadístico.

Muestra	35	36	37
Velocidad, rpm	10	15	20
Repetición	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	16,16	12,39	9,72
2	14,58	10,33	7,29
MEDIA (y _i)	15,37	11,36	8,505
VARIANZA(S ₂)	1,25	2,12	2,95
DESVEST (S _i)	1,12	1,46	1,72

De acuerdo con los datos, parece que la experimentación 35 origina mayor flexibilidad que cualquiera de los demás, el asunto real es si las tres medidas de la experimentación son lo suficientemente distintas, para formular esta pregunta en términos estadísticos usamos la siguiente notación:

y_1 = media de la experimentación 35

y_2 = media de la experimentación 36

y_3 = media de la experimentación 37

Usaremos las medias para probar las siguientes hipótesis:

H_0 : $y_1 = y_2 = y_3 = y_4$

H_1 : las medias no son iguales

Rechazamos H_0 si el valor de F es mayor que f_c

Se utilizará el Análisis de Varianza más conocida como ANOVA (Analysis of Variance) que se refiere a la comparación de dos o más experimentaciones. El test estadístico ANOVA compara la variación entre las medias de los grupos de experimentación con la variación natural dentro de los grupos. Formalmente estas dos medidas de variación se llaman medias cuadráticas, así en el numerador tendemos la media cuadrática entre los grupos (MCE) y en el denominador la media cuadrática dentro de los grupos (MCD).

$$F = \frac{\text{variabilidad entre las medias muestrales}}{\text{variabilidad dentro de las muestras}} = \frac{MCE}{MCD}$$

Figura 28. Factor que determina ANOVA

Tabla 23. Análisis de Varianza

Fuente de variación	gl Grados de libertad	SC Suma de Cuadrados	MC Medias cuadráticas	F
Entre tratamientos	$k - 1$	$SCE = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$	$\frac{SCE}{k-1}$	$F = \frac{MCE}{MCD}$
Dentro de tratamientos	$n - k$	$SCD = \sum_{i=1}^n (n_i - 1) s_i^2$	$\frac{SCD}{n - k}$	

k: número de experimentaciones

n: número total de ensayos

ni: número de repeticiones de cada experimentación

y_i: media de cada experimentación

y: media de las medias de cada experimentación

S_{2i}: varianza de cada experimentación

F: factor que determina ANOVA

fc: factor crítico determinado por la curva de distribución f

α: nivel de significancia

Tabla 24. Resultados de ANOVA

Variable	Valor
k	3
n	6
n _i	2
y	11,75
A	5%
F	14,19
fc	9,552

El valor de F es 14,19, el valor crítico se basa en dos grados de libertad en el numerador y tres en el denominador, para el nivel de significancia de 0,05, $f_c = 9,552$. Como el valor observado de F es mayor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula y se llega a la conclusión de que las medias de población no son iguales y que el mejor resultado es la muestra 35, que se puede comprobar claramente en el gráfico 10 al ser el punto máximo de la curva.

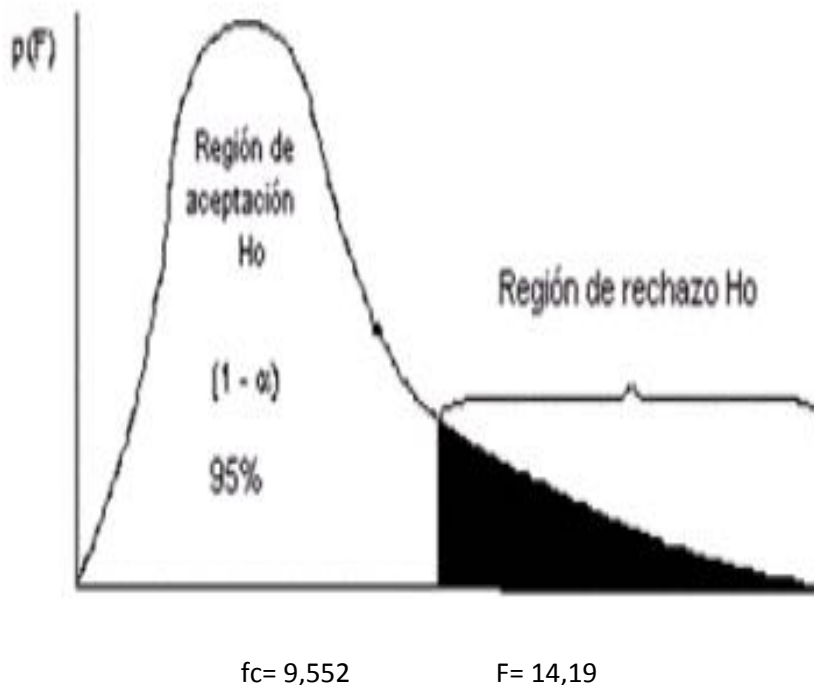


Gráfico 10. Diagrama de desviación estándar

4. DISCUSIÓN

- En la investigación se realizaron pruebas estandarizadas a 3 láminas bajo normas ASTM e INEN.
- Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente a velocidades de agitación bajas entre 10 y 50 RPM en un tiempo de 15 minutos, tiempo en el cual empieza a formarse una mezcla homogénea.
- En los análisis realizados se tuvo un porcentaje de elongación del 15%, lo que nos indica la plasticidad de la muestra que se encuentra dentro de los rangos normales ya que si se tiene valores menores del 10% indica que se ha producido una reacción incompleta.
- El ensayo de impermeabilidad nos indica que la lámina podría servir para impermeabilizar techos siendo una aplicación muy útil.
- Otro resultado es la densidad la cual es $0,938 \text{ g/cm}^3$ lo cual nos indica que tiene una buena compactación siendo mayor que $0,840 \text{ g/cm}^3$ que es la densidad del neumático compactado.
- En el ensayo de desgarramiento nos dio un resultado de 3,8 MPa lo que indica que el producto va a tener una resistencia a la rotura.
- La prueba de compresión es útil para predecir si la lámina podría soportar el peso de maquinaria pesada sin sufrir deformación teniendo un resultado aceptable de 0,65 MPa. En la prueba de flexibilidad nos dio un resultado de 1,7N lo cual nos indica que la lámina va a soportar esta carga antes de romperse.

- En el ensayo de abrasión se tiene una pérdida de volumen de 459,1 mm³ el que nos indica el desgaste de la superficie de la lámina debido a una fuerza de rozamiento.
- En el análisis termogravimétrico se obtuvo como resultado que la lámina impermeable va a ser estable hasta una temperatura de 100°C.
- Habiendo obtenido resultados satisfactorios en los análisis realizados a las láminas se considera que si pueden ser utilizadas en la industria como una alternativa para reducir el caucho generado principalmente de los neumáticos usados que es un producto que contamina y aumenta drásticamente acumulándose sin control, mediante un proceso sencillo y no costoso.

5. CONCLUSIONES

- Las láminas impermeables con mejores resultados se obtuvieron al mezclar 40g de isocianato con 4g de polirol concluyendo que esta es la mejor relación para la obtención de las láminas presentando una mejor flexibilidad y resistencia al desgarre.
- Las láminas tuvieron mejores características al realizarlas a velocidades de 10 rpm por lo que se concluye que a bajas velocidades hay una mejor homogenización de los componentes debido a que el MDI tiene un secado más rápido a mayores velocidades.
- El producto tiene una alta resistencia a la temperatura, soporta hasta 100°C lo cual nos indica que van a resistir las condiciones ambientales.
- Las láminas resisten una alta compresión lo que nos confirma que podría estar sometida continuamente a maquinaria pesada.
- Debido a la calidad de la lámina podría servir para diferentes aplicaciones como pavimentos continuo para campos de fútbol, amortiguamiento de sonido y en la industria automotriz.
- El proceso empleado reduciría la cantidad de neumáticos usados en nuestro país y por ende los gastos producidos debido a su almacenamiento.
- Del análisis estadístico se concluye que la lámina obtenida a diez revoluciones por minuto tiene las mejores características de flexibilidad.

6. RECOMENDACIONES

- Se debería aplicar una mejor compresión sobre la lámina para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas para impermeabilizar techos y soportar condiciones ambientales como es el caso de lluvias.
- Efectuar ensayos que determinen las propiedades químicas de la lámina para conocer cuál es la resistencia a productos químicos y así conocer sobre que superficies pueden ser útiles.
- Realizar un estudio de la recuperación de neumáticos usados tanto en reencauchado como en reciclaje para poder disminuir la contaminación que estos generan en nuestro país.
- Aplicar estrategias de industrialización y comercialización de manera que la lámina se introduzca y se mantenga dentro del mercado con el objetivo de que sea una alternativa de reciclaje y ahorro para el consumidor.
- Se recomienda que el estado incentive o promueva proyectos que incluyan reciclaje de neumáticos usados, siendo estos un recurso para fabricar productos que cumplen la calidad de uso humano.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARRERA, Augusto. *Manual de Buenas Prácticas Ambientales del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 4 de mayo del 2012 a las 15:20]. Disponible en: <http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/ecoficinas.pdf>.
- [2] TZUNUN, Oswaldo. *Calidad de alfombra fabricada de desechos de hule natural*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 16 de marzo del 2012 a las 13:30]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1054_Q.pdf San Carlos-Guatemala.
- [3] CERESO, Lidia. *Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso. Actualización*. pp. 7. [En línea]. [Fecha de consulta: el 28 de octubre del 2012 a las 15:15]. Disponible en: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/2196/NFUs_Actualizacion.pdf?sequence=7
- [4] CASTRO, Guillermo. *Materiales y compuestos para la industria del neumático*. pp. 34. [En línea]. [Fecha de consulta: el 18 de agosto del 2012 a las 14:20]. Disponible en: http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Material%20complementario%2067.17/Materiales%20y%20Compuestos%20para%20la%20Industria%20del%20Neumatico.pdf
- [5] IBID[4]. p. 34
- [6] IBID [4]. p. 3
- [7] SANDOVAL, Felipe. *Caucho Natural y Sintético*. pp. 9. [En línea]. [Fecha de consulta: el 18 de agosto del 2012 a las 14:20]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/98480512/Caucho-natural-y-sintetico>.

[8] IBID [7]. p. 9

[9] IBID [7]. p. 9

[10] IBID [7]. p. 9

[11] IBID [4]. p. 30

[12] ALVAREZ, Teresa. *Aprovechamiento energético de residuos: el caso de los neumáticos fuera de uso*. pp. 5. [En línea]. [Fecha de consulta: el 24 de febrero del 2013 a las 10:30]. Disponible en: <http://www.energia2012.es/sites/default/files/Aprovechamiento%20energ%C3%A9tico%20de%20residuos,el%20caso%20de%20los%20neum%C3%A1ticos%20fuera%20de%20uso.pdf>

[13] IBID [12]. p. 5

[14] IBID [3] p. 9

[15] SANCHEZ, María. *Síntesis y caracterización de poliuretanos termoplásticos. Aplicación a la formulación de adhesivos*. pp. 19. [En línea]. [Fecha de consulta: el 24 de marzo del 2013 a las 13:15]. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3990/1/S%C3%A1nchez%20Adsuar,%20M%C2%AA%20Salvadora.pdf>

[16] IBID [15]. p. 20

[17] IBID [15]. p. 21

[18] IBID [3]. p. 12

[19] IBID [3]. p. 9

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D395. Standard Methods of Test for Compression Set of Vulcanized Rubber. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D573. Standard Test Method for Rubber – Deterioration in an Air Oven. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D624. Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D790. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1052. Standard Test Method for Measuring Rubber Deterioration-Cut Growth Using Ross Flexing Apparatus. Philadelphia.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2240. Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness. Philadelphia.

FAJEN, John. *Industria del caucho*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 18 de agosto del 2012 a las 14:20]. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/ EnciclopediaOIT/ tomo3/80.pdf>.

VELÁSQUEZ, Jorge. *Posibilidades competitivas de productos prioritarios de antioquia frente a los acuerdos de integración y nuevos acuerdos comerciales*. [En línea]. [Fecha de consulta: el 18 de agosto del 2012 a las 14:20]. Disponible en: http://www.antioquia.gov.co/antioquiav1/organismos/scompetividad/doc_estudios/analisisdeposibilidadescompetitivasdeproductosprioritarios/caucho.pdf.

VÉLEZ, Verónica. *Caracterización de Partículas de Caucho de Neumáticos Usados para la Elaboración de Láminas Impermeables*. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. 2012.

SANTAMARIA, Carolina. *Fabricación de láminas impermeables a partir de caucho reciclado utilizando espuma de poliuretano*. Trabajo de Grado. Ingeniero Químico. Universidad Central del Ecuador. 2013.

ANEXOS

ANEXO A

Materias primas para elaborar las láminas impermeables



Figura A.1. Partículas de caucho comercial 1



Figura A.2. Diisocianato MDI

ANEXO B

Proceso de elaboración de las láminas impermeables



Figura B.1. Agitación de la mezcla Caucho, MDI y poliól

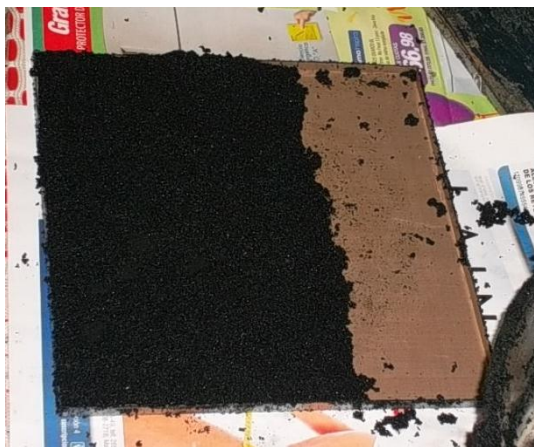


Figura B.2. Moldeado de la mezcla

ANEXO C

Ensayo de tracción



Figura C.1. Medida de tracción de la lámina



Figura C.2. Punto de tracción de la lámina

ANEXO D

Ensayo de desgarramiento.



Figura D.1. Medición del desgarre de la lámina



Figura D.2. Punto de desgarre de la lámina

ANEXO E

Ensayo de densidad.



Figura E.1. Medición de la masa de la lámina

ANEXO F

Ensayo de deformación permanente a la compresión.



Figura F.1. Medición de la deformación permanente de la lámina



Figura F.2. Punto de deformación permanente de la lámina

ANEXO G

Ensayo de compresión.



Figura G.1. Medición de la compresión de la lámina

ANEXO H

Ensayo de dureza.



Figura H.1. Medición de la dureza de la lámina

ANEXO J

Lámina impermeable a partir de caucho reciclado con isocianato MDI y butil

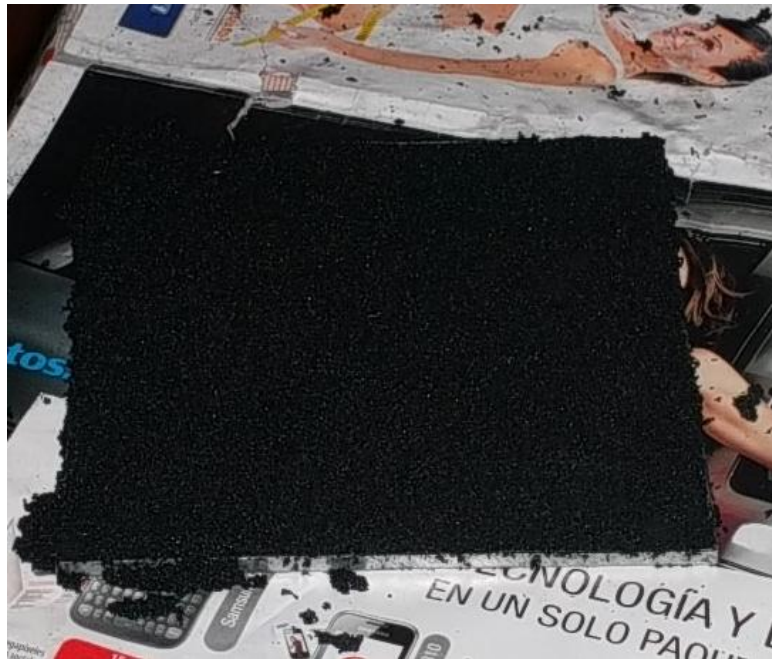


Figura J.1. Lámina impermeable